

# Spektrum

der Wissenschaft

11.17

ERNÄHRUNG

## Das Abnehm-Paradox

Warum wir trotz  
Sport dick bleiben

Welche Kalorien  
schlank machen können

**SATURN** Die Highlights aus 13 Jahren Cassini-Mission

**SOZIALE NETZWERKE** So verbreiten sich Verschwörungstheorien im Internet

**100 JAHRE OKTOBERREVOLUTION** Frühsowjetische Stadtplanung



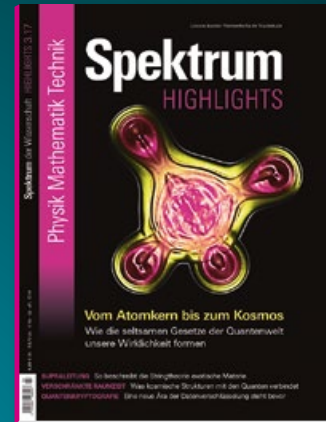
# Unsere Neuerscheinungen!



Steinzeit: eine Gesellschaft ohne Fortschritt • Mythische Geschichte: Der Drachenkönig schickt seinen Boten aus • Vietnam und Kambodscha: Nachbarn mit Problemen • Buddhismus: Die richtigen Götter auf seiner Seite • € 8,90



Universelle Gesetze: Zentraler Grenzwertsatz und Zufallsmatrizen • Rekorde: Sportliche Höchstleistungen und Hitzewellen • Fehlschlüsse: Missbrauch des  $p$ -Werts und mangelnde Reproduzierbarkeit • € 8,90



Supraleitung: So beschreibt die Stringtheorie exotische Materie • Verschränkte Raumzeit: Was kosmische Strukturen mit den Quanten verbindet • Quantenkryptografie: Eine neue Ära der Datenverschlüsselung steht bevor • € 8,90



Medizin: Menschendesign durch Gentherapie • Gesellschaft: Die Kluft zwischen Arm und Reich wächst • Anthropozän: Wie wir die Erde verändern • Gerontologie: Der Methusalem-Effekt • € 8,90



Psychotherapie bei Trauer und Sorgen • Wie Yoga, Achtsamkeit und Hypnose wirken • Konfrontation bei Furcht vor Prüfungen oder Zahnarzt • Suizidrisiken einschätzen und richtig reagieren • Angststörungen: Die vier bewährtesten Strategien • € 8,90



Der ungesunde Gesundessen-Boom • Wie gesund ist vegane Kost? • Paläodiät: 5 Fakten zur Steinzeitkost • Fasten: Mehr Köpfchen durch Verzicht • Warum Diäten so häufig scheitern • Psychologie: Futter fürs Hirn • € 5,90

**Hier bestellen:**  
[service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de) | Tel.: 06221 9126-743  
[www.spektrum.de/neuerscheinungen](http://www.spektrum.de/neuerscheinungen)

**Ausgewählte  
 Sonderhefte  
 auch im  
 PDF-Format**



# EDITORIAL CHURCHILL HATTE DOCH RECHT

Von Hartwig Hanser, Redaktionsleiter  
hanser@spektrum.de

»No sports!«, antwortete Winston Churchill (1874–1965) angeblich auf die Frage, wie er trotz seines Zigarren- und Whiskykonsums sowie beachtlicher Leibesfülle ein derart hohes Alter erreicht habe. Als ich das als Teenager zum ersten Mal hörte, fühlte ich mich bestätigt in meiner tiefen Aversion gegenüber so ziemlich sämtlichen Leibesübungen. Der glücklichste Tag meiner Schullaufbahn war weder der erste noch der letzte, sondern der, an dem ich zu Beginn der 11. Klasse wegen ständiger Verletzungen dauerhaft vom Sportunterricht befreit wurde!

Jetzt könnte ich auch die beiden Artikel des aktuellen Titelthemas ab S. 12 zur Untermauerung meiner damaligen Überzeugung heranziehen. Denn laut aktuellen Studien bringt vermehrte körperliche Anstrengung zumindest in Sachen Abnehmen kaum Vorteile. So untersuchte der amerikanische Anthropologe Herman Pontzer den Energieumsatz von traditionell lebenden Jägern und Sammlern, die einen Großteil des Tages auf der Jagd sind – sprich sehr viel laufen. Und trotzdem verbrauchen sie kaum mehr Kalorien als westeuropäische Bewegungsmuffel. Zudem hat der Mensch einen vergleichsweise hohen Grundumsatz, den der Körper auch in Ruhe benötigt; wesentlich höher als etwa bei Menschenaffen. Und dieser lässt sich selbst mit Krafttraining nur wenig steigern. Wenn Sie also gerade versuchen sollten, Übergewicht durch Sport loszuwerden: Vergessen Sie es! Letztlich entscheidet die Menge und Art der Kalorien, die wir über das Essen aufnehmen, ob uns die Hose noch passt oder nicht.

Auch Churchill hätte demnach durch mehr Sport nicht abgenommen. Allerdings hat der britische Politiker den berühmten Ausspruch wohl nie wirklich getan. Heute würde man zu einem solchen Gerücht vielleicht »Fake News« sagen. Wie sich derartige Falschinformationen seit einigen Jahren zunehmend vor allem über soziale Netzwerke wie Facebook ausbreiten und dabei Verschwörungstheorien Vorschub leisten, ist inzwischen auch ins Visier der Forschung gerückt. Der Experte für Internetsoziologie Walter Quattrociocchi kommt in seinem Artikel ab S. 58 zum ernüchternden Schluss, es sei fast unmöglich, Anhänger von Falschmeldungen und Verschwörungstheorien vom Gegenteil zu überzeugen. Damit sieht er statt dem viel beschworenen Informationszeitalter eher eine Ära der Leichtgläubigkeit anbrechen.

Nachdenklich grüßt Ihr



## NEU AM KIOSK!

Einen Überblick über die letzten 40.000 Jahre der Geschichte Vietnams bietet unser **Spektrum Spezial** Archäologie – Geschichte – Kultur 3.17

## AUTOREN DIESER AUSGABE



### SUSAN ROBERTS SAI KRUPA DAS

Zwei amerikanische Ernährungswissenschaftlerinnen erklären ab S. 12, warum es so schwierig ist, abzunehmen – und weshalb Sport in der Regel nicht dabei hilft.



### CAROLYN PORCO

Die Planetenforscherin war als Teamleiterin für die Kamera der Raumsonde Cassini verantwortlich. Ab S. 48 blickt sie auf die eindrucksvollen Erfolge der nun beendeten 13-jährigen Mission zurück.



### HELMUT ALTRICHTER

Vor 100 Jahren ergriffen die Bolschewiki die Macht in Russland. Der Geschichtswissenschaftler widmet sich ab S. 70 einer ungewöhnlichen Folge der Oktoberrevolution: der frühsovjetschen Stadt- und Siedlungsplanung.

## 3 EDITORIAL

## 6 SPEKTROGRAMM

Magendrüsen im Profil

Blitze durch Schiffsabgase

Zika-Virus gegen Krebs

Warum die »H. L. Hunley« unterging

Walstrandung nach Sonneneruption

Anteilchen der Skyrmionen

Historische Nova-Explosion

Leuchtende Baumwolle

## 26 FORSCHUNG AKTUELL

### Neue Art von Quasikristall

Sechszählig symmetrisch, aber nichtperiodisch.

### Konkurrenz für Platin

Ein neuer Katalysator verbilligt die elektrolytische Wasserstoffproduktion.

### Die ersten Australier

*Homo sapiens* erschien in Australien schon vor 65 000 Jahren.

### Inventur des dunklen Alls

Die bislang größte Beobachtungskampagne liefert erste Ergebnisse.

## 35 SPRINGERS EINWÜRFE

### Raubtiere im Blätterwald

Windige Onlinejournale machen seriösen Fachzeitschriften Konkurrenz.

## 56 SCHLICHTING!

### Unverhoffte Rutschpartien

Wie nasses Laub die Reibung zwischen Schuhwerk und Boden verringert.

## 68 FREISTETTERS FORMELWELT

### Alles super mit dem Superei

Mittelding zwischen Ellipse und Rechteck.

## 12 MEDIZIN **WAS UNSER KÖRPERGEWICHT BESTIMMT**

Wer abnehmen möchte, muss über einen längeren Zeitraum hinweg mehr Kalorien verausgaben als über die Nahrung zu sich nehmen. Doch Sport hilft dabei deutlich weniger, als die meisten annehmen.

Von Susan B. Roberts und Sai Krupa Das

## 20 PHYSIOLOGIE **AKTIV IM ENERGIESPARMODUS**

Der Kalorienumsatz des Menschen ist offenbar weitgehend festgelegt. Das hilft nicht nur, viele gesundheitsrelevante Phänomene zu verstehen, sondern gibt auch neue Antworten auf die Frage, was uns Menschen so besonders macht.

Von Herman Pontzer

## 36 EVOLUTION **ANGEPASST AN EINE TÖDLICHE UMWELT**

Manche kleinen Fische trotzen hochgiftigem Schwefelwasserstoff. Zu ihnen zählen in Mittelamerika der Schwefel-Molly und einige Populationen des Atlantikkärpflings. An ihnen lassen sich Selektionsmechanismen und die Artbildung unter Extrembedingungen studieren.

Von Rüdiger Riesch und Martin Plath

## 44 CHEMISCHE UNTERHALTUNGEN **VERBRECHERJAGD MIT ELEKTROCHEMIE**

Fingerabdrücke sind immer noch ein wichtiges Mittel, um Straftäter aufzuspüren und zu überführen. Elektrochemische Methoden können dabei helfen, solche Spuren sichtbar zu machen.

Von Isabel Rubner, Matthias Ducci und Marco Oetken

## 48 SONNENSYSTEM **ABSCHIEDSGRÜSSE VOM SATURN**

Am 15. September 2017 ist die Raumsonde Cassini planmäßig auf Saturn gestürzt. Die Mission hat in den letzten 13 Jahren unser Wissen über den Gasriesen und seine Monde enorm erweitert.

Von Carolyn Porco

## 58 INTERNET **»FAKE NEWS« IN SOZIALEN NETZWERKEN**

Internetnutzer verbreiten in großem Umfang Falschmeldungen und abwegige Verschwörungstheorien. Statistische Untersuchungen liefern neue Einsichten zu den Mechanismen dieses beunruhigenden Phänomens.

Von Walter Quattrociocchi

## 70 100 JAHRE RUSSISCHE REVOLUTION **STÄDTE FÜR DIE PROLETARIER**

In der jungen Sowjetunion bemühten sich Architekten und Stadtplaner um sozialistische Siedlungskonzepte – allerdings nicht sehr erfolgreich.

Von Helmut Altrichter

## 78 VIETNAM **DIE HÜGEL DER SALZSIEDER**

**Serie: Archäologie in Vietnam (Teil 2)** Das Meer lieferte den Vorfahren der Khmer schon vor 3000 Jahren das lebensnotwendige Salz. Anders als heute lag das Zentrum der Produktion aber nicht an der Küste, sondern im Hinterland.

Von Andreas Reinecke



SEBASTYAN NAZAROV / GETTY IMAGES / ISTOCK (AUS SCHWIMM)



12  
TITELTHEMA  
ERNÄHRUNG UND  
SPORT: WAS UNSER  
KÖRPERGEWICHT BESTIMMT

MATTHIAS SCHULTE, MIT FRIEDRICH GEN. VON RÜDIGER RESCH



36  
EVOLUTION  
ANGEPASST AN EINE  
TÖDLICHE UMWELT

NASA/JPL, SPACE SCIENCE INSTITUTE



48  
SONNENSYSTEM  
ABSCHIEDSGRÜSSE  
VOM SATURN

WALTER QUATRECIOCCHI



58  
INTERNET  
»FAKE NEWS«  
IN SOZIALEN NETZWERKEN

QUANG PHUONG / GETTY IMAGES / ISTOCK



78  
VIETNAM  
SALZSIEDLERHÜGEL

84 ZEITREISE  
Vom aufgerüsteten Wecker zum betrunkenen Dickhäuter

86 REZENSIONEN  
**Jan Michael Haft:** Wildbienen und Schmetterlinge  
**Jost-Hinrich Eschenburg:** Sternstunden der Mathematik  
**Annika Brockschmidt, Dennis Schulz:** Goethes Faust & Einsteins Haken  
**Ilona Jerger:** Und Marx stand still in Darwins Garten  
**Martin J. Blaser:** Antibiotika-Overkill  
**Sven Fennema, Christoph Gunkel:** Neuland  
**Heiner Lück:** Der Sachsenspiegel

94 LESERBRIEFE

95 IMPRESSUM

96 FUTUR III  
**Die gute und die schlechte Nachricht**  
Die Grenzen des Wachstums sind erreicht.

98 VORSCHAU

Titelbild: Sergey Nazarov / Getty Images / iStock; Bearbeitung: Spektrum der Wissenschaft

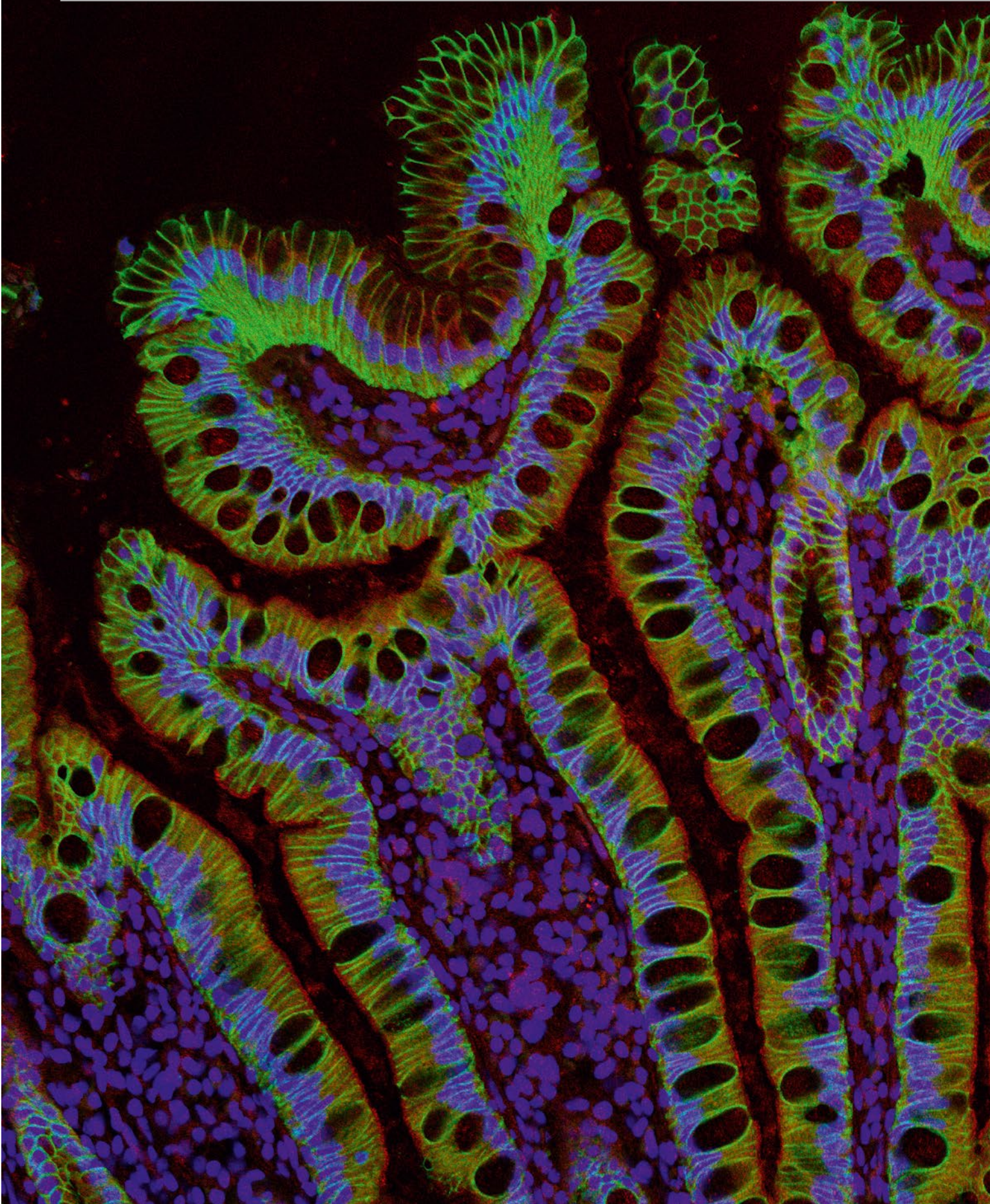


Alle Artikel auch digital auf **Spektrum.de**

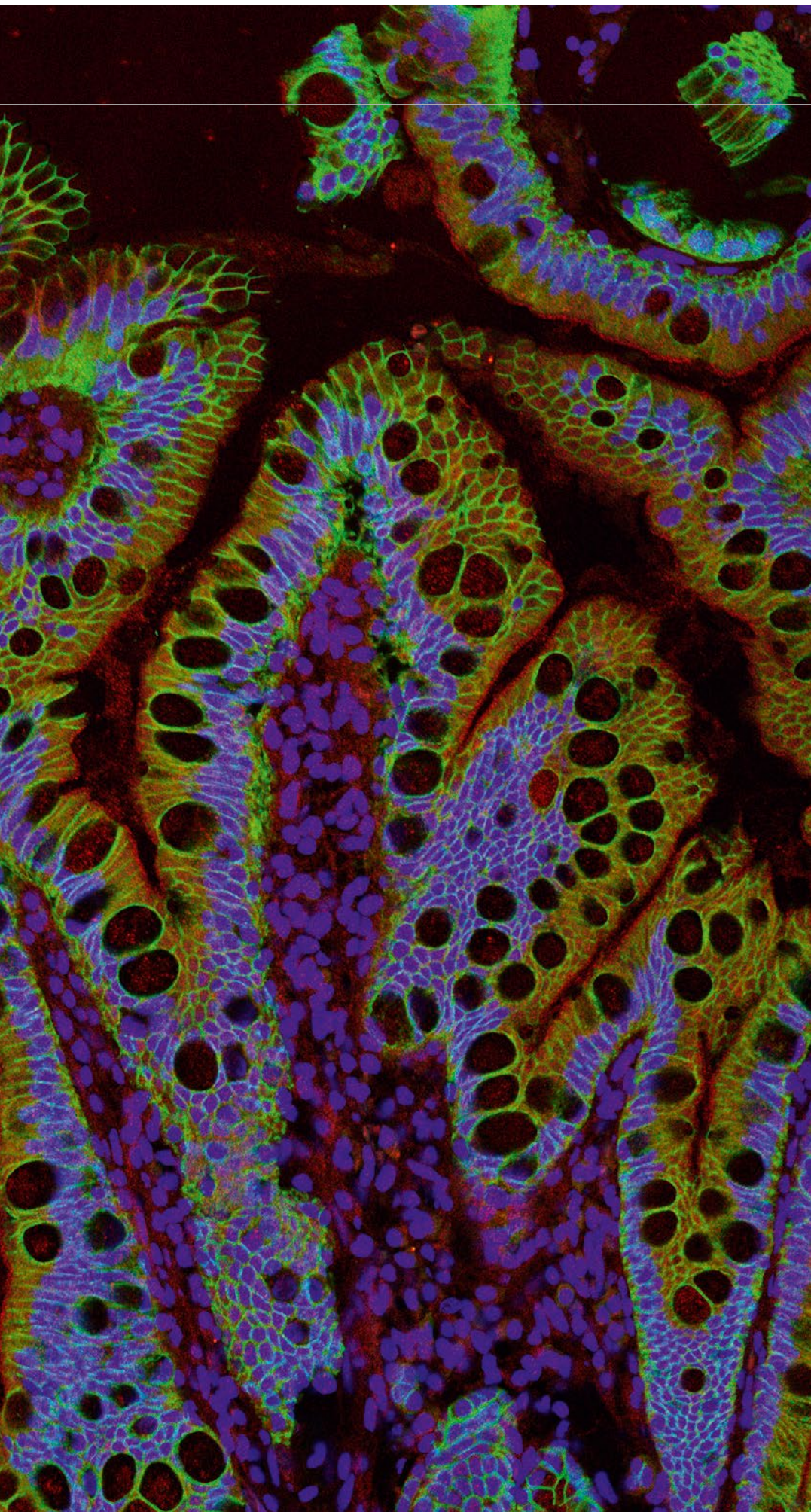
Auf **Spektrum.de** berichten unsere Redakteure täglich aus der Wissenschaft: fundiert, aktuell, exklusiv.



# SPEKTROGRAMM







MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR INFECTIOBIOLOGIE, BERLIN

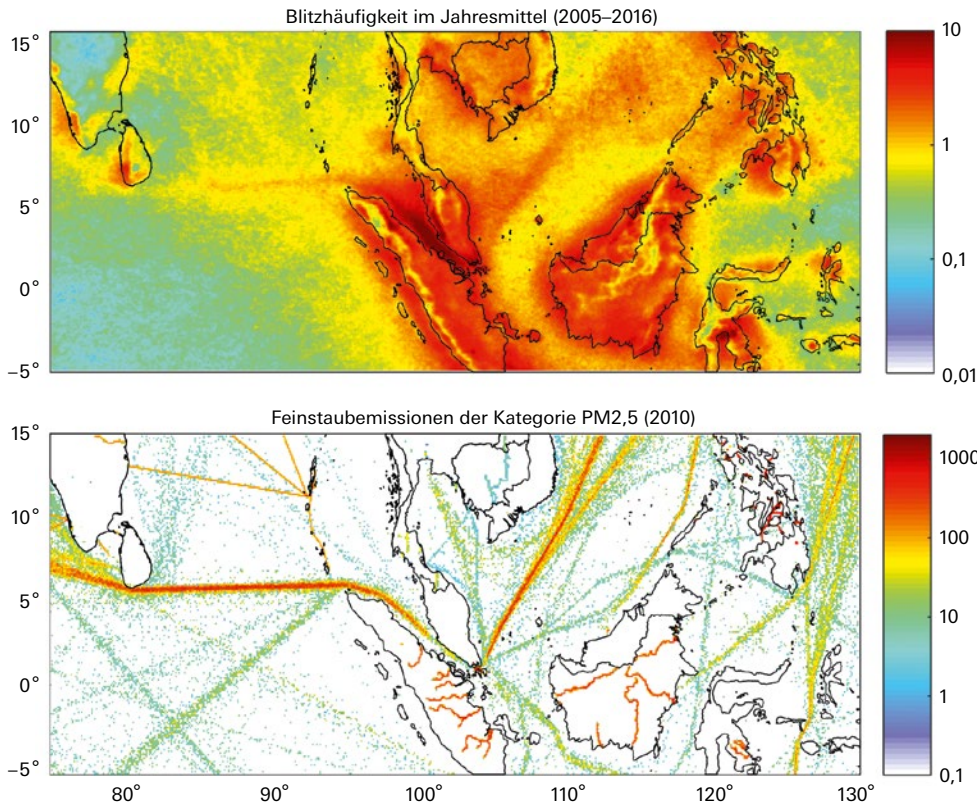
## MAGENDRÜSEN IM PROFIL

▶ Thomas Meyer vom Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie und sein Team untersuchen das Magengewebe von Mäusen. Hierfür nutzen sie die Konfokalmikroskopie, die ein Präparat quasi Punkt für Punkt abzubilden erlaubt. Jetzt haben die Forscher herausgefunden: Zellen an der Basis der Magendrüsen produzieren vermehrt das Protein R-spondin 3, wenn sie vom Bakterium *Helicobacter pylori* infiziert wurden. Das Protein regt Stammzellen dazu an, sich schneller zu teilen, und begünstigt so die Entstehung von Magenkrebs. In der Aufnahme sind – mit jeweils geeigneten Markern – die Zellmembranen der Magendrüsen grün, die DNA (also die Zellkerne) blau und die strukturgebenden Aktinmoleküle rot gefärbt. Wo Aktin und Zellkerne beziehungsweise Membranen überlappen, kommt es zu entsprechenden Farbüberlagerungen.

*Nature* 10.1038/nature23642, 2017



THORNTON, J.A. ET AL.: LIGHTNING ENHANCEMENT OVER MAJOR OCEANIC SHIPPING LINES. IN: GEOPHYS. RES. LETT. 44, S. 9102-9111, 2017, FIG. 1. MIT FÖHRL. GEB. VON JOEL THORNTON, UNIVERSITY OF WASHINGTON



Über zwei viel befahrenen Wasserstraßen vor der Küste Südostasiens korreliert die Häufigkeit von Blitzen (oben) mit der Feinstaubemission von Schiffen (unten). An den winzigen Partikeln kondensieren Wassertröpfchen, die wegen ihrer geringen Größe in besonders hohe Luftschichten aufsteigen können. Dort gefrieren sie, reiben aneinander und laden so letztlich die Luft elektrostatisch auf. Die Messdaten stammen von der Emissionsdatenbank EDGAR und dem Blitzsensornetzwerk WWLLN.

## UMWELT MEHR BLITZE DURCH SCHIFFSABGASE

Die Abgase großer Schiffe könnten Gewitter über dem Meer verstärken. Das folgern Geowissenschaftler um Joel Thornton von der University of Washington in Seattle aus einer Analyse der Häufigkeit von Blitzen auf zwei wichtigen Seerouten im Indischen Ozean und im Südchinesischen Meer. Die Wasserstraßen verbinden Sri Lanka mit der Straße von Malakka sowie Singapur mit Vietnam und werden jedes Jahr von zehntausenden Schiffen befahren.

Entlang der Routen blitzt es den Forschern zufolge 20 bis 100 Prozent häufiger

als in weniger stark befahrenen, aber sonst vergleichbaren Meeresregionen. In die Analyse flossen 1,5 Milliarden Blitze ein, die Sensoren des World Wide Lightning Location Network (WWLLN) zwischen 2005 und 2016 lokalisiert hatten. Diese Daten verglich das Team mit Satellitenmessungen der Dichte und Größe von Feinstaubpartikeln in der Atmosphäre.

Schiffsmotoren stoßen große Mengen Rußpartikel sowie Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus – entsprechend ist deren Konzentration über Schiffrouten deutlich erhöht. Schon länger ist bekannt, dass die Partikel in der Atmosphäre als Kondensationskeime für Wasserdampf wirken können. Abgase bilden dabei deutlich kleinere Tröpfchen als

natürlich vorkommende Aerosole wie Wüstenstaub oder Pollen. Sie steigen daher höher in der Atmosphäre auf, wo sie vereisen und in Wolken aneinanderreiben. Die resultierende elektrostatische Spannung entlädt sich dann in Blitzen.

Den Forschern zufolge sollte dieser Mechanismus über den Wasserstraßen eine große Rolle spielen. Andere Ursachen können demnach die beobachtete Korrelation nicht erklären. So sei zwar denkbar, dass die Stahlhüllen der Schiffe die Luft aufladen, schreiben die Wissenschaftler. Dadurch bliebe aber offen, wieso es auch in einigem Abstand von den Routen öfter blitze. Außerdem zeigen Wetterdaten, dass die häufigeren Entladungen nicht mit größeren Niederschlägen einhergingen –

mit ungewöhnlich schlechtem Wetter während des Messzeitraums lässt sich das Ergebnis der Studie also auch nicht erklären.

*Geophys. Res. Lett.* 10.1002/2017GL074982, 2017

## MEDIZIN ZIKA-VIRUS GEGEN KREBS

Das Zika-Virus richtet schwere Schäden im Gehirn ungeborener Kinder an, könnte künftig jedoch auch zu einer Waffe gegen Krebs werden: Wie Wissenschaftler um Zhe Zhu an der University of California in San Diego nun beobachtet haben, greift das Virus beim normalerweise unheilbaren Glioblastom gerade jene Zellen an, die klassischen Behandlungen oft widerstehen.



Zhu infizierte das Tumorgewebe aus frisch operierten Glioblastompatienten mit zwei verschiedenen Zika-Stämmen. Die Erreger breiteten sich durch den Tumor aus und töteten selektiv die Stammzellen, aus denen sich die Krebszellen immer wieder neu bilden. Zudem überlebten Mäuse mit solchen Gehirntumoren länger als Vergleichstiere, nachdem die Forscher ihnen das Virus

ins Gehirn gespritzt hatten. Eine Infektion könnte also möglicherweise die Strahlentherapie ergänzen und so die Chancen auf eine Heilung erhöhen.

Zika schädigt das Gehirn von Föten, da das Virus gezielt jene Vorläuferzellen tötet, aus denen sich neue Nervenzellen entwickeln. In der Folge bleibt das Gehirn der betroffenen Kinder klein und unterentwickelt. Die Vorläuferzellen tragen

ähnliche Markerproteine wie die Krebsstammzellen des Glioblastoms, weshalb Forscher bereits das mit Zika verwandte und ebenfalls Nervenzellen befallende West-Nil-Virus (WNV) auf seine Therapietauglichkeit bei Krebs getestet haben.

WNV infiziert allerdings auch andere Neurone, während sich das Zika-Virus in den Versuchen der Wissenschaftler zu mehr als 90 Prozent nur auf die

Tumorstammzellen stürzte. Einen gefährlichen Erreger mit potenziell schweren Langzeitfolgen in das Gehirn von Patienten zu spritzen, wäre zwar keine besonders erstrebenswerte Therapievariante, aber wohl meistens besser als die Alternative: Mit der klassischen Behandlung sind etwa 70 Prozent der Glioblastompatienten binnen zwei Jahren tot.

*J. Exp. Med.* 10.1084/jem.20171093, 2017

## TECHNIKGESCHICHTE WARUM DIE »H. L. HUNLEY« UNTERGING

► Während des Amerikanischen Bürgerkriegs versuchten die Südstaaten, die Seeblockade der Nordstaatenflotte mit einer neuen Generation von Kleinst-U-Booten zu brechen. Am Bug der zwölf Meter langen und per Handkurbel angetriebenen »H. L. Hunley« war eine Stange mit einem Spierentorpedo befestigt. In ihm steckten 61 Kilogramm Schwarzpulver, das bei Kontakt mit einem feindlichen Schiff explodieren sollte. Tatsächlich versengte die »Hunley« auf diese Weise im Februar 1864 das Dampfsegelschiff »USS Housatonic«, ging dabei aber selbst aus ungeklärten Gründen unter.

Der Vorfall wurde noch mysteriöser, als man im Jahr 2000 das U-Boot barg und die sterblichen Überreste der Crew fand. Keiner der acht Insassen hatte sich von seiner Gefechtsstation wegbegeben, weshalb es fast ausgeschlossen ist, dass die Seeleute wie lange vermutet ertrunken oder erstickt sind. Forscher um Rachel Lance von der Duke University haben nun eine andere Todesursache ausgemacht:

Ein Ölgemälde von Conrad Wise Chapman zeigt die »H. L. Hunley« Ende 1863, wenige Monate vor ihrem Untergang.

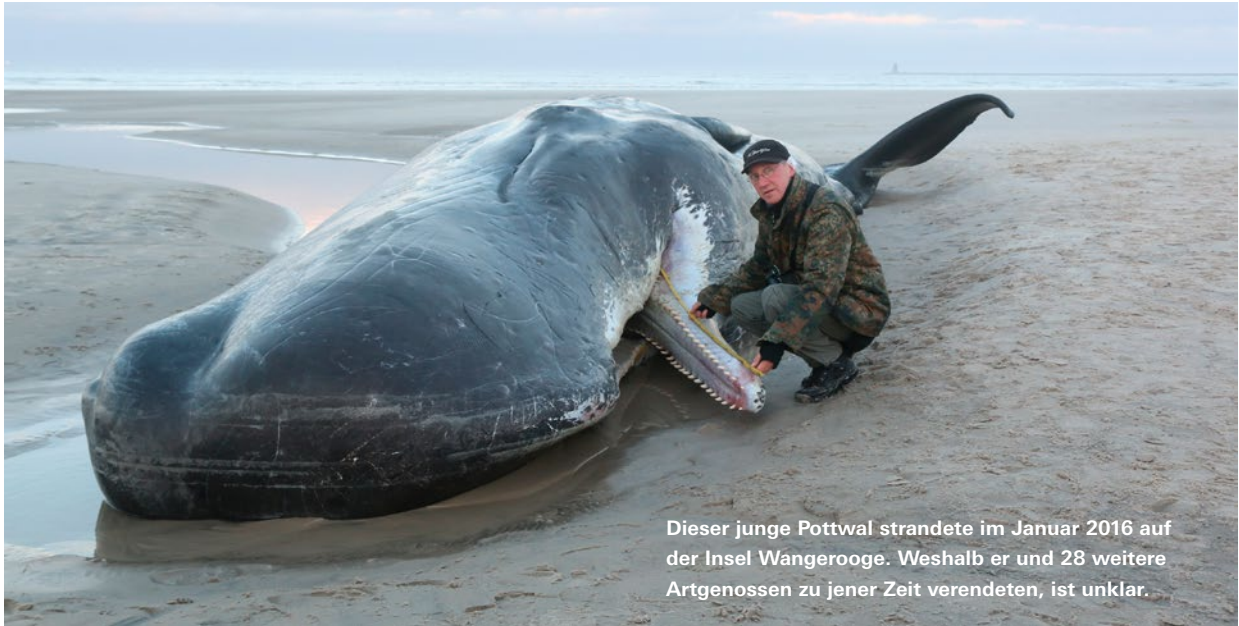
Die Crew starb demnach durch die Druckwelle des Spierentorpedos.

Für ihre Studie hatten die Wissenschaftler eine auf ein Sechstel der ursprünglichen Größe verkleinerte Nachbildung der »Hunley« gebaut und den Innenraum mit Messsensoren ausgestattet. Anschließend packten die Technikhistoriker die Miniatur in ein Testbecken und ließen darin in verschiedenen Abständen unterschiedlich starke, genau dosierte Sprengladungen explodieren. Diese waren dabei noch vergleichsweise unterdimensioniert, betonten die Forscher. In der Realität müsste die Druckwelle mehr als ausgereicht haben, um bei den Seeleuten Lungenrisse und Hirntraumata hervorzurufen – und sie so binnen Sekundenbruchteilen zu töten.

*PLoS One*, 10.1371/journal.pone.0182244, 2017



CONRAD WISE CHAPMAN: SUBMARINE TORPEDO BOAT 'H. L. HUNLEY', DEC. 6, 1863.



DPA / PETER KUCHENBUCH-HANKEN

Dieser junge Pottwal strandete im Januar 2016 auf der Insel Wangerooge. Weshalb er und 28 weitere Artgenossen zu jener Zeit verendeten, ist unklar.

## GEOPHYSIK WALSTRANDUNG NACH SONNENERUPTION

► Im Januar und Februar 2016 strandeten insgesamt 29 Pottwale an deutschen, niederländischen, französischen sowie britischen Nordseeküsten und verendeten dort qualvoll. Die Hintergründe der Tragödie sind bis heute unklar, zumal die Tiere jung und gesund waren. Experten halten es beispielsweise für denkbar, dass ungewöhnlich warme Meerestemperaturen die Meeressäuger in die Irre führten. Ein Team um den Physiker Klaus Heinrich Vanselow von der Universität Kiel macht sich nun für eine andere Erklärung stark: Zwei Sonneneruptionen in der letzten Dezemberwoche des Jahres 2015 störten das Erdmagnetfeld über der Nordsee und könnten so die noch unerfahrenen Tiere von ihrer üblichen Wanderroute abgebracht haben.

Nach den koronalen Massenauswürfen am 20. und 31. Dezember 2015 rasten große Mengen geladener Teilchen in Richtung Erde. Sie riefen in hohen nördlichen Breiten eindrucksvolle Polarlichter hervor, führten dort

aber auch zu deutlichen Schwankungen der Stärke und Ausrichtung des Erdmagnetfelds. Wie die Daten von Messstationen in Norwegen zeigen, wurde es mancherorts für mehrere Stunden um bis zu ein Prozent schwächer – und nahm damit Werte an, die sonst hunderte Kilometer weiter südlich üblich sind.

Forscher vermuten seit Längerem, dass Pottwale auch mit Hilfe des Erdmagnetfelds durch die trübe Tiefsee navigieren. Ältere Meeressäuger, die schon öfter in nördlichen Gewässern jagen waren, wussten vermutlich, dass diese Orientierungshilfe nicht immer verlässlich sei, spekulieren Vanselow und seine Kollegen. Die Jungtiere hatten diese Erfahrung möglicherweise noch nicht gemacht und steuerten deshalb nach den Sonneneruptionen die Meerenge zwischen den Färöer-Inseln und Norwegen an, die sie letztlich in die flachen Gewässer der südlichen Nordsee führte.

*Int. J. Astrobiol. 10.1017/S147355041700026X, 2017*

## PHYSIK ANTITEILCHEN DER SKYRMIONEN

► Physiker haben eine dritte Variante der Skyrmionen nachgewiesen. Darunter verstehen Wissen-

schaftler Inseln von einigen Dutzend Atomen, die sich in speziellen Kristallen bilden und eine andere Magnetisierung als ihre Umgebung aufweisen. Bisher waren nur zwei verschiedene Typen dieser

Magnetwirbel bekannt, die so genannten Néel- und Bloch-Skyrmionen.

Bei der Variante, die ein Team um Ajaya Kumar Nayak vom Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle nun aufgespürt

hat, handelt es sich um die Antiteilchen der bisher bekannten Typen. Mathematisch betrachtet entsprechen diese Antiskyrmionen einer Mischung aus Néel- und Bloch-Zuständen. Die Forscher nutzten für ihr



Experiment eine heuslersche Legierung aus den Metallen Mangan, Platin und Zinn. Die besondere Gitterstruktur des Materials bringt letztlich die regelmäßig angeordneten Anti-Wirbel hervor.

Um sie sichtbar zu machen, nutzen die Physiker ein auf den Nachweis kleinster magnetischer Felder optimiertes Transmissionselektronenmikroskop. Demnach blieben die Antiskyrmionen selbst bei Zimmertemperatur intakt. Das könnte die robusten Zustände zur Basis futuristischer »Racetrack«-Datenspeicher machen, die eines Tages deutlich mehr Informationen als heutige Festplatten aufnehmen sollen.

*Nature 10.1038/nature23466, 2017*

## ASTRONOMIE EINE HISTORISCHE NOVA-EXPLOSION

► Am 11. März 1437 tauchte über Asien ein neuer Stern auf. Zur Verblüffung koreanischer Himmelsbeobachter verschwand der helle Punkt am Rand des Sternbilds Skorpion jedoch nach zwei Wochen wieder. Heutige Astronomen vermuten, dass damals in unserer Milchstraße eine Nova-Explosion stattfand. Bei dieser saugt ein Weißer Zwerg wasserstoffhaltiges

Gas von einem sonnenähnlichen Nachbarn ab und sammelt es in einer Akkretionsscheibe. Irgendwann stürzen große Mengen dieser Materie auf die Oberfläche des Zwergsterns und zünden so eine thermonukleare Explosion, die bis zu eine Million Mal heller ist als ein gewöhnlicher Stern.

Eine Nova ist im Unterschied zu einer Supernova nicht stark genug, um ein Sternsystem zu zerstören. Aber sie feuert die obere Schicht des Weißen Zwergs ins All. Anhand dieser expandierenden Blase konnten Forscher um Michael Shara vom American Museum of Natural History in New York nun eindeutig das Sternsystem identifizieren, aus dem die Nova Scorpii 1437 hervorging.

Die Astronomen analysierten dazu historische Fotoplatten – die älteste stammt aus dem Jahr 1923 – und ermittelten so die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit eines auffälligen Doppelsternsystems aus einem Weißen Zwerg und einem sonnenähnlichen Stern. Auf heutigen Aufnahmen erscheint das Duo 15 Bogensekunden neben dem Zentrum der Gashülle. Der Rekonstruktion der Forscher zufolge befand es sich vor 580 Jahren jedoch genau in der

Mitte der Blase, die anders als die beiden Sterne laufend durch interstellare Materie abgebremst wird.

Noch etwas anderes stützt die Theorie: Bei dem System handelt es sich um einen »kataklismischen Veränderlichen«, dessen Helligkeit immer wieder für kurze Zeit zunimmt. Genau das erwarten Astrophysiker auch von Nova-Systemen: Jahrhunderte nach der Eruption müsste sich erneut eine Scheibe um den Weißen Zwerg gebildet haben, von der in unregelmäßigen Abständen etwas Materie auf den Stern stürzt und dadurch kleinere Explosionen auslöst, so genannte Zwergnovae. Das nun aufgespürte System ist das erste, in dem Astronomen diese mit einer größeren Nova-Explosion in Verbindung bringen können.

*Nature 10.1038/nature23644, 2017*

## BIOTECHNOLOGIE LEUCHTENDE BAUMWOLLE

► Seit Längerem arbeiten Materialwissenschaftler an smarten Textilien, die den Herzschlag messen oder auf Feuchtigkeit mit einer Farbänderung reagieren. Um solche Stoffe herzustellen, greifen Forscher meist auf synthetische Polymere (Kunststoffe) zurück, die sie chemisch nachbehandeln. Beim Tragen der Textilien können aber Hautirritationen auftreten, zudem nutzen sie sich meist relativ schnell ab.

Wissenschaftler um Filipe Natálio von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg zeigen nun, dass es auch anders



Leuchtende Baumwolle unter dem Mikroskop (UV-Licht).

FLIPE NATÁLIO / UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

geht. Sie haben Baumwollpflanzen dazu gebracht, Zellulosefasern mit vorgegebenen Eigenschaften selbst herzustellen. Dazu gaben die Forscher zum Fortpflanzungsorgan (der Samenanlage) der Baumwollpflanze *Gossypium hirsutum* in einer Petrischale veränderte Glukosemoleküle. Neben dem Zuckerrest enthalten diese noch einen Molekülteil, der entweder fluoresziert oder magnetische Eigenschaften vermittelt. 20 Tage später konnten die Biotechnologen die modifizierten Baumwollfasern ernten. Diese hatten entsprechend jeweils magnetische Eigenschaften oder fluoreszierten knallgelb.

Die leuchtenden Baumwollfasern reißen – anders als die magnetischen – allerdings leichter als solche aus unbehandelten Pflanzen. Laut den Autoren eignen sich dennoch beide Faserarten für die Verwendung in Kleidung. Ihr großer Vorteil gegenüber chemisch behandelten Kunststoffen bestehe darin, dass ihre speziellen Eigenschaften nicht von einer Beschichtung vermittelt werden, sondern in der Faser selbst stecken und sich somit nicht abnutzen. Auf ähnliche Weise könne man künftig vielleicht auch Seide-, Flachs- oder Bambusfasern modifizieren.

*Science 357, S. 1118, 2017*



Ein Weißer Zwerg (rechts) saugt Gas von seinem Nachbarstern ab (Illustration).

MASA / CXC / M. WEISS

# MEDIZIN

## WAS UNSER KÖRPERGEWICHT BESTIMMT

**Wer abnehmen möchte, muss mehr Energie verausgaben als aufnehmen. Das klingt einfach, ist es aber nicht – denn hier spielt ein kompliziertes Regelwerk des Stoffwechsels mit, das bei jedem anders beschaffen ist. Eine überraschende Erkenntnis: Sport beeinflusst das Körpergewicht deutlich weniger, als die meisten annehmen.**



**Susan B. Roberts** (links) ist Ernährungswissenschaftlerin, Psychiaterin und Direktorin am Jean Mayer USDA Human Nutrition Research Center on Aging der Tufts University bei Boston, Massachusetts (USA). **Sai Krupa Das** ist ebenfalls Ernährungswissenschaftlerin und Kollegin von Roberts an der Tufts University.

» [spektrum.de/artikel/1505983](http://spektrum.de/artikel/1505983)

Übergewicht und Fettleibigkeit (Adipositas) gehören zu den größten medizinischen Herausforderungen der Menschheit. 2014 waren weltweit etwa 600 Millionen Erwachsene adipös, das sind rund 13 Prozent der Weltbevölkerung – doppelt so viel wie im Jahr 1980. In einzelnen Ländern fallen die Zahlen noch dramatischer aus: 37 Prozent der Erwachsenen in Amerika sind fettleibig (und damit auch übergewichtig), weitere 34 Prozent »lediglich« übergewichtig. In Deutschland stellt sich die Situation nur geringfügig besser dar – nach Angaben des Robert Koch-Instituts (RKI) sind 67 Prozent der Männer und 53 Prozent der Frauen übergewichtig und ein Viertel aller Erwachsenen adipös. Und der Anteil steigt weiter, wie das RKI vermeldet: Die Häufigkeit von Adipositas nehme seit Jahrzehnten zu, besonders bei Männern und im jungen Erwachsenenalter. Hält dieser Trend an, wird das dramatische Konsequenzen für die Gesundheitssysteme haben.


Könnten Diäten, Gymnastikkurse im Fernsehen und »Schlankmacher« aus der Apotheke das Problem lösen, dann hätte sich das schon lange in sinkenden Betroffenenzahlen niederschlagen müssen. Adipositas aber, die durch einen übermäßig hohen Körperfettanteil und einen Körpermasseindex von mehr als 30 Kilogramm pro Quadratmeter gekennzeichnet ist, lässt sich nicht mit ein paar raschen Korrekturmaßnahmen aus der Welt schaffen. Komplexe Mechanismen bestimmen darüber, was wir essen und warum, wie unser Organismus sein Gewicht reguliert und ob wir Erfolg dabei haben, ungesunde Gewohnheiten

abzulegen. Unser Team versucht seit zwei Jahrzehnten, effektivere Methoden zu entwickeln, um Fettleibigkeit zu behandeln und Menschen dabei zu helfen, eine gesunde Körpermasse beizubehalten.

Viele unserer Erkenntnisse stellen gängige Auffassungen in Frage. So haben wir in Forschungsarbeiten belegt, dass körperliche Bewegung nicht das Wichtigste ist, wenn man abnehmen möchte – obgleich sie ohne jeden Zweifel zahlreiche positive Wirkungen auf den Organismus hat. In langjährigen Untersuchungen konnten wir empirisch untermauern: Was man verzehrt und wie viel davon, wirkt sich viel stärker auf den Erfolg einer Gewichtsreduktion aus als der Sport, den man treibt. Dabei unterscheiden sich einzelne Menschen sehr darin, mit welchen Nahrungsmitteln sie am effektivsten abnehmen. Diese Erkenntnisse erlauben es uns, individuell zugeschnittene Pläne zur Gewichtsreduktion aufzustellen, die besser funktionieren als Universalkonzepte für alle.

Wir sind davon überzeugt, dass unser neuer Ansatz helfen kann, die Gesundheit von Millionen Menschen rund um den Globus zu verbessern. Fettleibigkeit erhöht das Risiko für alle bedeutenden nichtübertragbaren Krankheiten, darunter Diabetes Typ 2, Herz-Kreislauf-Komplikationen, Schlaganfall und diverse Krebsarten. Das reduziert die Lebenserwartung adipöser Personen um durchschnittlich etwa 14 Jahre. Wie Forschungsarbeiten belegen, stört Übergewicht die Fähigkeit unseres Körpers, Infektionen zu bekämpfen, beeinträchtigt den Schlaf und macht das





Mit naturnahen Lebensmitteln gelingt das Abnehmen besser als mit technisch aufbereiteten (raffinierten) Produkten. Denn Letztere sind häufig leichter zu verdauen und erhöhen den Blutzucker stärker, was sich durch Sport kaum kompensieren lässt.



Altern komplikationsreicher, um nur einige Probleme zu nennen. Es wird höchste Zeit, die Adipositasepidemie in den Griff zu bekommen.

Gewichtsreduktion lässt sich auf eine einfache Formel bringen: Sorge dafür, dass dein Körper mehr Energie ver- ausgibt, als du über die Nahrung aufnimmst. Oder salopp ausgedrückt, verbrenne mehr Kalorien, als du verzehrst. Jahrzehntelang waren sich Mediziner einig, es sei relativ egal, wie dies erreicht werde. Solange die Versorgung mit essenziellen Nährstoffen sichergestellt sei, Sorge jede Kombination aus intensiver körperlicher Betätigung und reduzierter Nahrungszufuhr für ein medizinisch unbedenkliches Abnehmen. Aber diese These lässt die Komplexität der menschlichen Physiologie und Psychologie außer Acht und versagt daher in der Praxis. Es dauerte seine Zeit, die einschlägigen Details abzuklären und die Gewichtskontrolle auf wissenschaftlich belastbarere Füße zu stellen – und es erforderte deutlich mehr Forschungsaufwand, als die meisten erwartet hatten.

Unsere ersten Bemühungen in den 1990er Jahren bestanden darin, zunächst eine Grundfrage zu klären: Wie viel Energie setzt ein durchschnittlicher menschlicher Körper um? Das ist nicht einfach zu beantworten. Der Organismus bezieht chemische Energie aus der Nahrung, aber um sie zu nutzen, muss er Nährstoffe aufschließen und verstoffwechseln, womit er energiereiche Verbindungen als »Treibstoffe« erhält. Mit dem Sauerstoff, den wir einatmen, verbrennt er diese Treibstoffe dann. Was er nicht sofort benötigt, speichert er in der Leber zwischen – in Form des Polysaccharids Glykogen oder als Fett. Ist die Aufnahmekapazität der Leber erschöpft, lagert der Organismus den Überschuss in Fettzellen ein.

Während der Körper die Nahrung verstoffwechselt, erzeugen wir Kohlenstoffdioxid, das wir ausatmen, und weitere Abfallprodukte, die wir über den Harn oder Stuhl ausscheiden. Diese biochemischen Prozesse laufen bei verschiedenen Individuen – und unter wechselnden Bedingungen auch bei ein und derselben Person – unterschiedlich effizient ab.

## AUF EINEN BLICK VERWICKELTE ENERGIEBILANZ

- 1 Übergewicht und Fettleibigkeit haben in den westlichen Ländern epidemische Ausmaße angenommen. Daher wird es immer wichtiger, die Zusammenhänge dahinter zu erforschen.
- 2 Der Erfolg des Abnehmens hängt nicht nur von den verzehrten Kalorien ab, sondern auch davon, wie die Nahrung zusammensetzt ist, welchen glykämischen Index sie hat und wie hoch der Grundumsatz ausfällt.
- 3 Untersuchungen belegen, dass körperliche Aktivität sich deutlich weniger auf das Körpergewicht auswirkt als allgemein angenommen.

Lange Zeit bestand das beste Verfahren, den menschlichen Energieumsatz zu messen, darin, eine Versuchsperson zwei Wochen lang in einem Speziallabor wie unserem unterzubringen. Dort können wir in einer streng kontrollierten Umgebung alles erfassen, was die Person verzehrt, und jede Änderung ihres Körpergewichts exakt dokumentieren. Alternativ kann man die Versuchsperson in einen geschlossenen Raum stecken, der die Wärme- und Stoffflüsse zwischen ihr und der Umgebung genau zu messen erlaubt – ein so genanntes Kalorimeter. Dort

## Es brauchte 20 Jahre, um genügend Daten zu sammeln, denn eine einzige Messung des Kalorienbedarfs kostete bis zu 2000 Dollar

ermitteln die Forscher unter anderem die Menge des Sauerstoffs, den die Person ein-, und jene des Kohlenstoffdioxids, das sie ausatmet. Aus den Messdaten lässt sich der Energieumsatz des Organismus ermitteln. Doch weder die eine noch die andere Methode ist sonderlich angenehm für die Probanden, und keine eignet sich gut dafür, die Bedingungen des Alltags widerzuspiegeln.

### Kalorienumsatz messen leicht gemacht – dank isoto- penmarkiertem Wasser

Mittlerweile ist ein viel einfacherer Ansatz verfügbar, der mit doppelt markiertem Wasser funktioniert. Dieses enthält winzige Mengen der seltenen Isotope Deuterium ( $^2\text{H}$ ) und Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ ). Beide Isotopensorten sind nicht radioaktiv, ungiftig und physiologisch harmlos. Trinkt eine Versuchsperson doppelt markiertes Wasser, scheidet sie die darin enthaltenen Isotope in den folgenden Tagen und Wochen allmählich wieder aus. Das Deuterium und einen Teil des  $^{18}\text{O}$  gibt sie über den Urin ab, das restliche  $^{18}\text{O}$  atmet sie in Form von Kohlenstoffdioxid aus. Indem Forscher wiederholt Urinproben der Versuchsperson nehmen und darin die  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte messen, ermitteln sie, wie schnell die beiden Isotopsorten den Organismus verlassen. Aus der Differenz dieser Raten ergibt sich die Kohlenstoffdioxidproduktion des Organismus – und daraus wiederum dessen mittlerer Sauerstoffverbrauch beziehungsweise Energieumsatz über mehrere Tage hinweg, der sich leicht in einen täglichen Durchschnittswert umrechnen lässt. Die Methode erlaubt es somit, die Zahl der täglich »verbrannten« Kalorien zu berechnen, und weil die Probanden hierfür lediglich doppelt markiertes Wasser trinken und Urinproben abgeben müssen, werden sie in ihrem Alltag kaum beeinträchtigt.

Das Verfahren stammt bereits aus den 1950er Jahren, ließ sich aber jahrzehntelang nicht an größeren Probandengruppen anwenden, weil doppelt markiertes Wasser zu teuer dafür war. In den 1980er Jahren fielen die Preise zwar und die Technik wurde effizienter, aber dennoch konnte eine einzige Messung Kosten von bis zu 2000 Dol-

lar verursachen. Das war der Grund dafür, dass wir rund 20 Jahre brauchten, um genügend Daten zusammenzutragen und die Frage zu beantworten: Wie viel Energie benötigt der Organismus, um sein Gewicht beizubehalten, und bei welcher Energiezufuhr nimmt er ab?

Unsere Arbeiten und die von anderen Forschern ergaben, dass Menschen einen bestimmten Kalorienbetrag benötigen, um gesund und fit zu bleiben. Alles, was an Energiezufuhr darüber hinausgeht, führt zu einer raschen Gewichtszunahme. Und das ist erstaunlicherweise weitgehend unabhängig davon, wie viel Sport wir treiben. Ein gesunder, erwachsener, durchschnittlich großer und normalgewichtiger US-Amerikaner benötigt täglich etwa 10 500 Kilojoule (2500 Kilokalorien), um sein Körpergewicht zu halten. Bei einer gesunden, erwachsenen und normalgewichtigen Durchschnittsamerikanerin sind es zirka 8400 Kilojoule (2000 Kilokalorien). Dass Männer in der Regel etwas mehr beanspruchen, liegt daran, dass sie im Mittel größer sind und mehr Muskelmasse besitzen, die einen entsprechend höheren Energieumsatz hat.

Interessant ist der Vergleich zwischen verschiedenen Arten. Rothirsche (*Cervus elaphus*, Untersuchungen an adulten Weibchen mit durchschnittlich 100 Kilogramm) und Kegelrobben (*Halichoerus grypus*, Untersuchungen an adulten Weibchen mit durchschnittlich 120 Kilogramm) etwa brauchen täglich zwei- bis dreimal so viele Kalorien pro Kilogramm wie Primaten, um ihr Gewicht zu halten.

Es ist verlockend anzunehmen, US-Amerikaner hätten auf Grund ihrer bewegungsarmen Lebensweise einen reduzierten Kalorienbedarf. Doch wie Wissenschaftler zur allgemeinen Überraschung herausgefunden haben, setzen Indigene, die körperlich sehr viel aktiver leben, etwa genauso viel Energie pro Zeit um. Herman Pontzer vom Hunter College und seine Kollegen haben den Kalorienbedarf der Hadza ermittelt, Jäger und Sammler im Norden Tansanias, und kamen bei den Männern auf etwa 2600 Kilokalorien täglich, bei den Frauen auf rund 1900 (siehe den folgenden Beitrag). Eine andere Studie an indigenen Jakuten in Sibirien ergab einen Bedarf von rund 3100 Kilokalorien pro Tag bei Männern und 2300 bei Frauen. Mitglieder der Aymara schließlich, die im Andenraum leben, benötigen täglich ungefähr 2650 (Männer) beziehungsweise 2340 Kilokalorien (Frauen).

### Zwei Kekse täglich können bereits reichen, um binnen 10 Jahren um 30 Kilogramm zuzunehmen

Es gibt, auch im Hinblick auf diese Zahlen, keinen Grund anzunehmen, dass sich der mittlere Kalorienbedarf des Menschen in den zurückliegenden Jahrzehnten geändert hat. Trotzdem konsumieren Amerikaner heute durchschnittlich 500 Kilokalorien pro Tag mehr als noch in den 1970er Jahren, wie aus epidemiologischen Erhebungen hervorgeht. Das entspricht einem Sandwich mit gegrilltem Hühnerfleisch oder zwei Rindfleisch-Tacos aus einem Schnellrestaurant. Bereits ein Überschuss von 50 bis 100 Kilokalorien pro Tag – das sind ein bis zwei kleine Kekse – kann die Körpermasse um ein bis drei Kilogramm pro Jahr nach oben treiben, also über die Dauer eines Jahrzehnts hinweg um 10 bis 30 Kilogramm. Ist es da ein

## Gewichtiges Problem

# 37%

der erwachsenen Amerikaner sind fettleibig (adipös).



# 34%

Weitere der erwachsenen Amerikaner sind übergewichtig.



NACH: CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC) / SCIENTIFIC AMERICAN JUNI 2017

Inzwischen ist die Mehrheit der Amerikaner übergewichtig oder sogar adipös. Das gilt auch für die Deutschen.

Wunder, dass so viele Menschen übergewichtig oder fettleibig sind?

Die Formel zum Stabilisieren des Körpergewichts – nimm nicht mehr Kalorien zu dir, als dein Organismus zum Funktionieren benötigt – entspricht dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik: Die Gesamtenergie, die einem geschlossenen System zugeführt wird, ist gleich der Summe der Energiebeiträge, die dem System entnommen beziehungsweise darin gespeichert werden. Dieses Gesetz gilt zwingend auch für biologische Systeme. Es trifft freilich keine Aussage darüber, wie effizient der Körper aus verschiedenen Nahrungsmitteln Energie gewinnt. Das bringt uns zu der Frage, ob alle Lebensmittel gleichen Kaloriengehalts auch gleichermaßen zu einer Gewichtszunahme beitragen.

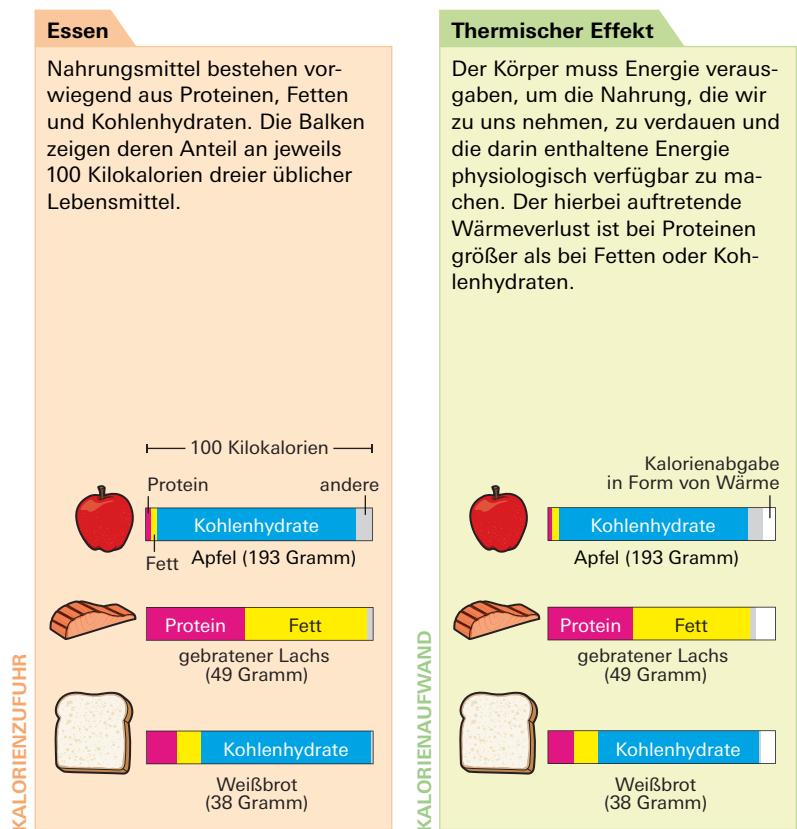
Mittlerweile haben wir Antworten darauf, aber es hat sehr lange gedauert. Um zu verstehen warum, muss man bis in die späten 1890er Jahre zurückgehen, und zwar in die kleine Gemeinde Storrs im US-Bundesstaat Connecticut. Dort richtete der Chemiker Wilbur O. Atwater die erste Forschungsstation der Vereinigten Staaten ein, die eigens dafür konzipiert war, Produktion und Verbrauch von Nahrungsmitteln zu untersuchen. Atwater wies nach, dass der erste Hauptsatz der Thermodynamik ebenso für Tiere und Menschen gilt. Das war durchaus bemerkenswert, denn es gab damals Wissenschaftler, die glaubten, Menschen seien von dieser Gesetzmäßigkeit ausgenommen.

Atwaters experimentelles Vorgehen unterschied sich verblüffend wenig von heute gängigen Methoden. Um zu ermitteln, wie viel Energie der Organismus aus den drei Hauptbestandteilen der Nahrung – Proteine, Fette, Kohlenhydrate – bezieht, bat der Forscher einige männliche Freiwillige, sich mehrere Tage lang jeweils einzeln in ein Kalorimeter zu begeben. Dort erfassten Atwater und seine



# Energiebilanzen

Die Gesetze der Thermodynamik gelten für lebende Organismen genauso wie für tote Materie. Der Energiebetrag, den wir aus der Nahrung gewinnen, ist daher gleich der Summe aus den Beträgen, die unser Organismus verausgabt beziehungsweise speichert. Hinter den Faktoren dieser einfachen Formel verbergen sich in der Praxis aber unerwartet komplizierte Zusammenhänge. Beispielsweise haben Menschen verschieden stark ausgeprägte Hungergefühle, schließen die Nahrung unterschiedlich effizient auf und haben zudem voneinander abweichende Grundumsätze.



Kollegen messtechnisch alles, was die Teilnehmer verzehrten und was daraus wurde – vom Kohlenstoffdioxid, das die Probanden ausatmeten, bis hin zum Stickstoff, Kohlenstoff und anderen Substanzen in ihrem Stuhl und Harn. Am Ende kamen die Wissenschaftler zu dem Ergebnis, dass der Körper aus einem Gramm Eiweiß beziehungsweise Kohlenhydrat etwa vier Kilokalorien gewinnt – und aus einem Gramm Fett zirka neun Kilokalorien. Diese Werte gelten heute noch.

Natürlich ernähren wir uns in der Regel nicht von reinen Proteinen, Kohlenhydraten oder Fetten. Lachsfilet beispielsweise besteht hauptsächlich aus Eiweiß und Fett; Äpfel aus Kohlenhydraten und Ballaststoffen; Milch aus Fetten, Proteinen, Kohlenhydraten und viel Wasser. Zur Überraschung vieler Forscher stellte sich heraus, dass die Beschaffenheit und Zusammensetzung von Nahrungsmitteln entscheidend darüber bestimmt, wie effektiv der Organismus sie verdauen und verwerten kann.

## Mandelbutter statt rohen Mandeln? Der Kalorienunterschied ist gewaltig

Im Jahr 2012 beispielsweise wies David Baer vom Beltsville Human Nutrition Research Center in Maryland (USA) nach, dass der Körper oft längst nicht so viel Energie aus pflanzlicher Nahrung bezieht wie auf Nährstoffkennzeichnungen angegeben – abhängig von der Verarbeitung.

Rohe, ganze Mandeln etwa sind relativ schwer zu verdauen und liefern bei gleicher Menge ungefähr ein Drittel weniger Kalorien als Mandelbutter.

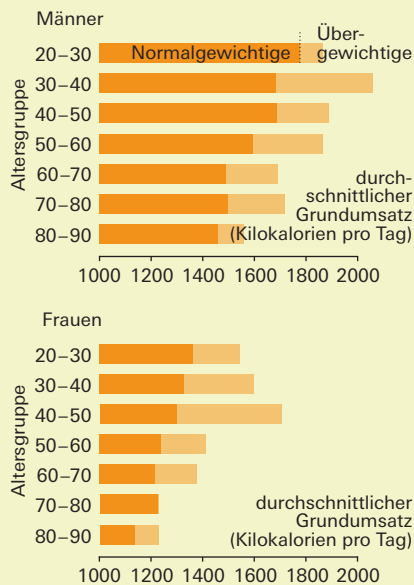
Auch Vollkornprodukte, Hafer und ballaststoffreiche Getreideerzeugnisse werden relativ ineffizient verstoffwechselt. Kürzlich untersuchten wir in einer Studie, was geschieht, wenn Freiwillige eine Vollkorndiät mit doppelt so vielen Ballaststoffen wie eine typische amerikanische Alltagskost erhalten. Die Probanden schieden dann mehr Kalorien mit dem Stuhl aus, ihr Körper schloss die Nahrung also nur unvollständig auf, und außerdem ging die Intensität ihres Stoffwechsels zurück. Zusammen ergab das ein Defizit von 100 Kilokalorien täglich – was über mehrere Jahre hinweg substantielle Auswirkungen auf das Körpergewicht haben kann.

All diese Befunde zeigen, dass Kalorie nicht gleich Kalorie ist; es kommt auf die Art des Nahrungsmittels an. Wenn wir mehr darüber herausfinden, wie unterschiedlich effizient Lebensmittel verdaut werden und wie sie jeweils die Stoffwechselrate des Körpers beeinflussen, werden wir wahrscheinlich besser verstehen, warum es manchen Menschen schwerer fällt als anderen, ihr Gewicht zu kontrollieren.

Doch was wir zu uns nehmen, ist nur die eine Seite der Energiebilanz. Die andere ist, was unser Körper damit macht, wie viel von der zugeführten Energie er also auf-

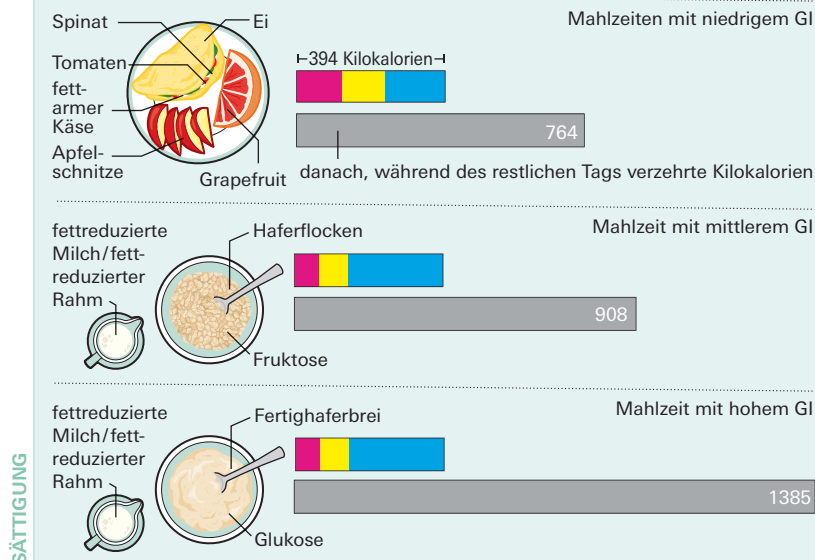
## Grundumsatz

Auch ein ruhender Organismus wendet Energie auf, um seine Körperintegrität aufrechtzuerhalten. Daten von US-Bürgern zeigen, wie stark dieser Grundumsatz von Geschlecht, Alter und Körpergewicht abhängt.



## Glykämischer Index

Der so genannte glykämische Index (GI) eines Nahrungsmittels ist ein Maß dafür, wie stark sich der Verzehr dieses Nahrungsmittels auf den Blutzuckergehalt auswirkt. Protein- und ballaststoffreiche Lebensmittel haben einen relativ niedrigen GI und erzeugen ein nachhaltigeres Sättigungsgefühl. Essen hingegen, das viele leicht abbaubare Kohlenhydrate enthält (beispielsweise Süßigkeiten), weist einen hohen GI auf. Eine Studie mit fettleibigen Jungen ergab: Mahlzeiten mit hohem GI zu verzehren, führt zu einer insgesamt höheren Kalorienaufnahme.



wendet oder verausgibt. Wissenschaftler stoßen auch hier auf eine erstaunlich große Variabilität.

Wer abnehmen möchte, erhält in der Regel den Rat-schlag, sich mehr zu bewegen. Gegen die Empfehlung an sich ist nichts einzuwenden, denn die gesundheitlich positiven Wirkungen körperlicher Aktivität stehen außer Zweifel. Die Frage ist nur, ob Sport und Bewegung tatsächlich bei der Gewichtsreduktion helfen. Detaillierte Messungen von uns und anderen Arbeitsgruppen zeigen, dass physische Aktivität meist nur für ein Drittel des Gesamtenergieaufwands (total energy expenditure) des Organismus verantwortlich ist. Bei aktiven Hochleistungs-sportlern sieht das sicher anders aus, aber sie stellen untypische Extremfälle dar. Im Durchschnitt macht der Grundumsatz des Körpers – der Energieaufwand im Ruhe-zustand, um den Organismus und seine Lebensfunktionen aufrechtzuerhalten – zwei Drittel des Gesamtbetrags aus. Es mag viele erstaunen, aber: Den höchsten Energiebedarf haben Gehirn, Herz und Nieren, und nicht die Skelett-muskeln. Mit Krafttraining lässt sich der Grundumsatz zwar steigern, allerdings nur in bescheidenem Ausmaß.

Zudem ändert sich unser Stoffwechsel im Lauf des Lebens, wie die meisten Menschen im mittleren oder höheren Alter aus eigener Erfahrung bestätigen können. Ältere Menschen benötigen weniger Kalorien als junge, um das Funktionieren ihres Organismus sicherzustellen.

Weiterhin unterscheidet sich die Stoffwechselintensität zwischen einzelnen Individuen. 1986 haben Wissenschaft-ler in einer Studie den Metabolismus von 130 Personen aus 54 Familien untersucht. Auch nachdem sie Unter-schiede im Alter, im Geschlecht und im Körperbau berück-sichtigt hatten, beobachteten sie immer noch familiäre Unterschiede von bis zu 500 Kilokalorien täglich. Die Herkunft wirkt sich also offenbar stark auf die Stoffwech-selintensität und die Fähigkeit zur Gewichtskontrolle aus.

### Wenn der Körper einen Strich durch die Diätrechnung macht

Um das Ganze noch komplizierter zu machen, wirken im Körper auch diverse Rückkopplungsschleifen. Wenn Sie abnehmen, sinken Ihr Grundumsatz und Ihr Kalorienbedarf beispielsweise, weil ja jetzt weniger Körpergewebe zu versorgen ist. Das bedeutet, dass sich der weitere Abnehm-prozess verlangsamt. Überdies treten nun evolutionär erworbene Mechanismen in Kraft, die dem Gewichtsabbau entgegenwirken, indem sie dafür sorgen, dass der Orga-nismus mit seinen Ressourcen besser haushaltet. So zeigen Untersuchungen, dass die Stoffwechselintensität wäh-rend einer Gewichtsreduktion noch etwas stärker sinkt als ohnehin schon erwartet. Dies sind wichtige Gründe da-für, dass Diäten oft so frustrierend schlecht funktionieren. Immerhin kann man, sobald die Körpermasse einmal

zurückgegangen ist, das Beibehalten derselben durch körperliche Aktivität unterstützen, indem man damit den verminderten Kalorienbedarf kompensiert – wenigstens zum Teil.

Untersuchungen zeichnen ein zunehmend klares Bild davon, dass auch unser Gehirn eine maßgebliche Rolle bei der Gewichtsreduktion spielt, denn es koordiniert Signale, die von zahlreichen Sinnesorganen im Körper eingehen, sobald wir mit Nahrung konfrontiert werden. Es sorgt auf dieser Grundlage dafür, dass wir Hunger und Appetit verspüren, die uns zum Verzehr bewegen können. Hunger ist eine mächtige, tief verwurzelte Empfindung, die evolu-



## Mehr Wissen auf Spektrum.de

Unser Online-Dossier zum Thema finden Sie unter [spektrum.de/t/uebergewicht](http://spektrum.de/t/uebergewicht)

NOMAD\_SOUL / STOCK.ADOBE.COM

tionär von entscheidender Bedeutung war, denn sie gewährleistete das Überleben unserer Vorfahren. Es ist wenig sinnvoll, ihn ignorieren oder verdrängen zu wollen. Vielmehr liegt einer der Schlüssel einer erfolgreichen Gewichtskontrolle darin, Hunger und Appetit erst gar nicht entstehen zu lassen.

Untersuchungen von uns und anderen Teams belegen, dass protein- oder ballaststoffreiche Mahlzeiten in der Regel gut sättigen und Hungergefühlen effektiv entgegenwirken. Das gilt allgemein für Lebensmittel mit niedrigem glykämischen Index (GI) – solchen also, die den Blutzuckerspiegel nur relativ wenig ansteigen lassen. Aus einer Studie, die wir im Jahr 2000 veröffentlicht haben, geht hervor: Wer ein Frühstück mit hohem GI verzehrt, beispielsweise gezuckerte Cornflakes, nimmt in den Stunden danach durchschnittlich 29 Prozent mehr Kalorien zu sich als nach einem Frühstück mit niedrigem GI (etwa Haferbrei oder Rührei).

### **Pommes und Pralinen: Mit der richtigen Diät vergeht der Appetit darauf**

Unsere neuesten Daten zeigen, dass es möglich ist, Hungergefühle während des Abnehmens durch Wahl geeigneter Lebensmittel zu reduzieren. Mit Hilfe eines detaillierten Fragebogens ermittelten wir bei 133 Studienteilnehmern, wann, wie oft und wie intensiv sie Hunger verspürten. Anschließend teilten wir sie nach dem Zufallsprinzip (randomisiert) in zwei Gruppen ein. Der einen verordneten wir einen Speiseplan mit protein- und ballaststoffreichen Lebensmitteln niedrigen GIs – dazu gehörten Fisch, Bohnen, Äpfel, Gemüse, Hühnchenfleisch und Vollkornweizen. Die andere Gruppe unterlag keiner solchen Diät und diente als Kontrolle.

Während des sechsmonatigen Versuchszeitraums empfanden die Mitglieder der Testgruppe immer weniger

Hunger – und schließlich deutlich weniger als eingangs dokumentiert. Zudem nahmen sie in dieser Zeit um durchschnittlich 8 Kilogramm ab, während die Kontrollprobanden im Schnitt um 0,9 Kilogramm zulegten. Interessant ist auch, dass die Testgruppe über weniger Heißhungerattacken berichtete als die Kontrollgruppe, was Veränderungen im Gehirn vermuten ließ. Wir prüften das, in dem wir 15 Probanden mit funktioneller Magnetresonanztomografie untersuchten, während wir ihnen Bilder von diversen Lebensmitteln präsentierten. Dabei stellte sich heraus, dass die Belohnungszentren in den Gehirnen der protein- und ballaststoffreich ernährten Teilnehmer mit der Zeit immer stärker auf Fotos von Hühnchenfleisch, Vollkornprodukten und ballaststoffreichen Getreideerzeugnissen reagierten, aber immer weniger auf Abbildungen von Pommes frites, Brathähnchen, Pralinen und anderen Dickmachern.

Die hungerreduzierenden Eigenschaften von Nahrungsmitteln; die Effizienz, mit der der Organismus sie verstoffwechselt; die Fähigkeit unseres Metabolismus, sich an eine veränderte Energiezufuhr anzupassen – sie alle können individuell sehr verschieden sein. Dies macht die Gewichtskontrolle zu einer vertrackten Sache. Immer wieder stellen wir fest, wie sehr sich die Menschen diesbezüglich unterscheiden. So ist zwar allgemein bekannt, dass die meisten fettleibigen Menschen vermehrt Insulin ausschütten – jenes Hormon, das Körperzellen dazu anregt, Glukose aus dem Blut aufzunehmen. Das kann zu einer Insulinresistenz führen und infolgedessen zu einer ganzen Reihe weiterer Probleme, etwa einem erhöhten Herzinfarktrisiko oder Diabetes Typ 2. Als wir solchen Menschen ein sechsmonatiges Gewichtsreduktionsprogramm mit protein- und ballaststoffreicher, kohlenhydratarmer Ernährung mit niedrigem GI verordneten, verloren sie mehr Gewicht als bei kohlenhydratreicher Ernährung mit hohem GI (aber gleicher Energiezufuhr). Bei Probanden mit schwacher Insulinausschüttung hingegen spielte es keine Rolle, ob die Diät einen höheren oder niedrigeren Protein- beziehungsweise Kohlenhydratanteil hatte und welchen GI sie aufwies – diese Menschen profitierten stets gleich gut von dem Ernährungsprogramm.

Heute können wir den meisten Probanden dabei helfen, abzunehmen und das geringere Gewicht zu halten. Obwohl unsere bereits erwähnte Studie mit 133 Personen sechs Monate dauerte, den Besuch wöchentlicher Treffen erforderte und häufige Auskünfte per E-Mail verlangte, schieden nur elf Prozent der Teilnehmer vorzeitig aus. Manche weinten beim letzten Treffen sogar und wollten sich nicht verabschieden. Sie hatten nicht nur erfolgreich ihr Gewicht reduziert, sondern fühlten sich auch seelisch und körperlich besser als zuvor. Wie ein Teilnehmer meinte: »Die Wissenschaft hat funktioniert!« ◀

### QUELLEN

**Batra P. et al.:** Eating Behaviors as Predictors of Weight Loss in a 6 Month Weight Loss Intervention. In: *Obesity* 21, S. 2256–2263, 2013

**Pontzer, H.:** The Crown Joules: Energetics, Ecology, and Evolution in Humans and Other Primates. In: *Evolutionary Anthropology* 26, S. 12–24, 2017



# Naturwissenschaftliches Wissen aus erster Hand für Schulen und Schüler



wissenschaft  
in die schulen!

## AUS DER FORSCHUNG IN DEN UNTERRICHT

Das Projekt **wissenschaft in die schulen!**

Jugendliche nachhaltig für Naturwissenschaft begeistern – das ist das Ziel der Initiative **wissenschaft in die schulen!** Wir zeigen durch unsere Unterrichtsmaterialien zu aktuellen Themen aus der Forschung, dass Biologie, Physik, Chemie, Mathematik, Geowissenschaften und Astronomie spannende Fächer sind. Wir – das sind der Verlag **Spektrum** der Wissenschaft, die Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie sowie das Max-Planck-Institut für Astronomie.

Unterstützen Sie das Projekt!

Ohne weitere Partner ist die Realisierung des Projekts nicht möglich. Deshalb möchten wir Sie einladen, das Projekt aktiv zu unterstützen. Wenn Sie wissen wollen, wie Sie sich persönlich oder als Firma einsetzen können, dann finden Sie hier Informationen dazu: [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de)

---

Tausende Schüler sind schon dabei. Herzlichen Dank an unsere Sponsoren!



BSZ für Agrarwirtschaft und Ernährung  
Dresden

INNO-TEC



Förderverein Eichsfeld-Gymnasium

# PHYSIOLOGIE AKTIV IM ENERGIESPARMODUS

**Der Kalorienumsatz des Menschen hängt deutlich weniger von sportlicher Aktivität ab als oft angenommen. Das hilft nicht nur, viele gesundheitsrelevante Phänomene zu verstehen, sondern gibt auch neue Antworten auf die Frage, was uns Menschen so besonders macht.**



**Herman Pontzer** ist Anthropologe an Hunter College in New York City. Er forscht über die Evolution der menschlichen Physiologie und Anatomie.

► [spektrum.de/artikel/1505985](https://spektrum.de/artikel/1505985)

► Es droht ein anstrengender Tag zu werden, denn wir sind einer verwundeten Giraffe auf den Fersen. Mwasad, ein Mann aus der Volksgruppe der Hadza, hat sie am Abend zuvor angeschossen. Der Enddreißiger traf das Tier aus gut 20 Meter Entfernung mit einem hölzernen Pfeil in den Hals. Die Metallspitze des Geschosses hatte er mit einem starken, selbst gemachten Gift überzogen. Hadza sind traditionelle Jäger und Sammler, die im Norden Tansanias leben und sich von wilden Pflan-

zen und Tieren in der trockenen Savanne ernähren. Sie kennen das Land und seine Ökosysteme besser als ein Europäer seinen lokalen Supermarkt um die Ecke.

Das Gift an Mwasads Pfeil wirkt allerdings schleichend. Die Giraffe ist deshalb nicht sofort zusammengebrochen, sondern weggerannt. Wir hoffen, sie nun irgendwo aufzuspüren. Ein Tier dieser Größe kann Mwasads Familie und die anderen im Lager eine ganze Woche lang ernähren, aber natürlich nur, wenn man es findet.

Kurz nach Tagesanbruch führt der Hadza-Mann unsere kleine Gruppe aus dem Lager heraus. Mit dabei sind ein zwölf Jahre alter Hazda-Junge namens Neje, David Raichlen von der University of Arizona und ich. Zugegeben, David und ich werden bei diesem Unternehmen kaum von Nutzen sein. Es war eine freundliche Geste von Mwasad, uns einzuladen, und sollten wir die Beute tatsächlich entdecken, können wir immerhin tragen helfen. Als Anthropologen, die über die Ökologie und Evolution des Menschen forschen, haben wir die Gelegenheit sofort ergriffen – denn die Fähigkeiten der Hazda-Männer, Fährten zu lesen und zu verfolgen, sind legendär. Auf jeden Fall war das Angebot attraktiver als die Aussicht darauf, den Tag im Lager zu verbringen und an der Ausrüstung herumzubasteln.

Eine Stunde lang laufen wir zügigen Schritts durch eine weglöse Landschaft mit goldenem, hüfthohem Gras, das im Wind wogt und mit buschig stacheligen Akazienbäumen durchsetzt ist. Dann erreichen wir die blutgetränkte Stelle, wo Mwasad gestern die Giraffe angeschossen hat. Schon das ist eine enorme Leistung des Hazda-Jägers – als würde jemand Sie mitten in ein vier Quadratkilometer

## AUF EINEN BLICK WUNDERWERK STOFFWECHSEL

- 1** Mit Sport können wir unser Gewicht nur sehr bedingt kontrollieren. Das liegt an der speziellen Weise, wie unser Körper Energie umsetzt. Der tägliche Gesamtenergieaufwand des Menschen ist offenbar eng limitiert.
- 2** Traditionell lebende Jäger und Sammler, die ein körperlich stark beanspruchendes Leben führen, verbrennen pro Tag etwa genauso viele Kilojoule wie Bürger in den westlichen Ländern.
- 3** Ein Vergleich mit dem Stoffwechsel von (anderen) Menschenaffen lässt vermuten, dass der menschliche Metabolismus in Richtung eines höheren Durchsatzes evolviert ist.



großes Weizenfeld führen, um Ihnen zu zeigen, wo er tags zuvor seinen Zahnstocher verloren hat, und sich dann beiläufig bücken, um ihn wieder aufzuheben. Unter einer gnadenlos brennenden Sonne nehmen wir die Spur des verwundeten Tiers auf und folgen ihm Stunde um Stunde, während die Hinweise auf seinen Verbleib immer spärlicher werden.

David und ich sowie der Anthropologe Brian Wood von der Yale University haben insgesamt mehrere Wochen bei den Hazda verbracht. Es ist uns dabei erstmals gelungen, den täglichen Energieumsatz von Jägern und Sammlern direkt zu messen. Wir konnten mehrere Dutzend Hazda-Frauen und -Männer (unter ihnen Mwasad) dafür gewinnen, kleine Mengen eines unglaublich teuren Wassers zu trinken, das mit zwei seltenen Isotopen angereichert ist, nämlich Deuterium und Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ ). Indem man die Konzentration dieser Isotope im Urin der Teilnehmer misst, kann man ermitteln, wie viel Kohlenstoffdioxid ihr Körper in einer bestimmten Zeitspanne ausstößt, was wiederum den täglichen Gesamtenergieaufwand zu bestimmen erlaubt (siehe den vorherigen Beitrag). Diese Methode mit doppelt markiertem Wasser ist der Goldstandard, um Rückschlüsse auf den Kalorienverbrauch zu ziehen. Sie lässt sich einfach und verlässlich anwenden und ist völlig unbedenklich. Allerdings liefert sie nur dann genaue Werte, wenn die Teilnehmer jedes Fläschchen bis auf den letzten Tropfen leeren. Es hat uns viel Mühe gekostet, den

Hazda klarzumachen, dass sie die tägliche Ration immer komplett austrinken müssen.

Bei unserer Arbeit mit den Jägern und Sammlern haben meine Kollegen und ich viel über den menschlichen Energiehaushalt gelernt. Zusammen mit Ergebnissen von anderen Wissenschaftlern liefern die Daten einige überraschende Einblicke in unseren Stoffwechsel. Entgegen verbreiteter Annahmen deuten sie nämlich darauf hin, dass der tägliche Gesamtenergieaufwand (total daily energy expenditure) kaum vom Grad der physischen Aktivität abhängt. Bei Hochleistungssportlern mag das anders aussehen, aber auf solche Extremfälle beziehen wir uns nicht. Anscheinend hat sich der menschliche Organismus evolutionär so entwickelt, dass er einen beträchtlich höheren metabolischen Umsatz aufweist als der unserer Primatenverwandten. Diese Erkenntnis hilft zwei Dinge zu erklären, die auf den ersten Blick nichts miteinander zu tun haben, tatsächlich jedoch zusammenhängen: erstens, warum es so schwerfällt, mit Hilfe sportlicher Aktivität abzunehmen; und zweitens, wie der Mensch einige seiner ganz besonderen Merkmale erwarb.

Wissenschaftler, die über menschliche Evolution und Ökologie forschen, konzentrieren sich häufig auf den Energieumsatz, weil er eine wichtige Größe in der Biologie ist. Man kann viel über eine Spezies lernen, indem man ihren Stoffwechsel untersucht. Aus biologischer Sicht besteht das Leben im Wesentlichen darin, gewonnene

GRADYREESE / GETTY IMAGES / ISTOCK



Viele Europäer und Amerikaner gehen joggen, um Kalorien zu verbrennen. Doch Jäger und Sammler laufen erheblich mehr als wir – und setzen insgesamt trotzdem nicht mehr Energie um.

Energie in Nachkommen umzusetzen, und die natürliche Selektion beeinflusst die Organismen dahingehend, dass diese den evolutionären Gewinn pro verbrannter Kalorie maximieren. Ideale Forschungsbedingungen bestehen dort, wo eine Studienpopulation heute unter den gleichen Umweltbedingungen lebt, unter denen ihre Vorfahren einst entstanden sind – da dann immer noch dieselben ökologischen Selektionsdrücke wirken, die ihre biologischen Merkmale hervorgebracht haben. Das ist bei Menschen schwierig, weil wir heute meist unter völlig anderen Umständen leben als unsere Vorfahren. In den zurückliegenden zwei Millionen Jahren sind unsere Ahnen fast durchweg Jäger und Sammler gewesen und haben sich an

## Jagen und Sammeln ist ein riskantes Spiel um Kalorien, und wer zu viele Partien verliert, stirbt

diese Lebensweise angepasst. Die Landwirtschaft kam erst vor rund 10 000 Jahren auf, und industrialisierte Städte nebst modernen Technologien gibt es gerade mal seit ein paar Generationen. Populationen wie die Hazda, die weltweit zu den letzten Jägern und Sammlern zählen, zeigen uns, wie der menschliche Organismus ohne Massentierhaltung, Autos und Computer funktioniert.

Das Leben ist für die Hazda körperlich anspruchsvoll. Jeden Morgen verlassen die Frauen die Grashütten des Lagers in kleinen Gruppen, um nach wilden Beeren und anderem Verzehrbarem zu suchen. Einige tragen dabei ihre Kinder auf dem Rücken. Wilde Knollen sind das Hauptnahrungsmittel, und die Frauen verbringen manchmal Stunden damit, sie mit Stöcken aus dem steinigen Boden zu graben. Die Männer laufen täglich Kilometer um Kilometer, während sie mit selbst gemachten Pfeilen und Bogen jagen. Haben sie nur wenig Fleisch ergattert, klettern sie mit primitiven Beilen in mehr als zwölf Meter hohe Baumwipfel und ernten dort wilden Honig. Auch die Kinder leisten ihren Beitrag, indem sie eimerweise Wasser vom nächstgelegenen Wasserloch ins Lager schleppen – oft meilenweit. Am späten Nachmittag kehren alle zurück, scharen sich um kleine Holzfeuer, schwatzen miteinander, teilen die Erträge des Tages und kümmern sich um die Schwachen. So geht Woche für Woche, Monat für Monat, Jahr für Jahr ins Land, egal ob in der Trocken- oder Regenzeit und über die Jahrtausende hinweg praktisch immer gleich.

Falls Ihnen jetzt romantische Vorstellungen vom verlorenen Paradies in den Sinn kommen, vergessen Sie die besser gleich wieder. Jagen und Sammeln ist ein riskantes Spiel. Kalorien sind der Einsatz und der Preis, und wer zu viele Partien verliert, stirbt. Männer wie Mwasad setzen täglich hunderte Kilojoule ein, um Spuren zu folgen und zu jagen – in der Hoffnung, dies möge sich in Form von Beute auszahlen. Intelligenz ist dabei genauso wichtig wie Durchhaltevermögen. Während andere Raubtiere auf Geschwindigkeit und Kraft setzen können, müssen Men-

schen ihre Beute intellektuell übertreffen, indem sie deren Verhalten analysieren, Fährten lesen und entsprechend vorausschauend jagen. Obwohl Hazda-Männer sehr gut darin sind, erwischen sie große Beutetiere wie Giraffen höchstens einmal im Monat. Sie würden verhungern, wenn ihre Gefährtinnen nicht eine gleichermaßen anspruchsvolle ergänzende Strategie verfolgten: Hazda-Frauen nutzen ihre umfassenden Kenntnisse der lokalen Pflanzenwelt, um täglich eine verlässliche Ration vegetarischer Kost heimzubringen – die für sich genommen gleichwohl auf Dauer nicht reichen würde. Diese komplexe, kooperative Nahrungsbeschaffung hat den Menschen zu einem unglaublich erfolgreichen sozialen Wesen gemacht und ist ein ganz spezielles Merkmal unserer Spezies.

Mediziner und Evolutionsforscher haben lange angenommen, unsere Jäger-und-Sammler-Vorfahren hätten mehr Energie umgesetzt, als wir Stadtmenschen es heute tun. Angesichts der harten körperlichen Arbeit, die Wildbeuter ständig leisten, erscheint das völlig logisch. Viele Experten im Gesundheitswesen haben deshalb die These aufgestellt, der mutmaßliche Rückgang im täglichen Energieaufwand sei der Grund dafür, dass Übergewicht, Fettleibigkeit und metabolisches Syndrom in der entwickelten Welt häufiger werden. Wie sollte es anders sein, angesichts der hochkalorischen Nahrung, die wir nicht in körperliche Aktivität ummünzen und die sich daher in Körperfett niederschlägt?

Wie so viele Forscher waren auch wir davon überzeugt gewesen und hatten den Stoffwechsel der Hazda unter anderem untersucht, um zu ermitteln, wie groß der Mehrbetrag an Energie ist, den sie im Vergleich zu uns täglich umsetzen. Zurück in den Vereinigten Staaten, schickte ich die Fläschchen mit dem Urin der Wildbeuter ans Baylor College of Medicine, wo sich eines der landesweit besten Labore für die Analyse von doppelt markiertem Wasser befindet. Ich war schon sehr gespannt auf die riesige Kilojoule-Differenz, die bei den Untersuchungen zu Tage treten würde.

Doch als die Massenspektrometrischen Daten eintrafen, zeigten sie zu unserer Verblüffung, dass die Werte der Hazda nicht anders waren als bei uns westlichen Zivilisationsmenschen. Hazda-Männer verzehren und verbrennen demnach im Schnitt 11 000 Kilojoule (2600 Kilokalorien) täglich, Hazda-Frauen etwa 8000 Kilojoule (1900 Kilokalorien) – das ist kaum ein Unterschied zu Erwachsenen in den USA oder Europa. Wir betrachteten die Ergebnisse von allen Seiten, berücksichtigten die Körpergröße, den Körperfettanteil, das Alter sowie das Geschlecht. Aber wir fanden keine befriedigende Erklärung für unseren Befund. Was hatten wir übersehen? Wo war unser Denkfehler im Hinblick auf die menschliche Biologie und Evolution?

Es schien so offensichtlich zu sein, dass körperlich aktive Menschen mehr Kalorien verbrennen, dass wir dieses Paradigma ohne kritische Überprüfung und ohne Evidenz akzeptiert hatten. Dabei hätten wir gewarnt sein können. Bereits seit den 1980er Jahren, als Forscher erstmals mit doppelt markiertem Wasser arbeiten konnten, stellen empirische Daten den »gesunden Menschenverstand« der Gesundheits- und Ernährungsexperten in



Frage. Was unsere Studien an den Hazda ergeben hatten, war im Grunde genommen keine Überraschung.

Die ersten Untersuchungen mit doppelt markiertem Wasser erfolgten an traditionell lebenden Bauern in Guatemala, Gambia und Bolivien. Sie zeigten, dass deren täglicher Gesamtenergieaufwand mehr oder weniger dem von Stadtbewohnern ähnelt. In einer Studie von 2008 verglich Amy Luke, Ernährungsbiologin an der Loyola University in Chicago, nigerianische Frauen aus ländlichen Gegenden mit afroamerikanischen Frauen aus Chicago. Laut ihren Daten unterscheiden sich die beiden Gruppen im Energieumsatz nicht, obwohl ihre körperliche Aktivität stark differiert. Aufbauend auf diesen Arbeiten analysierte die Physiologin Lara Dugas, ebenfalls von der Loyola University, zusammen mit Luke und anderen Forschern die Daten von 98 einschlägigen Studien, in denen menschliche Populationen rund um den Globus untersucht worden waren. Ihr Fazit: Einwohner in modernen westlichen Staaten verbrennen ähnlich viele Kalorien wie solche in Schwellenländern, obwohl sie eine physisch deutlich weniger anstrengende Lebensweise pflegen.

Der Energieumsatz scheint beim Menschen demnach weitgehend fixiert zu sein. Das trifft übrigens auch auf andere Arten zu. Kurz nach unseren Untersuchungen an den Hazda arbeiteten diverse Wissenschaftler unter meiner Leitung zusammen, um den Energiestoffwechsel bei

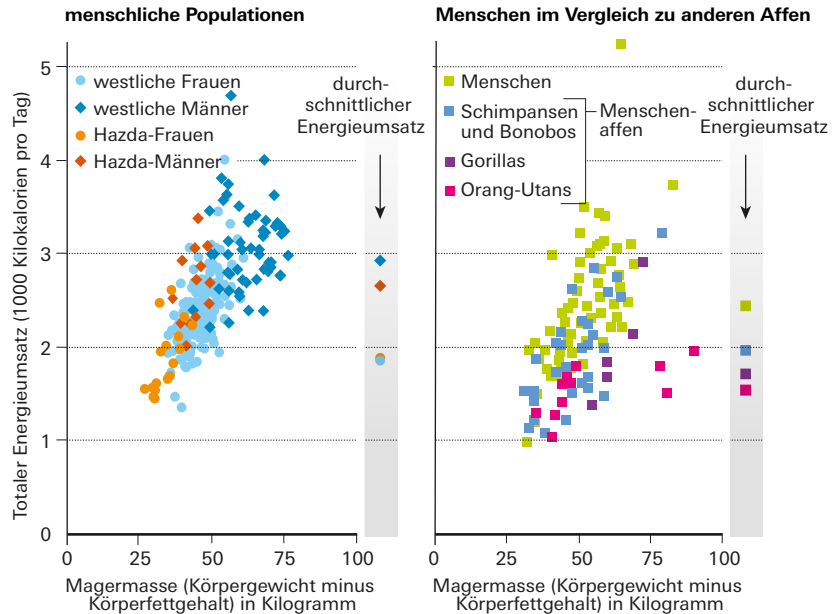
Primaten zu untersuchen – jener Ordnung der Säugetiere, zu denen Affen (einschließlich Menschenaffen und Menschen), Lemuren, Koboldmakis und Loriartige gehören. Wie wir feststellten, verbrennen Primaten in Versuchslabors und Zoos gleich viele Kalorien pro Tag wie ihre Artgenossen in der Wildnis, trotz offensichtlicher Unterschiede in der körperlichen Aktivität. 2013 ermittelten australische Wissenschaftler ganz Ähnliches im Hinblick auf eingepferchte beziehungsweise frei laufende Schafe und Kängurus. Und 2015 konnten chinesische Wissenschaftler diesbezüglich ebenfalls keinen Unterschied feststellen zwischen Großen Pandas in Zoos oder in natürlicher Umgebung.

### Unser Stoffwechsel läuft beständig, auch wenn wir uns nicht bewegen

Um das Ganze nicht nur auf der Ebene von Populationen, sondern auch von Individuen zu untersuchen, habe ich mich kürzlich mit Luke, Dugas und anderen zusammengeslossen und die große mehrjährige Studie »METS« aufgelegt (Modeling the Epidemiologic Transition Study). Bereits jetzt liegen Ergebnisse vor. Wir rüsteten mehr als 300 Teilnehmer mit Activity-Trackern aus – Geräten, die gesundheits- und fitnessbezogene Daten aufzeichnen. Die Probanden trugen diese eine Woche lang rund um die Uhr, während ihr täglicher Gesamtenergieaufwand mit doppelt markiertem Wasser erfasst wurde. Es zeigte sich, dass die

## Lebende Kraftwerke

Experten haben lange angenommen, dass körperlich aktive Menschen deutlich mehr Kalorien verbrennen als weniger aktive. Doch direkte Messungen an heutigen Jägern und Sammlern im Vergleich mit westlichen Bürgern widerlegen das (linke Grafik). Das wirft die Frage auf: Wenn sich der menschliche Energieumsatz in einem so engen Rahmen bewegt, wie konnten dann unser großes Gehirn, unsere lange Lebenszeit und weitere energieintensive Merkmale entstehen, die uns von anderen Menschenaffen unterscheiden? Die Tatsache, dass Menschen täglich hunderte Kilokalorien mehr umsetzen als Menschenaffen (rechte Grafik), belegt: Unser Stoffwechsel ist in Richtung schnellerer Verbrennung evolviert, und dies hat unsere energetisch kostspieligen Merkmale erst ermöglicht. Um die Unterschiede im Energieumsatz



zu berücksichtigen, die aus abweichender Körpergröße resultieren, haben der Autor und seine Kollegen die mittleren Körpermaße der

westlichen Teilnehmer auf die der Hazda normiert und jene der Menschenaffen auf die mittlere Körpergröße von Menschen.

JEN CHRISTIANSEN, UNKS NACH: POINTZER, H. ET AL.: HUNTER-GATHERER ENERGETICS AND HUMAN OBESITY. IN: PLOS ONE 7, FASSEL 2012. RECHTS NACH: POINTZER, H. ET AL.: METABOLIC ACCELERATION AND THE EVOLUTION OF HUMAN BRAIN SIZE AND LIFE HISTORY. IN: MAJURE 533, S. 390-392, 2016

sportliche Aktivität, gemessen mit den Activity-Trackern, nur schwach mit dem Energieumsatz korreliert. Stubenhocker verbrannten immerhin etwa 840 Kilojoule (200 Kilokalorien) weniger als Menschen, die sich moderat bewegen. Das wichtigere Ergebnis aber war, dass der Energieumsatz bei weiter zunehmender Aktivität nicht mehr steigt: Jene Teilnehmer, die körperlich am meisten leisteten, setzten täglich genauso viel Energie um wie die moderat Sport treibenden. Das stützt die These, wonach diese Größe weitgehend festgelegt ist.

Doch wie kann das sein? Wie können jagende Hazda täglich hunderte Kilojoule für ihre Streifzüge aufwenden und insgesamt dennoch nicht mehr umsetzen als körperlich vergleichsweise inaktive Menschen in den westlichen Staaten? Wir wissen es nicht genau, aber immerhin ist klar, dass der physiologische Preis für körperliche Bewegung nicht von kulturellen Unterschieden abhängt: Hazda benötigen gleich viel Kilojoule, um einen Kilometer zu laufen, wie Bürger aus westlichen Ländern. Anscheinend verändern sportlich sehr rege Menschen ihr Verhalten auf subtile Weise, um Energie zu sparen. Vielleicht entspannen sie in Ruhephasen besser oder schlafen fester. Allerdings dürften solche Anpassungen nicht ausreichen, um den täglichen Gesamtenergieaufwand auf dem gleichen Niveau zu halten.

Möglicherweise stellt der Organismus auch Ressourcen für zusätzliche körperliche Aktivität bereit, indem er sie von anderen Prozessen abzieht, die sonst einen Großteil unseres täglichen Energiebudgets verschlingen. Zum Beispiel klingen bei sportlicher Betätigung oft Entzündungen ab, die das Immunsystem sonst kostspielig aufrechterhalten würde, und der Organismus schützt weniger Geschlechts-hormone wie Östrogene aus. Bei Labortieren führt mehr Sport zwar nicht zu einem erhöhten täglichen Energieumsatz, aber zu weniger Eisprüngen und einer langsameren Wundheilung. Tiere haben im Zuge der Evolution anscheinend verschiedene Strategien entwickelt, um die Menge der täglich verbrannten Kalorien zu begrenzen.

Zusammengenommen weist dies darauf hin, dass Übergewicht eher aus Völlerei denn aus Faulheit resultiert. Das Gewicht steigt, wenn wir mehr Energie zu uns nehmen, als wir verbrennen. Wenn der tägliche Umsatz im Lauf der menschlichen Evolution im Wesentlichen gleich geblieben ist, worauf die empirischen Daten hindeuten, dann muss die heutige Fettleibigkeitspandemie hauptsächlich von der modernen, gehaltvollen Ernährung verursacht sein. Sehr überraschend ist das nicht. Die meisten Mediziner dürften das alte Diktum kennen, wonach man einer schlechten Ernährung nicht davonlaufen kann. Viele wissenschaftliche Studien (und zahllose persönliche Erfahrungen von Übergewichtigen) belegen, dass es frustrierend mühsam ist, überschüssige Kilos durch Sport loszuwerden. Unsere Daten helfen zu verstehen, warum das so ist: Es liegt häufig nicht an zu laschem Training, sondern unser Körper macht uns von Anfang an einen Strich durch die Rechnung.

Bitte missverstehen Sie mich nicht: Sport ist immens wichtig. Dieser Artikel soll Ihnen keine Ausrede dafür liefern, auf der faulen Haut zu liegen. Sport hat unglaub-

GETTY IMAGES / PHOTONICA / HARRY HOOK



**Die Hazda, eine Volksgruppe von Jägern und Sammlern in Tansania, verbrennen hunderte Kilojoule täglich auf Jagdzügen, doch insgesamt setzen sie etwa gleich viele Kalorien um wie Bürger westlicher Staaten.**

lich viele, nachweislich positive Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf- und Immunsystem sowie auf Hirnfunktionen, und er begünstigt ein gesünderes Altern. Ich vermute, die metabolischen Anpassungen an körperliche Aktivität sind ein Grund dafür, dass Sport uns gesund hält, indem sie Energie von potenziell schädlichen Prozessen wie Entzündungen abziehen. Chronische Entzündungen stehen unter anderem mit Herz-Kreislauf-Komplikationen, Autoimmunkrankheiten und Krebsleiden in Verbindung.

Ohne jeden Zweifel beeinflusst das Essen, das wir zu uns nehmen, unsere Gesundheit. Und Sport zusammen mit einer sinnvollen Diät kann helfen, Übergewicht zu vermeiden. Die wissenschaftliche Evidenz deutet aber darauf hin, dass Ernährung und Sport unterschiedlich wirken. Treiben Sie Sport, um gesund und vital zu bleiben – doch wenn es um Gewichtskontrolle geht, sollten Sie sich auf die Nahrungszufuhr konzentrieren.

### **Großes Gehirn, große Babys, langes und aktives Leben als Besonderheiten des *Homo sapiens***

Wir haben durch diese Studien viele Einblicke in den Zusammenhang zwischen Sport und Übergewicht bekommen, doch dies warf etliche neue Fragen auf. Wenn der tägliche Energieumsatz im Großen und Ganzen unabhängig vom Verhalten ist, wie haben wir Menschen uns dann so weit weg von unseren Affenvorfahren entwickeln können? Im Leben gibt es ja nichts umsonst. Ressourcen sind beschränkt, und je mehr ein Organismus in ein bestimmtes Merkmal investiert, desto weniger hat er für andere Merkmale zur Verfügung. Es ist kein Zufall, dass sich Kaninchen »wie die Karnickel« fortpflanzen und zugleich jung sterben. Die Energie, die sie in ihren Nachwuchs stecken, geht ihnen für die Aufrechterhaltung ihres eigenen Organismus verloren und verkürzt ihre Lebenszeit.



Auf den ersten Blick scheinen wir Menschen uns über dieses evolutionäre Grundprinzip hinwegzusetzen. Unser Gehirn ist so groß und stoffwechselintensiv, dass ein Viertel des gesamten Sauerstoffs, den Sie beim Lesen dieses Artikels atmen, nur der Versorgung Ihres Denkorgans dient. Außerdem haben wir größere Babys, können uns häufiger fortpflanzen, leben länger und sind körperlich aktiver als all unsere Affenverwandten. Auch in den Lagern der Hazda tummeln sich fröhliche Kinder neben gesunden Erwachsenen im sechsten und siebten Lebensjahrzehnt. Unser extravaganter Energiehaushalt ist ein Rätsel. Menschen ähneln ihren tierischen Verwandten genetisch und biologisch so sehr, dass Wissenschaftler lange angenommen haben, ihr Stoffwechsel müsse mit dem tierischen übereinstimmen. Aber wenn der Energieumsatz so limitiert ist, wie aus den Daten hervorgeht, woher kommen dann die Kalorien, mit denen wir unsere kostspieligen, besonderen Merkmale unterhalten?

Im Rahmen unserer Primatenstudie haben meine Kollegen und ich uns gefragt, ob die energieintensive Lebensweise des *Homo sapiens* von einer umfassenden Veränderung in der Stoffwechselphysiologie ermöglicht wurde. Wie die Studie belegt hat, verbrennen Primaten täglich deutlich weniger Kalorien als andere, ähnlich große Säugetiere. Diese reduzierte Stoffwechselrate geht einher mit einem langsameren Wachstum und einer verminderten Fortpflanzungsrate. Was die Vermutung nahelegt, dass der Mensch seine vergleichsweise rasche Reproduktion und die anderen kostspieligen Merkmale einer höheren Stoffwechselrate verdankt. Diese These prüften wir, indem wir Schimpansen, Bonobos, Orang-Utans und Gorillas doppelt markiertes Wasser verabreichten und Proben von ihrem Urin sammelten, um Rückschlüsse auf ihren Energiehaushalt zu ziehen. Es war ein wissenschaftlicher Kraftakt, den meine Kollegen Steve Ross und Mary Brown, beide am Lincoln Park Zoo in Chicago, zusammen mit Tierpflegern und -ärzten in mehr als einem Dutzend amerikanischer Zoos stemmten. Einige Jahre dauerte es, aber sie sammelten genügend Daten, um aussagekräftige Vergleiche zwischen uns und den Menschenaffen zu ziehen.

Demnach gibt es keinen Zweifel daran, dass der Grundumsatz des Menschen höher ist als bei allen anderen Menschenaffen. Selbst wenn wir Parameter wie Körpergröße, physische Aktivität und andere Faktoren berücksichtigen, verbrennt ein Mensch im Schnitt täglich etwa 1670 Kilojoule (400 Kilokalorien) mehr als ein Schimpanse oder Bonobo. Die Unterschiede zu Gorillas und Orang-Utans sind sogar noch größer. Mit dieser Extraenergie unterhalten wir unser größeres Gehirn, setzen mehr Nachkommen in die Welt und halten die Funktionen unseres Organismus länger aufrecht. Es liegt nicht einfach nur daran, dass wir mehr essen als andere Affen (obwohl wir das tun). Zusätzliche Kalorien in einen Körper zu stecken, der sie nicht nutzen kann, führt lediglich zu Fettpolstern, wie die meisten von uns wissen. Vielmehr scheint unser Organismus bis hinunter zur zellulären Ebene so evolviert zu sein, dass er Energie rascher umsetzt und somit mehr davon bereitstellt. Das hat allerdings einen Preis: Unser Verdauungstrakt, mit dem wir viel hochkalorische Nah-

rung verwerten, ist weniger leistungsfähig als bei anderen Affen, die faseriges Pflanzenmaterial aufschließen. Die entscheidenden Veränderungen, die uns zu Menschen gemacht haben, wurden anscheinend durch revolutionäre Umstellungen unseres Stoffwechsels ermöglicht.

### **Teilen, kochen und Körperreserven anzapfen: Die menschlichen Strategien gegen den Mangel**

Wie ging unser Tag mit Mwasad aus? Irgendwann am späten Nachmittag kehrten wir ins Lager zurück – ohne Giraffe. Hier zeigte sich die grundsätzliche Schwachstelle der menschlichen Hochdurchsatz-Strategie: Eine Heimkehr mit leeren Händen ist sowohl wahrscheinlicher als auch folgenreicher. Viele jener gehaltvollen Nahrungsmittel, die wir für unseren intensiveren Stoffwechsel benötigen, sind in der Wildnis schwer zu bekommen. Das erhöht den Aufwand, sie zu finden, sowie das Risiko, zu hungern.

Zum Glück hat unsere Spezies ein paar Tricks entwickelt, um unfreiwilliges Fasten erträglicher zu gestalten. Wir sind die einzige Art, die das Kochen beherrscht, was viele Nahrungsmittel leichter verdaulich macht und somit deren Kalorienenertrag erhöht. Indem wir kochen, verwandeln wir rohe Pflanzenteile in sättigende Stärke lieferanten, seien es Kartoffeln aus dem Supermarkt oder die Knollen der Hadza. Zudem haben wir die Fähigkeit erworben, Fett anzusetzen. Selbst bei den Hadza schleppen Erwachsene, die nach westlichen Maßstäben dünn sind, zweimal so viel Körperfett mit sich herum wie Schimpansen, die in einem Zoo faulenzten. Wahrscheinlich hat sich unser Fettspeichervermögen gemeinsam mit unserem schnelleren Stoffwechsel herausgebildet, weil der Organismus einen Energiepuffer benötigte, um karge Zeiten zu überstehen.

Obwohl wir die Giraffe nicht gefunden hatten, knurrte an diesem Abend niemandem der Magen. Ohne großes Tamtam setzten die Hazda die stärkste Waffe ein, die der Mensch gegen den Hunger hat: Sie teilten. Das Aufteilen von Nahrung mag uns selbstverständlich erscheinen; wir erleben es bei Grillabenden, Geburtstagen und ähnlichen Gelegenheiten. Doch es ist ein einzigartiger und wesentlicher Aspekt unseres evolutionären Erbes. Andere Affen praktizieren es nicht. Wahrscheinlich ist dies die bedeutsamste Folge unseres intensiven Energiestoffwechsels: Er zwingt uns dazu, zusammenzuarbeiten. Entweder wir kooperieren, oder wir gehen unter. ◀

### QUELLEN

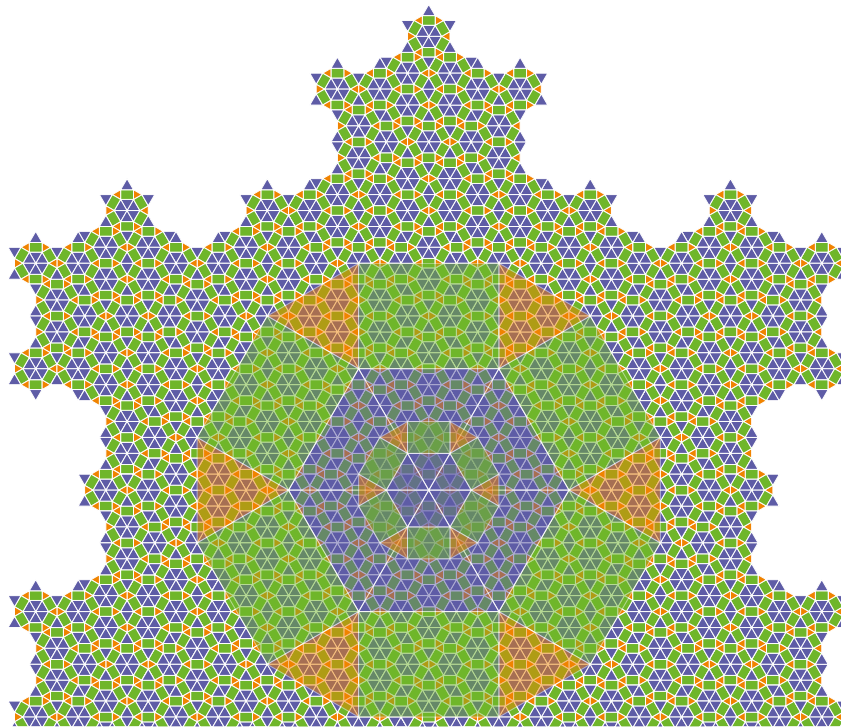
**Pontzer, H. et al.:** Hunter-Gatherer Energetics and Human Obesity. In: *PLoS One* 7, e40503, 2012

**Pontzer, H. et al.:** Constrained Total Energy Expenditure and Metabolic Adaptation to Physical Activity in Adult Humans. In: *Current Biology* 3, S. 410–417, 2016

**Pontzer, H. et al.:** Metabolic Acceleration and the Evolution of Human Brain Size and Life History. In: *Nature* 533, S. 390–392, 2016

### LITERATURTIPP

**Leonard, W. R.:** Menschwerdung durch Kraftnahrung. In: *Spektrum der Wissenschaft* 5/2003, S. 30–38



CHRISTOPH POPPE

Dieser selbständige sechszählige symmetrische Quasikristall ist im Prinzip unendlich ausgedehnt. Verschiedene Inflations-schritte sind durch Schattierung angedeutet.

## GEOMETRIE EINE NEUE ART VON QUASIKRISTALL

Eine jüngst gefundene nichtperiodische Pflasterung der Ebene ist sechszählig symmetrisch.

Als Dan Shechtman 1982 Festkörper entdeckte, die in der Röntgenstrukturanalyse eine fünfzählige Symmetrie aufwiesen, stieß das auf hartnäckigen Unglauben (und brachte Shechtman am Ende 2011 den Nobelpreis ein; siehe **Spektrum** Dezember 2011, S. 18). Denn wenn der Körper nach Drehung um Vielfache von 72 Grad genau so aussieht wie zuvor, kann er kein echter Kristall sein: Eine räumlich periodische (kristalline) Struktur, also eine, die sich in jeweils gleichen Abständen exakt wiederholt, ist mit fünfzähliger Symmetrie unvereinbar. Daher bekamen die neuen Festkörper den Namen »Quasikristalle«.

Es traf sich günstig, dass die Mathematiker zu diesem Zeitpunkt bereits ein Modell für eine fünfzählige-symmetrische, nichtperiodische Struktur vorrätig hatten – zwar nur in zwei statt drei Raumdimensionen, aber immerhin. Der britische Mathematiker Roger Penrose hatte zwei geometrische Formen namens »dart« und »kite« (»Pfeil« und »Drachen«) gefunden, mit denen man die Ebene lückenlos pflastern kann, und zwar nur nichtperiodisch – wenn gewisse Vorschriften (»matching rules«) für das Anlegen der Steine eingehalten werden (**Spektrum** November 1979, S. 22, und Juli 1999, S. 14). Physikalisch darf man sich

unter den Steinen Atomgruppen vorstellen, die aufeinander solche Kräfte ausüben, dass sie sich nur in der vorgeschriebenen Weise und nicht anders zusammenlagern können.

Nun haben Tomonari Dotera und Shinichi Bekku von der Kindai-Universität in Osaka (Japan) sowie Primož Zihel von der Universität Ljubljana (Slowenien) einen zweidimensionalen Quasikristall neuer Art gefunden. Seine Pflastersteine sind von denkbar einfacher Form: zwei gleichseitige Dreiecke mit den Seitenlängen  $k$  (klein) beziehungsweise  $g$  (groß) sowie ein Rechteck mit den Seitenlängen  $k$  und  $g$ . Sechs Stück von jeder Sorte fügen sich zu einem ungleichseitigen Zwölfeck, das ein bisschen an eine Badezimmerkachel erinnert:



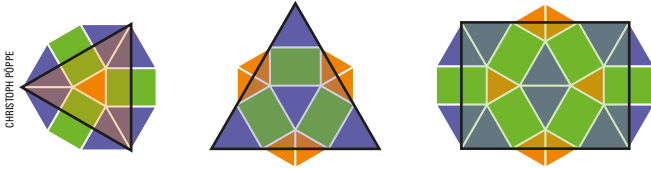
CHRISTOPH POPPE

Dazu wären jetzt Anlegeregeln aufzustellen; denn ohne sie könnte man beliebig viele Exemplare eines jeden Steins – oder auch gewisser Kombinationen verschiedener Steine – so aneinanderlegen, dass sich ein periodisches Muster ergibt. Bemerkenswerterweise nutzen Dotera, Bekku und Zihel stattdessen ein Konzept, das sich für die Analyse nichtperiodischer Strukturen als sehr fruchtbar erwiesen hat: das so genannte Inflationsprinzip. Man findet für jede Kachel eine Zerlegung in verkleinerte Exemplare aus dem ganzen Sortiment, mit einheitlichem Verkleinerungs-



faktor. Diese Zerlegung wendet man auf ein Muster begrenzter Größe an – im Extremfall nur einen einzigen Pflasterstein –, vergrößert die kleinen Teile in die Originalmaße zurück und hat damit ein ausgedehnteres Muster erzeugt. Dieses Aufblasen (»Inflation«) lässt sich wiederholen und erzeugt so beliebig große Muster – unter günstigen Bedingungen eine Überdeckung der ganzen unendlichen Ebene.

In diesem Fall sind die beiden Dreiecke und das Rechteck wie folgt zu zerlegen:



Dass die neuen kleinen Steine zum Teil über die Grenzen der großen hinausragen, schadet nicht; denn in jedem Fall kommt ein überstehender Stein genau mit einem gleichartigen und gleich gelagerten Stein vom Nachbarn zur Deckung. Eine Vergrößerung um den Faktor  $\beta = (3 + \sqrt{13})/2 \approx 3,303$  vollendet den Inflationsschritt.

Alternativ kann man das ganze Zwölfeck mit dem Faktor  $\beta$  vergrößern und in jede Ecke dieses Musters ein originales Zwölfeck setzen (Mittelpunkt auf Ecke). Wieder überlappen sich die Zwölfecke, und zwar abermals in verträglicher Weise. Ein paar Löcher stopft man problemlos mit großen Dreiecken.

Im Prinzip hat man die Freiheit, das Verhältnis  $g/k$  der Seitenlängen nach Belieben zu wählen. Allerdings ändert sich dieser Wert mit jedem Inflationsschritt; und zwar nähert er sich rasch dem Wert  $(\sqrt{3} + \sqrt{39})/6 \approx 1,32951$  an – es sei denn, man beginnt von vornherein mit diesem »idealen« Seitenverhältnis. Dann erzeugt der Inflationprozess eine selbstähnliche Pflasterung. Insbesondere enthält jedes Muster in der Mitte eine Kopie des Musters, aus dem es durch Inflation entstanden ist (Bild links oben).

Woher weiß man aber, dass die so erzeugte Pflasterung tatsächlich nichtperiodisch ist, dass es also keine Verschiebung um einen noch so großen Vektor gibt, die das ganze unendliche Gebilde in sich selbst überführen würde? Dotera und Kollegen zeigen das auf indirektem Weg. Aus der Tatsache, dass ein Inflationsschritt ein unendlich großes, selbstähnliches Muster auf sich selbst abbilden muss, kann man errechnen, in welchen Anteilen die drei verschiedenen Pflastersteine in einem beliebigen Bereich der Ebene vertreten sind, wenn man diesen Bereich bis ins Unendliche vergrößert. Es ergeben sich die Anteile  $(29 - 5\sqrt{13})/43 \approx 0,255$  für die kleinen Dreiecke sowie  $(23 - \sqrt{13})/43 \approx 0,451$  für die großen und  $(-9 + 6\sqrt{13})/43 \approx 0,294$  für die Rechtecke.

Wichtiger als die genauen Zahlenwerte ist die Tatsache, dass es sich um irrationale Zahlen handelt. Bei einem periodischen Muster wären jedoch die Anteile im Grenzwert gleich den Anteilen in einem Fundamentalebene, jener – meistens parallelogrammförmigen – Region, durch

deren periodische Wiederholung das Gesamtmuster entsteht. Das aber wären rationale Zahlen. Also kann das durch Inflation erzeugte Muster nicht periodisch sein, was zu beweisen war.

### Gedachte Atome zurechtrückeln

Kann ein derartiger Quasikristall in der Natur vorkommen? Kann man also die drei Pflastersteine so mit Atomen besetzen, dass deren Anziehungs- und Abstoßungskräfte eine nichtperiodische Anordnung erzwingen – und quasi nebenbei die bisher fehlenden Anlegeregeln aufstellen würden? Da auch dieser Quasikristall nur zwei Raumdimensionen hat, ist die Frage sehr theoretisch; gleichwohl haben sich Dotera, Bekku und Zihlerl an einer Antwort versucht. In Computersimulationen platzierten sie zweidimensionale »Atome« auf engem Raum – korrekter gesagt: enger Fläche –, gaben ihnen etwas zufällige Bewegung mit und verabreichten ihnen dann ein Wechselbad aus Abkühlen (Energieentzug) und Erhitzen (Energiezufuhr), so wie man einen Behälter mit Kaffeepulver abwechselnd aufstößt und in Ruhe lässt mit dem Ziel einer möglichst dichten Körnerpackung.

Die simulierten Atome kann man sich ungefähr so vorstellen wie harte Kugeln mit Schaumstoffmantel – nicht aus echtem Schaumstoff, sondern aus einem Material, das dem Zusammendrücken einen konstanten Widerstand entgegensetzt. Wenn zwei Atome sich nahekomen, hält der Schaumstoffmantel sie zwar auf, lässt sich aber auf Dicke null zusammenpressen. Erst dann setzen die harten inneren Kugeln einer weiteren Annäherung eine unendlich starke Abstoßung entgegen. Als die Forscher den Parametern des Modells – Verhältnis von Kugel- zu Schaumstoffmantelradius sowie Stärke der Abstoßungskraft – Werte gaben, die von den Eigenschaften des theoretischen Quasikristalls nahegelegt wurden, fanden sich ihre Atome zu einer quasikristallähnlichen Anordnung zusammen: zahlreiche charakteristische Zwölfecke in der richtigen Kombination, durchsetzt von allerlei ungeordneten Bereichen – wenig verwunderlich bei dem großen Einfluss des Zufalls im Modell. Immerhin ist denkbar, dass die Atome, noch etwas besser modelliert und geschickter gekühlt und erhitzt, sich auf die Dauer zu einem sauberen Quasikristall zurechtrückeln.

Interessant ist an dem neuen Typ von Quasikristall vor allem die sechszählige Symmetrie. Die hat er nicht nur mit dem Quasikristall aus »sechseckigen Einsteinen« gemeinsam, den Joshua Socolar und Joan Taylor auf gänzlich andere Weise gefunden haben (**Spektrum** Mai 2011, S. 73). Sechszählige Symmetrie kommt auch bei gewöhnlichen Kristallen vor. Es ist also denkbar, dass dieser oder jener Quasikristall bislang unerkannt geblieben ist, weil er bei der Röntgenstrukturanalyse nicht auffällt. ◀

**Christoph Pöppe** ist Redakteur bei **Spektrum** der Wissenschaft.

QUELLE

**Dotera, T. et al.:** Bronze-mean Hexagonal Quasicrystal.

In: *Nature Materials*, vorab online publiziert 14. August 2017, doi: 10.1038/NMAT4963

## ELEKTROCHEMIE PLATIN BEKOMMT KONKURRENZ

**Elektrolytisch erzeugter Wasserstoff ist ein vielseitig nutzbarer Energieträger. Der für den Prozess meist verwendete Platinkatalysator macht das Verfahren allerdings teuer. Neue Reaktionsbeschleuniger sollen weniger kosten und auch im industriellen Maßstab funktionieren.**

Am 8. Mai 2016 haben Solarzellen und Windkraftwerke so viel Strom produziert, dass die Preise an der Leipziger Strombörse ins Negative fielen – die Erzeuger mussten den Abnehmern also Geld zahlen. Um solche mit der Energiewende zunehmenden Leistungsspitzen abzupuffern, braucht es effektive Energiespeicher.

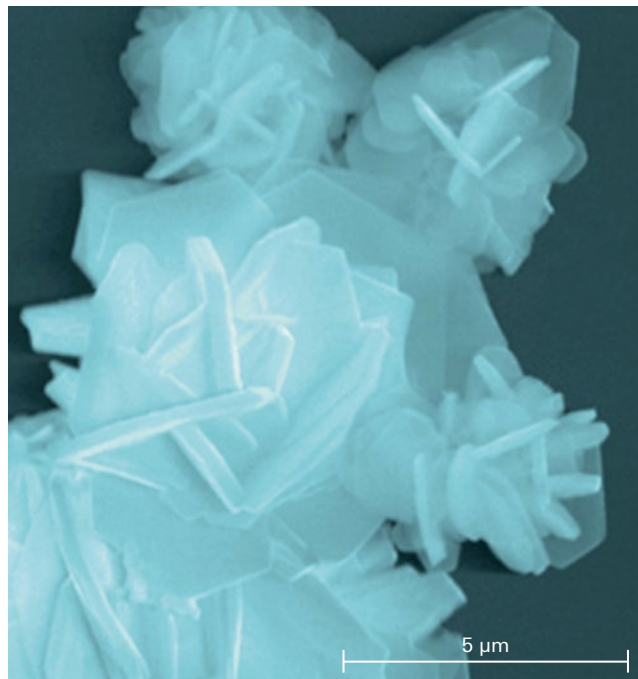
Viele Wissenschaftler setzen dabei auf die Elektrolyse: Strom spaltet flüssiges Wasser an zwei Elektroden in gasförmigen Wasserstoff und Sauerstoff. Ersteren kann man als Energieträger für unterschiedliche Zwecke verwenden. Das Gas lässt sich etwa in das vorhandene Erdgasnetz einspeisen – entweder direkt oder nachdem es in Methan umgewandelt wurde – und als Rohstoff für die chemische Industrie nutzen. Außerdem gibt es bereits Testanlagen für die so genannte reversible Elektrolyse. Dort gewinnen die Betreiber Wasserstoff mittels regenerativer Energie, komprimieren diesen und lagern ihn in Tanks. Später versetzen sie den Wasserstoff in einer Brennstoffzelle wieder mit Sauerstoff, um Strom zu produzieren.

So attraktiv Wasserstoff für solche Prozesse sein mag, billig ist die Elektrolyse nicht. Denn damit die Wasserspaltung schnell und effizient abläuft, bringen die Forscher Reaktionsbeschleuniger an den Elektroden an, so genannte Katalysatoren. Der für die Wasserstoffherzeugung bisher beste Katalysator besteht aus teurem Platin.

Forscher um Boris Yakobson von der Rice University in Texas haben nun erschwinglichere Katalysatormaterialien entdeckt, die sich zudem während der Reaktion automatisch selbst verbessern. Elektroden mit einer Deckschicht aus Niob- und Tantal-sulfid ( $\text{NbS}_2$  und  $\text{TaS}_2$ ) stellen nach einer Anlaufzeit Wasserstoff ähnlich effektiv her wie mit Platin, kosten aber nur einen Bruchteil.

Während der Elektrolyse entstehen die Wasserstoffmoleküle ( $\text{H}_2$ ) an der Kathode aus je zwei positiv geladenen Protonen ( $\text{H}^+$ ), die – in Form von Oxonium-Ionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) – im Wasser vorliegen. Zunächst dockt ein Proton an den Katalysator auf der Kathode an. Sobald ein weiteres Proton dort auftrifft, schließen sich die beiden mit Elektronen von der Kathode zu Wasserstoffgas zusammen.

Als Beschleuniger dieser Reaktion haben Chemiker schon seit einigen Jahren Molybdänsulfid ( $\text{MoS}_2$ ) im Blick. Das Material ist aus übereinanderliegenden Schichten aufgebaut, ähnlich den Graphenlagen in Graphit. Energetisch ist  $\text{MoS}_2$  gut für die Katalyse der Wasserstoffproduk-



YAKOBSON RESEARCH GROUP, MIT FRIEL GEN, VON MIKE WILLIAMS, RICE UNIVERSITY

**Detailaufnahme von Niobsulfid im Rasterelektronenmikroskop. Das geschichtete Material katalysiert die elektrolytische Wasserstoffherstellung genauso effizient wie Platin.**

tion geeignet: Auf der Oberfläche des Materials gibt es Stellen, an denen nicht nur Protonen effektiv andocken, sondern sich das Reaktionsprodukt Wasserstoff auch einfach wieder lösen kann. Doch es stellte sich heraus, dass diese so genannten aktiven Zentren bei Molybdänsulfid nur an den Ecken und Kanten der  $\text{MoS}_2$ -Lagen sitzen, nicht aber inmitten der leicht zugänglichen Flächen.

Um möglichst viele aktive Zentren zu schaffen, haben Wissenschaftler in den zurückliegenden rund zehn Jahren auf eine ultrafeine Strukturierung des Sulfids gesetzt, unter anderem in Form von Nanopartikeln und -drähten oder porösen Gerüsten. Allerdings erfordert das zusätzliche, kostspielige Prozessschritte, die eine Wasserspaltung im Industriemaßstab erschweren.

Für die Aufgabe, einen besseren Katalysator zu finden, verwendete das Team um Yakobson eine Computersimulation. Sie half zu berechnen, welche mit Übergangsmetallen gepaarten Sulfide, Selenide und Telluride sich sowohl energetisch als Katalysator eignen als auch mit vielen aktiven Zentren besetzt sein würden. Die Forscher stießen auf die Verbindungen  $\text{TaS}_2$  und  $\text{NbS}_2$ , die sie anschließend erfolgreich im Labor herstellten. Wie das verwandte  $\text{MoS}_2$  sind sie in ausgedehnten und übereinander angeordneten Lagen geschichtet.

Um das Ergebnis experimentell zu überprüfen, fixierten die Forscher die Schwefelverbindungen auf Elektroden in Elektrolysezellen. Anschließend erhöhten und erniedrigten sie abwechselnd die an die Zellen angelegte Spannung, während sie aufzeichneten, wie viel Strom jeweils floss



und wie viel Wasserstoff entstand. Die Ergebnisse enttäuschten zunächst: Die neuen Katalysatoren erwiesen sich als kaum aktiv für die Wasserstoffherstellung. Dennoch ließen die Forscher die Reaktion weiterlaufen, und die Tantal- und Niobverbindungen begannen allmählich mehr und mehr Wasserstoff zu produzieren. Nach einigen tausend Zyklen bestätigten sich die Vorhersagen der Computersimulation doch – TaS<sub>2</sub> und NbS<sub>2</sub> katalysieren die Wasserstoffherstellung viel stärker als alle bisher getesteten MoS<sub>2</sub>-Strukturen.

Quantitativ lässt sich das über eine in der Elektrochemie gängige Vergleichsgröße ausdrücken: das für die Katalyse nötige Überpotenzial, das angelegt werden muss, um eine Stromdichte von zehn Milliampere pro Quadratcentimeter in der Zelle zu erreichen. TaS<sub>2</sub> und NbS<sub>2</sub> punkten mit Werten um die 0,05 Volt – nur rund ein Fünftel der Spannung, die MoS<sub>2</sub> als Katalysator erfordert. Damit schneiden Tantal- und Niobsulfid ähnlich gut ab wie Platin.

Doch was macht sie während der Reaktion zunehmend aktiver? Mit Hilfe von Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop entdeckten die Forscher, dass die Katalysatorbröckchen auf der Elektrode mit fortschreitender Anzahl der Zyklen dünner werden und sich feiner verteilen. Weiteren Analysen zufolge verändern sich die Kristallstruktur und die chemische Zusammensetzung dabei nicht. Die an der Elektrode entstandenen Wasserstoffbläschen scheinen die Sulfide in kleine Plättchen mit jeweils nur wenigen Lagen aufzubrechen. Das hat zwei Vorteile: Zum einen wird die Oberfläche größer, und zum anderen können die Elektronen ungehinderter durch das Material fließen. Dadurch werden die Protonen schneller umgesetzt – mehr Wasserstoffgas entsteht.

Somit brauchen die neuen Katalysatoren eine Vorbehandlung, bis sie einsatzfähig sind. Doch diese ist viel weniger aufwändig als beispielsweise eine Nanostrukturierung. Ob Tantal- und Niobsulfid die Wasserspaltung zu einem profitablen Verfahren machen können, ist trotzdem offen. Danielle N. Chirdon und Yiyang Wu von der Ohio State University kommentieren in »Nature Energy«, noch müssten einige Fragen geklärt werden. Zum Beispiel, auf welche Weise die Wasserstoffbläschen die Sulfidlagen aufbrechen, oder, wie gut das zerstückelte Material langfristig an der Elektrode haftet.

Nicht nur für die Wasserstoffherstellung, auch für andere katalysierte Umsetzungen wie die Umwandlung von Methan in synthetische Flüssigkraftstoffe könnten die Arbeiten von Jakobson und seinem Team bedeutsam sein. Der Physiker hat gemeinsam mit seinen Mitautoren jedenfalls schon einmal ein Patent auf das sich selbst verbessernde Katalysatormaterial angemeldet. ◀

**Anna Clemens** ist promovierte Chemikerin und Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

QUELLE

**Liu, Y. et al.:** Self-Optimizing, Highly Surface-Active Layered Metal Dichalcogenide Catalysts for Hydrogen Evolution, In: Nature Energy 2, 17127, 2017.

## PALÄOARCHÄOLOGIE FRÜHE SPUREN VOM *HOMO SAPIENS* IN AUSTRALIEN

**Der moderne Mensch erschien auf dem Südkontinent eher als gedacht. Hatte er dort am Aussterben großer Tiere Schuld?**

Die Verbreitungsgeschichte des *Homo sapiens* von Afrika her über die Welt birgt noch viele Fragen. Wann erreichte er zum Beispiel die fernen Kontinente? Und mit welchen Hilfsmitteln konnte er nach Australien übersetzen, das stets eine hunderte Kilometer breite Meeresstraße von Indonesien trennte? Australische Forscher präsentierten nun neue Daten zur frühen Besiedlung des abgelegenen Erdteils. Diesen Messungen zufolge lebte der moderne Mensch in Nordaustralien schon vor 65 000 Jahren.

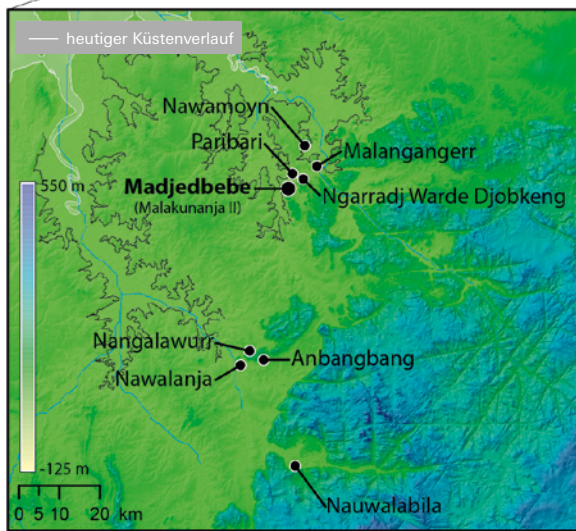
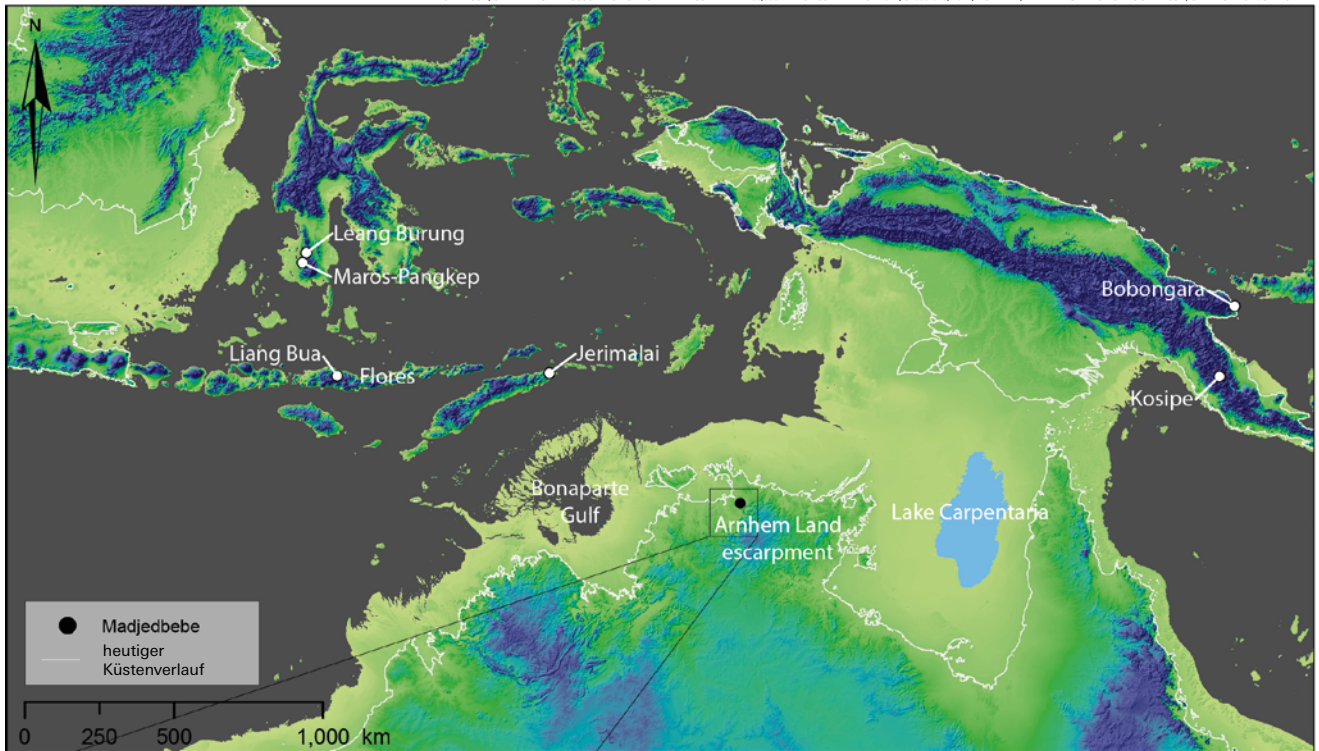
Nach der vorherrschenden Ansicht drang vor zirka 70 000 Jahren eine Gruppe anatomisch moderner Menschen nach Asien vor, die vermutlich den Weg über den Sinai genommen hatte und in die Wüste Negev gelangt war. Diese Migration weit nach Osten gilt als Teil der folgenreichsten Ausbreitung unserer Spezies. Denn Nachfolger der frühen afrikanischen Auswanderer kamen bis nach Europa, Ostasien, Australien und Amerika und besiedelten schließlich sogar zuvor menschenleere Inseln wie Madagaskar und Neuseeland.

Die von den Neuankömmlingen erschlossenen Regionen erfuhren damals immense Umweltveränderungen. Insbesondere starben dort bald viele große Tiere der so genannten Megafauna aus. Und ebenfalls ungefähr zur selben Zeit verschwanden die anderen Menschenformen, die bisher in den Regionen gelebt hatten, so der Neandertaler. Inwieweit der moderne Mensch zu diesen Prozessen beitrug, ist teils noch umstritten. Zumindest aber stellten sich schon in jener Zeit die Weichen für die Herausbildung der genetischen Hauptlinien der heutigen Menschheit mit ihrer Differenzierung in verschiedene Ethnien und Sprachgruppen.

Wie jene Jäger und Sammler mit ihrem steinzeitlichen Knowhow hochseetaugliche Boote zu konstruieren vermochten, die sie hinüber nach Australien trugen, blieb bislang ihr Geheimnis. Strittig ist zudem der Zeitpunkt dieser ersten Fahrten. Einige Wissenschaftler vermuteten bisher, dass dies nicht länger als 45 000 Jahre her sein kann. Wenn das zuträfe, hätte die Besiedlung Europas und Australiens durch den *Homo sapiens* etwa gleichzeitig eingesetzt.

Archäologische Datierungen können allerdings ihre Tücken haben. Die Radiokarbonmethode, die auch für Australien gern eingesetzt wurde und bei der das radioaktive Isotop <sup>14</sup>C gemessen wird, liefert nur zurück bis vor etwa 40 000 oder 45 000 Jahren einigermaßen sichere Ergebnisse. Denn das <sup>14</sup>C, das Organismen einbauen,

CLARKSON, C. ET AL.: HUMAN OCCUPATION OF NORTHERN AUSTRALIA BY 65,000 YEARS AGO. IN: NATURE 547, S. 306-310, 2017, FIG. 1 A+B, MIT FRDL. GEN. VON CHRIS CLARKSON, UNIVERSITY OF QUEENSLAND



Der archäologische Fundort Madjedbebe liegt im Kakadu-Nationalpark im australischen Bundesstaat Northern Territory etwa 170 Kilometer östlich der Stadt Darwin. Der Park ist sowohl Weltnatur- als auch Weltkulturerbe der UNESCO – Letzteres wegen der hier vorhandenen herausragenden, umfangreichen Felsmalereien der australischen Urbevölkerung sowie zahlreicher archäologischer Stätten (Karte links), die von der frühen Besiedlung des Landes zeugen. Madjedbebe heißt eine Halbhöhle, deren Ablagerungen nun nochmals bis hinab zu den frühesten Besiedlungsspuren untersucht und mit modernsten Methoden datiert wurden. Die Ergebnisse erhärten einen früheren Verdacht: An diesem Ort lebten anatomisch moderne Menschen schon vor schätzungsweise 65 000 Jahren. (Die Karten stammen aus der Originalarbeit. Die Linien zeigen den heutigen Küstenverlauf.)

zerfällt nach ihrem Tod allmählich – bis die Menge zu gering für eine Altersbestimmung wird. Wenn also ein Alter von 45 000 Jahren herauskommt, könnte der Wert unter Umständen zu niedrig sein.

Mittlerweile haben Geochronologen andere Datierungsmethoden entwickelt, die es möglich machen, noch weiter in die Vergangenheit zurückzugehen. Zu den leistungsfähigsten dieser Verfahren zählt die optisch stimulierte Lumineszenz oder OSL-Datierung. Damit lässt sich das Alter von Sedimenten bestimmen. Mineralien, etwa Quarzpartikel, reichern Energie aus natürlicher radioaktiver Strahlung an und geben sie im Licht wieder ab. Wie stark sie leuchten, hängt daher davon ab, wie lange sie begraben

waren. Sofern die Abfolge der Sedimentschichten nicht gestört wurde, liefert die OSL-Methode genauere Altersdaten zu früheren Zeiträumen als die Radiokarbondatierung. Die australischen Forscher haben das Verfahren nun bei der bekannten Fundstätte Madjedbebe in Nordaustralien angewandt.

Die Halbhöhle, die schon länger für besonders frühe menschliche Spuren bekannt ist, hieß früher Malakunanja II. Nach Ausgrabungen in den Jahren 1973 und 1989 ermittelten Wissenschaftler für die ältesten dort geborgenen Artefakte mit Thermolumineszenzmessungen (einem anderen Verfahren als OSL) ein Alter von ungefähr 50 000 bis 60 000 Jahren, worüber die Experten seither



wegen verschiedener methodischer Unsicherheiten heftig streiten. Die Autoren der aktuellen Studie haben an diesem Fundort 2012 und 2015 nochmals an etwas anderen Stellen mehrere Meter tief gegraben und dabei die Sedimentschichten und die Position der unzähligen entdeckten Artefakte genauestens dreidimensional vermessen.

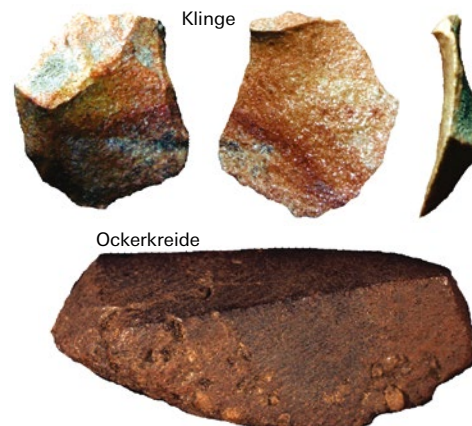
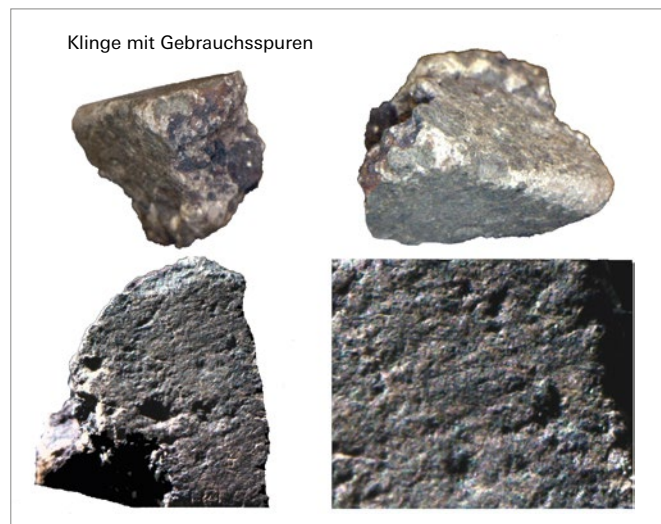
**Schicht für Schicht in die Tiefe: Vergleich von Altersbestimmungen mit zwei Methoden**

Um sicherzugehen, dass die OSL-Datierungen der tiefsten Schichten korrekt sind, ermittelten die Forscher von der Oberfläche an für alle darüberliegenden Schichten sowohl das Alter von organischen Ablagerungen als auch parallel dazu das von Sedimentkörnern, ersteres mit der <sup>14</sup>C-Methode, letzteres mit der OSL-Technik. Die Alterswerte der höheren Schichten stimmten gut überein. Vor allem zeigte sich dabei, dass die Artefakte in diesen Lagen wirklich so alt sind wie die Schichten, in denen man sie fand – also nicht etwa nachträglich tiefer eingegraben worden waren, wie manche Kritiker vermutet hatten.

Die hier interessierenden tiefen Ablagerungen untersuchten die Wissenschaftler dann allein mit OSL, auch über die letzten Schichten mit menschlichen Spuren hinaus. Gewieft statistische Berechnungen halfen, mögliche Ungenauigkeiten einzelner gewonnener Alterswerte abzugleichen, Datierungslücken zu schließen und für die Fundstelle ein Altersmodell zu entwickeln. Nach diesen Ergebnissen müssten sich in der Halbhöhle Madjedbebe schon vor weit mehr als 50000 Jahren Menschen aufgehalten haben. Höchstwahrscheinlich lebten sie dort sogar schon vor über 65000 Jahren. Und sie verfügten über ein Arsenal fortschrittlicher Steinwerkzeuge auf der Höhe der Zeit, darunter auch Mahlsteine und Beile.

Wie gesagt, gehen die Meinungen der Forscher auseinander, was die Beteiligung des *Homo sapiens* am Verschwinden großer Tierarten auf den neu besiedelten Erdteilen betrifft. Besonders seine Rolle dabei in Australien beurteilen sie verschieden. Vor einigen Jahren erlebte ich hierzu auf einer Konferenz eine hitzige Debatte. Viele Kollegen beharren noch immer auf der längst widerlegten

**In den tiefsten Kulturschichten von Madjedbebe hinterließen Vertreter von *Homo sapiens* unzählige für die damalige Zeit hochmoderne Steingeräte. Sie benutzten zum Beispiel Mahlsteine und fertigten Beile und verschiedenste Klingen, verwendeten aber auch Ockerkreiden.**



CLARKSON, C. ET AL.: HUMAN OCCUPATION OF NORTHERN AUSTRALIA BY 65,000 YEARS AGO. IN: NATURE 547, S. 306-310, 2017, FIG. 2 A+B+E-D-G, MIT FRÜH. GEN. VON CHRIS CLARKSON, UNIVERSITY OF QUEENSLAND

Mär, wonach die Jäger und Sammler in Harmonie mit der Natur lebten. Und manche Leute meinen, es sei Aufgabe der Anthropologen und Archäologen, dieses Bild zu bewahren. Eines der Argumente für diese Ansicht ist gewöhnlich, dass die Fundstätten einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten des modernen Menschen und dem Aussterben der Megafauna nicht erkennen lassen. Ein weiterer Einwand lautet, auf einigen Erdteilen seien Großtiere schon selten geworden, als der Mensch dort noch gar nicht existierte.

Es ist höchst unwahrscheinlich, dass Archäologen oder Anthropologen jemals auf irgendwelche Hinterlassenschaften der allerersten Einwanderer in ein neues Gebiet stoßen werden. Noch weniger ist zu erwarten, dass wir direkte Zeugnisse ihrer Jagdgewohnheiten bezüglich der Megafauna finden. Forschungsergebnisse zur »frühesten« Besiedlung dürften daher in der Regel bereits etwas jüngere Phasen betreffen. Nach einer Studie von 2016 hatte der Mensch schon vor etwa 49 000 Jahren die Wüsten Inneraustraliens durchquert und auch bereits die südlichen Küsten erreicht. Die Forscher fanden in dem Zusammenhang Werkzeuge und dabei Fossilien von Großtieren. Nimmt man die neuen Datierungen hinzu, dürfte der *Homo sapiens* früh genug in Australien aufgetaucht sein, um die Auslöschung verschiedener Großtiere verschuldet haben zu können.

Die neue Untersuchung macht einmal mehr deutlich, dass man in der Paläoarchäologie und Anthropologie nicht nur neue Fundorte suchen sollte, sondern dass es lohnen kann, auch ältere Grabungsstätten nochmals mit aktuellen Methoden zu ergründen. Auch Australien hält da sicherlich noch manche Überraschung parat.

Wir wissen heute, dass moderne Menschen Küsten gegenüber diesem Kontinent schon kurze Zeit nach ihrem Aufbruch aus Afrika erreichten. Was mag sie veranlasst haben, Boote zu bauen und mit ihren Familien übers Meer zu einem Land zu fahren, das von dort gar nicht zu sehen war? Ihr Entdeckerdrang erinnert an den Unternehmungsgeist der heutigen Menschheit, die nach den Sternen greift. ◀

**Curtis W. Marean** erforscht als Anthropologe und Archäologe die Vorgeschichte des Menschen insbesondere im Süden Afrikas. Er hat eine Professur an der Arizona State University in Tempe und ist Honorarprofessor an der Nelson Mandela Metropolitan University in Port Elizabeth.

## QUELLEN

**Clarkson, C. et al.:** Human Occupation of Northern Australia by 65 000 Years Ago. In: *Nature* 547, S. 306–310, 2017

**Hamm, G. et al.:** Cultural Innovation and Megafauna Interaction in the Early Settlement of Arid Australia. In: *Nature* 539, 280–283, 2016

**Malaspinas, A.-S. et al.:** A Genomic History of Aboriginal Australia. In: *Nature* 538, 207–214, 2016

© Nature Publishing Group

[www.nature.com](http://www.nature.com)

*Nature* 547, S. 285–287, 20. Juli 2017

## KOSMOLOGIE INVENTUR DES DUNKLEN ALLS

**Astronomen haben erste Daten aus dem »Dark Energy Survey« ausgewertet. Mit dieser Himmelsdurchmusterung untersuchen sie, wie sich unsichtbare Materie- und Energieformen auf die Strukturen im Universum auswirken. Die vorläufigen Ergebnisse passen zum Standardmodell – mit spannenden Abweichungen im Detail.**

▶ Mit dem Teleskopexperiment Dark Energy Survey (DES) vermessen Astronomen systematisch die Verteilung von Galaxien und bestimmen so indirekt die Menge an Dunkler Energie und Dunkler Materie im Universum. Nun liegt die von vielen Kosmologen lange ersehnte Datenanalyse des ersten Betriebsjahres vor. Sie wurde im August 2017 auf der DES-Website veröffentlicht und beruht auf der Beobachtung von 26 Millionen Galaxien in einem großen Bereich des südlichen Sternenhimmels. Das Resultat weicht ein wenig von früheren Schätzungen ab, bestätigt aber im Grundsatz eine zentrale Erkenntnis der modernen Physik: Das Universum besteht zu 74 Prozent aus Dunkler Energie und zu 21 Prozent aus Dunkler Materie, während die normale, sichtbare Materie lediglich die verbliebenen fünf Prozent ausmacht.

Diese Ergebnisse beruhen auf den Daten der ersten Beobachtungsphase des Teleskops, die im August 2013 begann und sechs Monate andauerte. Seitdem gab es drei weitere Messdurchläufe. Im August 2017 startete das Experiment in seine fünfte und zunächst letzte regulär geplante Saison. Ein 400 Kopf starkes Team analysiert die Daten abschnittsweise und testet dabei die Theorien über die Natur der beiden unsichtbaren Substanzen, die den Kosmos beherrschen, vor allem die Dunkle Energie.

Beide Begriffe – Dunkle Energie und Dunkle Materie – sind letzten Endes nur Platzhalter für unbekanntes Physik. Dunkle Energie bezieht sich auf etwas, was die Expansion des Universums beschleunigt. Diesen Effekt haben Astronomen zum ersten Mal im Jahr 1998 entdeckt. Auf Dunkle Materie schließen Astronomen schon seit einigen Jahrzehnten anhand von Beobachtungen ihrer anziehenden Wirkung auf normale, sichtbare Materie.

Beide wirken sich auf die Verteilung von Galaxien aus. »Während sich das Universum entwickelt, lässt die Dunkle Materie einige Bereiche regelrecht verklumpen. Die Dunkle Energie hebt diese Einflüsse teilweise wieder auf, indem sie die Galaxien voneinander wegschiebt«, erläutert Joshua Frieman, Direktor des DES und Astrophysiker am Fermi National Accelerator Laboratory und an der University of Chicago (für einen detaillierten Artikel von Frieman siehe **Spektrum** September 2016, S. 18). »Die gegenwärtige Materieverteilung erzählt uns also etwas vom kosmischen Tauziehen zwischen Dunkler Materie und Dunkler Energie.«



Bislang stammen die genauesten Messwerte vom »kosmischen Mikrowellenhintergrund« – Strahlung aus der Frühzeit des Universums. Das Planck-Weltraumteleskop hat sie und die winzigen Schwankungen darin 2013 in extrem hoher Auflösung vermessen. Galaxien, die eine Jahrtausende dauernde Entwicklung durchgemacht haben, weisen zwar eine komplexere und darum schwieriger zu interpretierende Geschichte auf als der Mikrowellenhintergrund. Aber Experten zufolge sollten Galaxien letztlich ein reicheres Bild liefern; schließlich decken sie das gesamte dreidimensionale Volumen des Alls ab, während der Mikrowellenhintergrund nur ein zweidimensionaler Schnappschuss eines Augenblicks 380 000 Jahre nach dem Urknall ist. »Es stecken schlicht sehr viel mehr Information in einem dreidimensionalen Volumen als in einer Fläche«, bekräftigt DES-Wissenschaftler Scott Dodelson.

Um diese zu gewinnen, hat das Team vom DES einen Winkelbereich von 1300 Quadratgrad des Universums untersucht – das entspricht der Gesamtfläche von 6500 Vollmonden am Himmel –, bis zu acht Milliarden Lichtjahre weit ins All hinaus. Die Wissenschaftler analysierten in diesem Raumbereich die Abstände zwischen den Galaxien. Sie überprüften auch optische Verzerrungen, die als schwacher Gravitationslinseneffekt bekannt sind und anzeigen, wie viel raumkrümmende Dunkle Materie zwi-

schen den Galaxien und der Erde liegt (siehe »Kosmische Verklumpung«, unten). Bereits jetzt sind die Messungen präziser als sämtliche vorhergehenden entsprechenden Kartierungen, und zum ersten Mal erreichen sie die Genauigkeit des Planck-Satelliten.

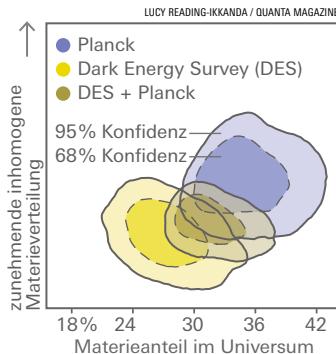
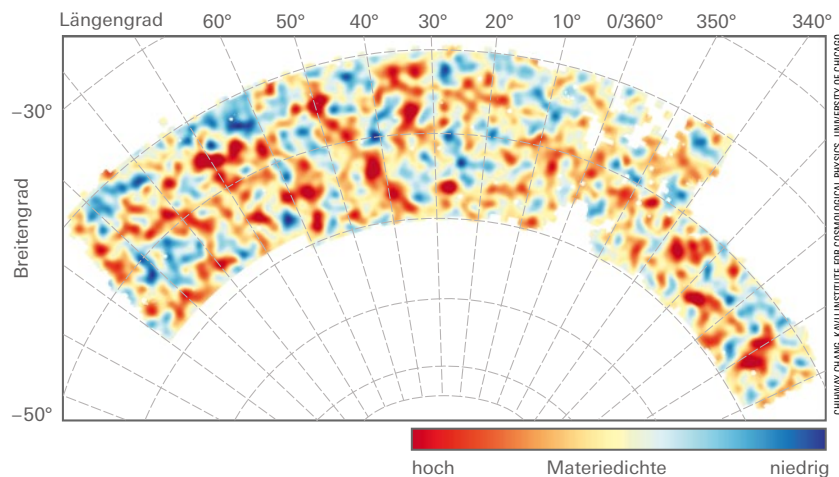
### Astronomen untersuchen, ob sie aus dem Rauschen des Urknalls die richtigen Schlüsse ziehen

Eine der Hauptfragen lautet: Unterscheidet sich das neue Ergebnis von den bisherigen Abschätzungen? Ein Vergleich würde zeigen, ob die Kosmologen ein konsistentes Bild davon haben, wie sich das Universum von seinem frühesten Zustand bis heute entwickelt hat. Dodelson erklärt: »Mit Planck ließ sich bestimmen, wie viel Dunkle Energie es heute geben sollte«, nämlich indem man vom Zustand des Universums zur Entstehungszeit der Strahlung zum jetzigen extrapoliert. »Wir hingegen messen, wie viel Dunkle Energie es heute wirklich gibt.«

Die Wissenschaftler vom DES haben sechs Monate gebraucht, um die Datenmengen zu verarbeiten, und zwar ohne zwischendrin auf die Resultate zu schauen – als Schutzmaßnahme gegen eine unbewusste Einflussnahme auf die Auswertung. Erst am 7. Juli 2017 haben sich die Arbeitsgruppen auf einer Videokonferenz gegenseitig über ihre Ergebnisse informiert. Die Teamleiter arbeiteten eine

## Kosmische Verklumpung

Der Dark Energy Survey (DES) hat in einem großen Abschnitt des südlichen Sternenhimmels bestimmt, wie stark sich die Materie in gewissen Regionen sammelt. Die Messungen liefern Hinweise auf das Wechselspiel von Dunkler Materie und Dunkler Energie: Letztere treibt Galaxien auf großen Skalen auseinander, während Dunkle Materie anziehend wirkt und so lokale Anhäufungen verstärkt.



### Ein Maß für die Materie

Der kombinierte Anteil von normaler und Dunkler Materie liegt laut DES (lila Fläche) in der Nähe des Anteils, den der Planck-Satellit anhand von Daten aus dem frühen Universum gemessen hat (gelb). Wie gut sie übereinstimmen, zeigen die Konfidenzbereiche an: Innerhalb der durchgezogenen Linien beinhalten die gemessenen Zahlen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent den realen Wert. Bei der aktuellen Genauigkeit gibt es einen Bereich, in dem sich die Ergebnisse von Planck und DES überlappen (oliv).

finale Checkliste ab, und dann startete ein Mitarbeiter ein Computerprogramm, um das zusammenfassende Diagramm zu erzeugen: die DES-Messung des Anteils im Universum, der aus Materie besteht, zusammen mit der älteren Abschätzung durch Planck (siehe kleines Bild auf S. 33). »Jeder von uns sah die Antwort zur gleichen Zeit. Spannender hätte es nicht sein können«, erinnert sich der Astrophysiker Gary Bernstein von der University of Pennsylvania.

## Abweichende Ergebnisse, doch kein Widerspruch – rein statistisch betrachtet

Planck hatte den Gesamtanteil an (Dunkler sowie regulärer) Materie zu rund 33 Prozent des heutigen Kosmos bestimmt, plus/minus zwei bis drei Prozentpunkte. Die neuen DES-Messungen ergaben 26 Prozent, mit Fehlerbereichen, die ähnlich groß waren wie die von Planck. Als das Diagramm erschien, brach Jubel aus. »Wir sahen zwar, dass sich die Bereiche nur zu einem kleinen Teil überlappten«, sagt Bernstein. »Aber wir hatten endlich überhaupt eine Antwort, die zunächst einmal nicht völlig absurd und obendrein relativ genau war.«

Statistisch gesehen widersprechen sich beide Resultate nicht. Bei den gegebenen Unsicherheiten liegen die 26 Prozent vom DES und die 33 Prozent von Planck nur eine bis anderthalb Standardabweichungen auseinander. Physiker sprechen heutzutage jedoch erst ab einem Abstand von fünf Standardabweichungen von einer Entdeckung. Das Missverhältnis zwischen beiden Messungen sticht zwar ins Auge, vorerst betrachteten Frieman und sein Team die Ergebnisse allerdings als übereinstimmend. Ob die Diskrepanz mit mehr Daten stärker wird oder verschwindet, wird sich mit der nächsten Analyse zeigen, die voraussichtlich die gesamten ersten drei Beobachtungsjahre abdecken wird. Sollten sich die möglichen Unterschiede zwischen den Messungen am kosmischen Mikrowellenhintergrund und an den Galaxienverteilungen als echt herausstellen, brächte das einige theoretische Probleme mit sich und könnte sogar das so genannte Lambda-CDM-Modell der Kosmologie gefährden, die Standardtheorie der Entwicklung unseres Universums.

Gemäß dem Lambda-CDM-Modell ist Dunkle Energie die »kosmologische Konstante«, die in Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie durch den griechischen Buchstaben Lambda abgekürzt wird. Sie übt eine Art negativen Druck aus und lässt das All expandieren. In dem frisch geformten Raum entsteht neue Dunkle Energie; so bleibt ihre Dichte stets gleich. Ihre Gesamtmenge wächst dadurch im Verhältnis zu Dunkler Materie und beschleunigt die Expansion des Universums mit der Zeit immer stärker.

Diese zunehmende Ausdehnung haben zwei Gruppen von Astronomen erstmals im Jahr 1998 festgestellt. Ihre Entdeckung hat den beiden Teamleitern 2011 den Physik-Nobelpreis eingebracht und legt nahe, dass die kosmologische Konstante einen positiven, aber geringen Wert besitzt. Bernstein merkt an: »Es gibt keine gute Theorie, die erklärt, warum dieser Wert so klein ist.«

Auf der anderen Seite könnte es sich bei Dunkler Energie um etwas ganz anderes handeln. Frieman hat alternative Modelle zur Dunklen Energie untersucht, bevor er – mit der Hoffnung, seine Ideen und die anderer Forscher testen zu können – im Jahr 2003 das DES mitbegründete. Die heute führende alternative Theorie betrachtet Dunkle Energie als ein Feld, das den Raum durchdringt und sich allmählich verändert.

Die neue Analyse vom DES verbessert die Bestimmung eines Parameters, der zwischen diesen Ansätzen unterscheidet. Wenn Dunkle Energie eine kosmologische Konstante ist, dann muss das Verhältnis von negativem Druck und Dichte den bisherigen Messungen zufolge strikt auf  $-1$  festgelegt sein. Kosmologen nennen diesen Wert  $w$ -Parameter. Wenn Dunkle Energie ein sich entwickelndes Feld ist, dann könnte  $w$  mit der Zeit auch andere Werte als  $-1$  annehmen.

Kombiniert mit früheren Messungen legen die Daten aus dem ersten Jahr vom DES den  $w$ -Parameter in der Tat auf  $-1$  fest, plus/minus etwa  $0,04$ . Die gegenwärtige Genauigkeit ist jedoch noch nicht groß genug, um sagen zu können, ob wir es mit einer Konstante oder einem dynamischen Feld zu tun haben. Die Wissenschaftler vom DES werden die Fehlerbalken in ihrer nächsten Analyse enger ziehen – 2018 soll es so weit sein. Dabei werden sie auch die Entwicklung des  $w$ -Parameters im Lauf der Zeit untersuchen, indem sie seinen Wert in unterschiedlichen kosmischen Entfernungen bestimmen.

Größere Galaxienkartierungen könnten notwendig werden, um  $w$  und andere kosmologische Parameter genauer festzuzurren. In den frühen 2020er Jahren soll das ambitionierte Large Synoptic Survey Telescope (LSST) beginnen, Licht von 20 Milliarden Galaxien und anderen kosmologischen Objekten zu sammeln und eine noch präzisere Karte der Materieverteilung im Universum zu liefern.

»Mit den Vermessungen vom DES und dem darauf folgenden LSST sind die Aussichten für die Kosmologie ziemlich gut«, sagt Dodelson. »Die Datenauswertung ist schwieriger als beim kosmischen Mikrowellenhintergrund, weil dieser einfacher strukturiert ist. Das hat aber auch eine positive Seite: Für junge Leute in dem Gebiet wird es jede Menge Arbeit geben.« ◀

**Natalie Wolchover** ist Journalistin und Physikerin in New York. Sie schreibt regelmäßig für das »Quanta Magazine«.

## QUELLE

<https://www.darkenergysurvey.org/news-and-results/publications/>

Die Ergebnisse wurden am 4. August 2017 in elf Einzelpublikationen veröffentlicht. Diese sind auf der Website des Dark Energy Survey aufgelistet und verlinkt.



Nach der redigierten Fassung aus »Quantamagazine.org«, einem inhaltlich unabhängigen Magazin der Simons Foundation, die sich die Verbreitung von Forschungsergebnissen aus der Mathematik und den Naturwissenschaften zum Ziel gesetzt hat.





# SPRINGERS EINWÜRFE RAUBTIERE IM BLÄTTERWALD

**Seriöse Fachzeitschriften bekommen wachsende Konkurrenz von windigen Onlinejournalen. Diese sitzen nicht mehr nur in Schwellenländern.**

**Michael Springer** ist Schriftsteller und Wissenschaftsredakteur. Seit seiner Promotion in theoretischer Physik pendelt er zwischen den »zwei Kulturen«.

» [spektrum.de/artikel/1505987](http://spektrum.de/artikel/1505987)

**A**ngenommen, Sie sind ein aufstrebender Forscher, haben an einem medizinischen Kongress teilgenommen und durften einen Vortrag halten, der gut ankam. Bald danach werden Sie per E-Mail eingeladen, Ihre Erkenntnisse in einem neuen Fachjournal zu publizieren, das noch Autoren sucht. Geschmeichelt sagen Sie zu und liefern ein Manuskript, das mit kleinen Änderungen akzeptiert wird. Kurz darauf erhalten Sie eine Rechnung über fast 1000 Dollar für Publikationskosten, von denen in der Einladung nie die Rede war. Als Sie trotz eskalierender Mahnungen die Zahlung verweigern und Ihre Arbeit bei einem seriösen Magazin veröffentlichen, stellen Sie fest, dass der Text trotzdem auf der Website der räuberischen Zeitschrift erscheint.

## Daten von Testpersonen und Tieren werden verschwendet

Den Fall schildert Kelly Cobey, die als »publications officer« am Ottawa Hospital Research Institute in Kanada den immer zahlreicheren Opfern solcher so genannter predatory journals hilft (*Nature* 549, S. 7, 2017). Solche Zeitschriften tragen pompöse Titel und geben renommierte Forscher als Herausgeber oder Beirat an – die oft von ihrem zweifelhaften Glück gar nichts wissen. Auf Grund der Täuschungsmanöver sind allein im Bereich der Biomedizin 18000 Artikel in wissenschaftlich fragwürdigen Journalen gelandet, schätzt die Predatory Journals Group um den Epidemiologen David Moher vom Ottawa Hospital Research Institute. Die dort publizierten Ergebnisse bringen die Forschung nicht weiter, denn mangels Begutachtung werden Fehler nicht erkannt, und die Studien sind kaum auffindbar. Allein für den von seinem Team genauer untersuchten, etwa zehnmal kleineren Teil dieser Artikel wurden so Daten von zwei Millionen Testpersonen und 8000 Tieren verschwendet – von den

nutzlos aufgewandten Subventionsgeldern ganz abgesehen (*Nature* 549, S. 23–25, 2017).

Derzeit publizieren schätzungsweise 8000 räuberische Journale mehr als 400000 Artikel pro Jahr. Bisher nahm man an, dass diese ungeheure Zahl ausschließlich aus Entwicklungs- und Schwellenländern stammt, vorwiegend aus Indien. Insofern wäre sie ein Phänomen, das sich zumindest teilweise aus der relativen Benachteiligung solcher Länder in der angelsächsisch dominierten Wissenschaftspublizistik erklären ließe. Wie einschlägige Untersuchungen gezeigt haben, erschweren schon allein ein exotischer Forschername und eine entlegene Laboradresse die Akzeptanz in einem seriösen englischsprachigen Journal.

Doch der Ottawa-Gruppe zufolge greift das Übel nun auch in den Industrieländern um sich. Die Anzahl der von US-Forschern in windigen Zeitschriften publizierten Artikel erreicht bereits fast zwei Drittel der aus Indien stammenden Veröffentlichungen. Auch in Japan, Italien und Großbritannien kommt so etwas vor.

**R**äuberische Journale scheinen in der deutschen Publikationslandschaft noch kein Problem zu sein. Doch da Englisch die weltweit herrschende Wissenschaftssprache ist, sind inländische Forscher gewiss bereits Opfer geworden. Nur eine ständig aktualisierte Liste solcher Journale sowie die Bereitschaft Publikationswilliger, künftig mit – noch raren – Spezialisten für seriöse Veröffentlichungen zusammenzuarbeiten, kann den Betrügern das Handwerk legen.

Aber es geht nicht bloß um hereingelegte Forscher. Die Wissenschaft selbst ist in Gefahr, wenn vermeintlich solide Resultate ohne penible Peer-Review-Kontrolle das Licht der Öffentlichkeit erblicken. Ohnedies wird der biologische, medizinische und ökologische Kenntnisstand derzeit – in manchen Ländern unter politischem Druck – verstärkt in Zweifel gezogen. Bei mangelhafter Prüfung fachlicher Aussagen droht die Wissenschaft in einem Meer von Fake News unterzugehen.

# EVOLUTION ANGEPASST AN EINE TÖDLICHE UMWELT

Manche kleinen Fische trotzen hochgiftigem Schwefelwasserstoff in ihrer Umwelt. An ihnen lassen sich Selektionsmechanismen und die Artbildung unter Extrembedingungen studieren.



**Rüdiger Riesch** (links) lehrt Evolutionsbiologie an der Royal Holloway University of London.  
**Martin Plath** ist Professor für Zoologie an der Northwest A&F University in Yangling, China.

» [spektrum.de/artikel/1505989](https://www.spektrum.de/artikel/1505989)

MATTHIAS SCHULTE: MIT FRDL. GEN. VON RÜDIGER RIESCH





Je näher wir unserem Ziel kommen, einem kleinen Wasserlauf, umso kräftiger stinkt es nach faulen Eiern. Auf dem Weg hierher sahen wir einen Grünfischer – einen amerikanischen Eisvogel –, der in einen klaren Bach eintauchte und mit Beute im Schnabel an seinen Ansitz zurückflog. Er hatte einen Atlantikkärpfling (*Poecilia mexicana*) erwischt. Dieser lebendgebärende Fisch ist in Mexiko und Mittelamerika weit verbreitet und zählt zu den Poeciliiden, einer Fischfamilie, die Aquarianer wegen ihrer hübsch gefärbten Männchen schätzen. Wir erforschen, wie sich einige ihrer Arten und Populationen an schwefelreiche Gewässer angepasst haben.

Nur die Brüllaffen in den Baumkronen und einige Blaue Morphofalter lenken uns etwas von der Hitze und feuchten Luft ab, während wir uns durch den Tropenwald im mexikanischen Bundesstaat Tabasco, am südlichen Golf von Mexiko, kämpfen. Die letzten Tage sind viel angenehmer gewesen. Nur wenige Kilometer von hier entfernt haben wir auf Steinen oder umgestürzten Baumstämmen an einem kristallklaren Bach gesessen, den wir Arroyo Cristal taufte, während unsere Studienobjekte in dem kühlen Wasser um unsere nackten Füße schwammen.

Ganz anders heute. Der übel riechende El Azufre, der langsam in Sicht kommt, wirkt wegen seines hohen natür-

lichen Schwefelgehalts trüb, milchig weiß. Am Ufer sehen wir, dass die Felsbrocken unterhalb der Wasserlinie mit einem Schleim aus Schwefelbakterien überzogen sind. Trotzdem leben hier zahlreiche Kärpflinge – die allerdings mit geöffneten Mündern an der Oberfläche hängen, als ob sie nach Luft schnappen.

Außenstehende würden wohl nicht vermuten, dass diese Fische tatsächlich zur selben Art gehören wie die Fische vom Arroyo Cristal. Denn sie verhalten sich nicht nur reichlich merkwürdig, auch ihre Köpfe sind deutlich größer. Immerhin scheinen sie in dem giftigen Bach leben zu können, der mehr Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) aufweist, als die meisten Organismen aushalten können.

Wie manche Atlantikkärpflinge, und nicht nur sie allein, es fertig bringen, sich an dermaßen unwirtliche Umweltverhältnisse anzupassen, interessiert Forscher seit Langem. Die meisten Tiere und der Mensch stürben unter solchen Verhältnissen binnen Minuten, manchmal Sekunden. Gegen Schwefelwasserstoff gefeierte Poeciliiden werden daher schon seit den 1960er Jahren untersucht. Einen kräftigen An Schub lieferten den Studien zu ihrer Evolution und Ökologie dann Anfang dieses Jahrhunderts nicht zuletzt die Fortschritte der Genomsequenzierung und andere moderne molekularbiologische Verfahren. Sie gestatten es uns, ihre Anpassungen immer besser auf genetischer und physiologischer Ebene zu erfassen.

Wir selbst und unsere Mitarbeiter, darunter Markus Pfenninger vom Biodiversitäts- und Klimaforschungszentrum in Frankfurt, verknüpfen Freilandbeobachtungen an Kärpflingen mit Befunden zu ihrem Erbgut. Das erbrachte uns bereits faszinierende Einblicke in das Räderwerk der natürlichen Selektion, also quasi den Werkzeugkasten der Evolution. Weil solche Studien außerdem Anpassungsgrenzen aufzeigen, könnten sie eines Tages auch Vorhersagen zu den Chancen einzelner Fischarten in durch Menschen verschmutzten Gewässern möglich machen. Dies ließe sich vielleicht sogar auf andere Umweltstörungen und ganz andere Arten ausweiten.

Für uns lebensfeindliche Verhältnisse herrschen vielerorts auf der Erde. Man denke etwa an den hohen Druck in der Tiefsee, heiße Quellen am Meeresboden, Salzwüsten oder an lichtlose Höhlen. All jene Orte beherbergen irgendwelches Leben.  $H_2S$ -haltige Gewässer stellen für Organismen allerdings eine besondere Herausforderung dar.

In der Natur entstammt die hochgiftige Verbindung teils dem Erdinnern. Infolge geologischer Aktivität tritt sie am Meeresboden aus oder gelangt in Süßwasserquellen wie in Mexiko. Außerdem entsteht Schwefelwasserstoff natürlicherweise bei der Zersetzung organischen Materials, so etwa im Schlick oder in Marschen an Küsten.  $H_2S$  fällt zudem bei der Papierherstellung an, beim Gerben von Leder sowie beim Gewinnen von Erdgas oder geothermischer Energie.

**Diese Schwefel-Mollys – links ein Männchen, rechts ein Weibchen – wurden an einer giftigen Quelle in Mexiko fotografiert. Die Art lebt ausschließlich in schwefelhaltigen Gewässern. Typisch sind der große Kopf und das breite Maul.**

MATTHIAS SCHULTE, MIT FRDL. GEN. VON RÜDIGER RIESCH



## AUF EINEN BLICK EVOLUTION IM GRENZBEREICH

- 1** Einige lebendgebärende Arten der Zahnkärpflinge (Poeciliidae) besiedeln Wasserläufe mit einem für andere Fische toxischen Schwefelwasserstoffgehalt.
- 2** Die Vertreter dieser Populationen haben einen größeren Kopf und größere Junge als die Verwandtschaft. Ihre im Prinzip gleichen Stoffwechselanpassungen erwarben sie auf verschiedenen Wegen.
- 3** Die extrem unwirtliche Umwelt scheint ihre ökologische Abgrenzung und Artenbildung zu fördern.

Schon kleinste Mengen Schwefelwasserstoff wirken bei den meisten Tieren auf der Stelle fatal. Weil er nämlich freien Sauerstoff bindet, entzieht er ihnen das Lebenselixier zum Atmen. Überdies blockiert er den Blutfarbstoff und Sauerstofftransporter Hämoglobin. Man erstickt einfach. Aber damit nicht genug:  $H_2S$  unterbindet auch den Vorgang, mit dem Zellen aus der Nahrung Energie für ihren Stoffwechsel gewinnen. Bei Fischen gelangt die Verbindung leicht über die zarten Kiemen in deren Blutkreislauf und letztlich in ihre Zellen. Auch Menschen sollten Schwefelwasserstoff möglichst nicht einatmen. Deswegen darf man sich dem Gas allenfalls kurz aussetzen, oder man trägt eine Schutzmaske und notfalls Schutzkleidung.

### **Mollies, Guppies, Schwerträger ... Extremisten, die es in Schwefelquellen aushalten**

In vom Menschen oder natürlicherweise mit  $H_2S$  verunreinigten Gewässern gab es schon etliche große Fischsterben. Umso erstaunlicher ist, dass verschiedenste Knochenfische des Süß- und Salzwassers (zu denen die meisten modernen Fische zählen) unter so extremen Verhältnissen zu existieren vermögen. Manche leben sogar am Meeresboden bei Hydrothermalschloten oder bei »kalten« Sickerstellen, etwa Aalmuttern, jene eigenartigen Fische, die sich stark schlängeln und einkringeln können, oder einige Plattfische. Allerdings kann man diese Extremisten nur mit einem Tauchboot und teurer Ausrüstung erforschen. Zu den Zahnkärpflingen gelangen wir leichter.

Von ihnen erforschen wir hauptsächlich die gut zehn Arten von Mollies, Guppies, Schwerträgern und Mosquitofischen, die es unabhängig voneinander geschafft haben, an dutzenden Orten und den verschiedensten Stellen Amerikas schwefelhaltige Quellen in kleinen Wasserläufen zu besiedeln. Manchmal lebt die komplette Art unter solchen Bedingungen, in anderen Fällen haben sich nur einige Populationen an die widrige Umgebung angepasst.

Mit welchen Tricks begegnen diese Fische ihrer giftigen Umwelt? Zum einen haben sie Verhaltensanpassungen daran entwickelt. Mit  $H_2S$  verseuchtes Wasser ist sauerstoffarm. Daher verbringen sie auffallend viel Zeit dicht an

der Oberfläche, denn die alleroberste Wasserschicht enthält etwas mehr Sauerstoff. Auch wenn es fast so aussehen mag: Sie schnappen nicht nach Luft, das könnten sie nicht, sondern sie schlucken Wasser, das sie in die Kiemen drücken. Diese Anpassung, sich nah an der Wasseroberfläche aufzuhalten, hat allerdings den Nachteil, dass ihnen weniger Zeit für andere Aktivitäten wie die Nahrungssuche bleibt.

Zum anderen weisen diese Fische einige körperliche Eigentümlichkeiten auf. Die auffallendste davon ist ihr größerer Kopf im Vergleich zu Artgenossen und verwandten Arten, die in klaren (nicht schwefeligen) Gewässern leben. Denn sie haben größere Kiemen, mit denen sie mehr Sauerstoff aufnehmen können. Zum selben Zweck hat der Schwefel-Molly (*Poecilia sulphuraria*) an der Unterlippe außerdem noch merkwürdige Anhänge ausgebildet. Diese Art kommt nur in Mexiko in einigen wenigen schwefelhaltigen Quellen von Tabasco und Chiapas vor. Doch ähnliche Auswüchse haben auch Fische anderer Familien und von verschiedensten Orten der Erde, die sich mit wenig Sauerstoff arrangieren müssen. Da die besondere Lippenbildung die Mundoberfläche vergrößert, dürfte der Schwefel-Molly damit aus der relativ sauerstoffreichen oberen Schicht mehr Wasser abschöpfen können als ohne solche Anhängsel.

Fische in  $H_2S$ -haltigen Quellen verfügen zudem über eine besondere Anpassung des Stoffwechsels, die ihnen dabei hilft, das Gift leichter loszuwerden, als ihre Verwandten aus sauberen Gewässern das vermögen. Im Prinzip können alle Tiere, und ebenso der Mensch, ganz geringe Mengen an Schwefelwasserstoff abbauen und somit unschädlich machen. Das ist sogar notwendig, denn andernfalls würde der Stoff, der in Spuren praktisch überall vorkommt, wie beschrieben die Energiegewinnung stören. Zu dem Zweck verfügen die Tiere über das Enzym SQR (Sulfid:Quinon-Oxidoreduktase). Höhere Konzentrationen an  $H_2S$  vermag dieses Protein jedoch normalerweise nicht abzufangen. Die Fische der schwefelwasserstoffhaltigen Quellen haben die davon katalysierte Abbaureaktion nun allerdings so abgewandelt, dass sie erheblich mehr  $H_2S$  vernichten können als andere Tiere.

Des Weiteren gebären Zahnkärpflinge aus schwefelwasserstoffhaltigen Quellen viel größere Junge. Dadurch haben sie zwangsläufig weniger Nachwuchs, doch scheinen die Vorteile zu überwiegen. Denn die Körperoberfläche nimmt nicht im gleichen Maß zu wie das Volumen. Somit steht den größer geborenen Jungfischen verhältnismäßig mehr Gewebe zur Verfügung, um über die Haut – also auch die Kiemen – eindringendes  $H_2S$  zu entgiften.

Das Erstaunlichste an den diversen Zahnkärpflingen in Schwefelwasserstoffquellen ist für uns, dass deren Populationen so viele gleichartige Anpassungen an das giftige Habitat aufweisen. Genauer gesagt: Unterschiedliche Arten mit ganz verschiedenen Verbreitungsgebieten haben Bestände mit ähnlichen neuen Merkmalen hervorgebracht, während deren nächste Verwandte aus nicht schwefeliger Umwelt diese nicht besitzen. Oft leben sogar ganz in der Nähe in klaren Gewässern Artgenossen, welche die toxische Umgebung niemals aushalten könnten.



Diese Beobachtung wirft eine wissenschaftlich hochinteressante Frage auf: Beruhen die von den einzelnen Populationen offensichtlich meist unabhängig erworbenen Anpassungen an Schwefelwasserstoff auf ähnlichen Mutationen an denselben Enzymen oder genetischen Regulatorelementen? Oder wurden unterschiedliche Stoffwechselwege abgewandelt? Dem sind wir zusammen mit Markus Pfenninger und anderen Kollegen nachgegangen.

### Mutationen, die das Leben mit viel H<sub>2</sub>S erlauben, müssen sich rasch durchgesetzt haben

Wir haben dazu DNA von mehreren hundert Atlantikkärpflingen untersucht. Die Fische stammten aus vier Populationen, genauer gesagt zwei Populationspaaren aus je zwei benachbarten, parallelen Flusssystemen: Jedes Paar bestand aus einer an H<sub>2</sub>S angepassten Population sowie deren nicht angepasster Ursprungspopulation. Erstere lebte jeweils bei einer H<sub>2</sub>S-haltigen Quelle, letztere in einem klaren Arm im selben Flusssystem.

Zunächst ermittelten wir mit statistischen Verfahren über die gesamten Genome, wie viele Varianten eines Gens in der Population überhaupt existieren. So konnten wir auch feststellen, welche davon jeweils überwiegen – was bedeutet, dass sie hohen positiven Selektionskräften ausgesetzt sind. Da H<sub>2</sub>S als starke Selektionskraft wirkt, sollten vorteilhafte Mutationen schnell in der Population »fixiert« werden, also bei fast allen Individuen erscheinen.

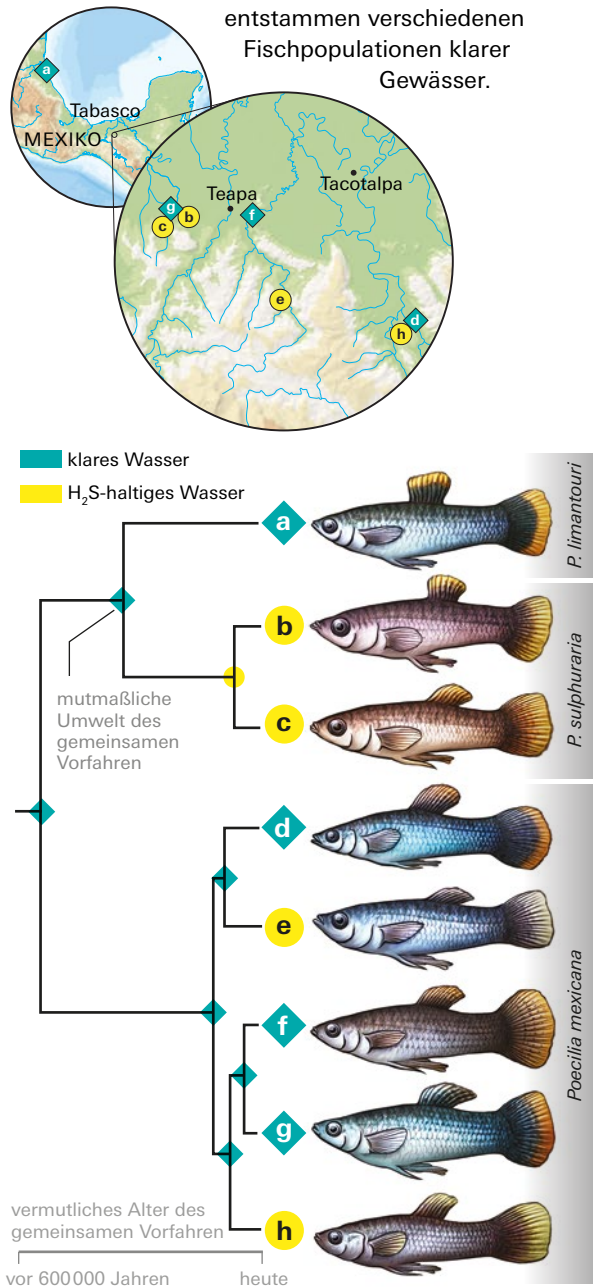
Solange wir in dieser Studie allein die Genome der beiden an H<sub>2</sub>S angepassten Populationen betrachteten, fanden wir bei ihnen völlig unterschiedliche genetische Abwandlungen. Doch ein Abgleich der Funktionen der mutierten Gene mit einer entsprechenden Datenbank ergab: Meistens waren dieselben grundlegenden Stoffwechselprozesse betroffen, also dieselben biochemischen Reaktionsketten und Proteinaktivitäten verändert. Unseres Erachtens zeigt dieses Resultat, dass Organismen verblüffend ähnliche Anpassungen an einen bestimmten Umweltstressor durch unterschiedliche Abwandlungen ihres Genoms erreichen können.

Dazu passen gut neuere Daten zum Atlantikkärpfling in Südmexiko von Joanna Kelley von der Washington State University in Pullman und Michael Tobler von der Kansas State University in Manhattan sowie deren Mitarbeitern. Ihren Studien zufolge unterscheiden sich die Genexpressionsmuster der H<sub>2</sub>S-toleranten Populationen. Jedoch sind bei all diesen Fischen die Aktivitäten von einigen speziellen Genen zur Regulation von in dieser Umwelt maßgeblichen Stoffwechselabläufen ziemlich gleich stark gesteigert. Was wir in den Gensequenzen unserer Untersuchungsobjekte erkannten, bestätigt sich hier: Die Fische fanden die gleiche Lösung für ihr Umweltproblem auf unterschiedliche Weise, auch wenn dies für einige besonders wichtige Schlüsselenzyme nicht gelten mag.

Das berührt eine alte Streitfrage der Evolutionsforschung. Manche Experten vermuten, dass Populationen unterschiedlicher evolutionärer Herkunft in einer vergleichbaren lebensfeindlichen Umwelt einigermaßen ähnliche Anpassungen durchmachen. Die nicht verwandten Tiere finden sozusagen für dasselbe Problem dieselbe Lösung.

## Wege zum gleichen Ziel

Zahnkärpflinge, die viel Schwefelwasserstoff aushalten, finden sich an diversen Orten der Neuen Welt. Für ihren speziellen Lebensraum sind sie körperlich und physiologisch im Prinzip ähnlich ausgestattet. Äußerlich fallen etwa der große Mund und die vergrößerte Kiemenregion auf. Auch die Stoffwechseleränderungen gleichen sich in ihren Auswirkungen, jedoch nicht in den zu Grunde liegenden Mutationen. DNA-Vergleichen zufolge entstanden diese Anpassungen unabhängig voneinander: Die einzelnen Bestände entstammen verschiedenen Fischpopulationen klarer Gewässer.



KARTEN, MAPPING SPECIALISTS: ILLUSTRATION: JULIAN WATERS; ALLES NACH PFENNINGER, M. ET AL.: PARALLEL EVOLUTION OF COX GENES IN H<sub>2</sub>S-TOLERANT FISH AS KEY ADAPTATION TO A TOXIC ENVIRONMENT. IN: NATURE COMMUNICATIONS 5, ART. 3973, 10.1038/NCOMMS4973, 2014, FIG. 2 / SCIENTIFIC AMERICAN APRIL 2017

Andere Biologen halten dagegen, dass die Reihenfolge von evolutionären Veränderungen, die sich als vorteilhaft erweisen, das Endergebnis zumindest mit beeinflusst. Anders gesagt: Eine frühe Zufallsmutation, die sich in dieser Umwelt bewährt, bestimmt gewissermaßen mit, wie es weitergeht, das heißt, welche späteren Mutationen sich danach ebenfalls durchsetzen können, darauf sozusagen aufbauen. Der Selektionsvorteil, den eine anfängliche Genveränderung erfährt, hätte also einen Anteil daran, wie hoch der Vorteil weiterer Mutationen sein wird.

### Die dritte Population fand einen anderen Weg, sich vor Schwefelwasserstoff zu schützen

Nach unseren Befunden scheint beides vorzukommen. Als wir die genetischen Anpassungen dreier Populationen von H<sub>2</sub>S-adaptierten Atlantikkarpfingern verglichen, stellten wir fest: Bei zweien beruht die Widerstandskraft gegen das Gift teilweise auf einer Mutation im Gen für ein Schlüsselenzym bei der Energiegewinnung von Zellen, nämlich der Cytochrom-C-Oxidase (COX). Doch die dritte Population fand einen anderen Weg, die Energiegewinnung der Zellen vor dem fatalen Schwefelwasserstoff zu schützen, wobei die Entgiftung hier wichtiger zu sein scheint.

Eine entscheidende Frage lautet: Wieso haben sich diese Fische überhaupt an einen derart extremen, eigentlich hochgiftigen Lebensraum angepasst? Ein erheblicher Vorteil dürfte sein, dass andere Arten dort weitgehend fehlen, vor allem also andere räuberische Fische sowie Nahrungskonkurrenten. Beispielsweise leben in den schwefelwasserstoffhaltigen Gewässern Süd Mexikos allein auf diese Umwelt spezialisierte Poeciliiden. Keiner der zahlreichen anderen Fische der näheren Umgebung kommt darin vor.

Die harschen Bedingungen durch H<sub>2</sub>S könnten nach unseren Beobachtungen die Evolution von neuen Lebensformen der Fische sogar fördern. Nach herkömmlicher Auffassung entstehen neue Arten, wenn ein geografisches Hindernis die Herkunftsart über längere Zeit in verschiedene Populationen trennt und sich diese nun unabhängig voneinander weiterentwickeln. Doch in den letzten Jahren fanden Biologen bei ganz verschiedenen Tieren eine Reihe von Anzeichen dafür, dass die Regel längst nicht immer zutrifft. Offensichtlich können sich neue Arten auch herausbilden, indem sich Teilpopulationen im selben Gebiet ökologisch unterschiedlich anpassen. Dies gilt beispielsweise für Buntbarsche, aber vielleicht selbst für den Schwertwal (siehe **Spektrum** April 2014, S. 24–31 und April 2017, S. 30–38).



MATTHIAS SCHULTE, MIT FRIEDRICH GEN, VON RÜDIGER RIESCH

**Ein Schwarm Schwefel-Mollies an einer besonders giftigen Quelle (links): Die Fische schnappen nicht etwa nach Luft, sondern schlucken das noch relativ sauerstoffreiche Wasser der ober-**

Auch die an H<sub>2</sub>S adaptierten Poeciliiden und ihre nicht daran angepassten nächsten Verwandten dürften Beispiele hierfür darstellen. Wer nämlich in einem Schwefelwasserstoffhabitat gut zurechtkommt, tut sich unter Umständen in einem reinen Gewässer schwer – und umgekehrt sowieso. Das kann den vorübergehenden Wechsel in eine saubere Lebenszone beschränken, die im selben Flusssystem vielleicht nur ein paar hundert oder gar ein paar Dutzend Meter weit entfernt liegt. So können durch die natürliche Selektion schließlich zwei ganz unterschiedliche Formen entstehen, die sich wenig oder überhaupt nicht mehr miteinander fortpflanzen.

Andere Einflüsse können die Trennung noch verstärken – etwa der Druck durch Raubfeinde, weil die jeweils weniger gut angepassten Individuen eher gefressen werden, wenn sie das andere Habitat aufsuchen. Zudem beobachten wir bei einigen Populationen ausgeprägte sexuelle Präferenzen für den eigenen Ökotyp, bei anderen schwächere. Schwimmen die Fische in der Natur in einen leicht schwefelhaltigen Zwischenbereich zwischen beiden Habitaten und begegnen dort Vertretern des anderen Ökotyps, so paaren sie sich mit diesen nicht. Gleiches gilt, wenn ein Fisch aus einem schwefelhaltigen Gewässer in eine saubere Umgebung gerät.



FOTOLIA / HLPHOTO

### Mehr Wissen auf Spektrum.de

Unser Online-Dossier zum Thema finden Sie unter [spektrum.de/t/evolution](http://spektrum.de/t/evolution)





ten Schicht in ihre Kiemen. Der stinkende Bach Azufre (rechts), an dem die Autoren arbeiteten, erhält sein milchiges Aussehen durch die fein verteilten Schwefelpartikel.

Dieses Verhalten haben wir experimentell genauer untersucht. Tatsächlich paarten sich Weibchen aus nicht-schwefeligem Wasser bevorzugt mit Männchen ihres eigenen Ökotyps. Wie ausgeprägt sie sich so benehmen, hängt aber davon ab, wem sie in der Natur normalerweise überhaupt begegnen. Die Fische mancher Populationen aus einer Schwefelquelle vertragen den Aufenthalt in nicht-schwefeligem Wasser einigermaßen, andere kaum. Unsere Testweibchen verhielten sich abweisender gegenüber solchen  $H_2S$ -angepassten Männchen aus Populationen, die es in sauberem Wasser ganz gut aushalten, als gegenüber Männchen von Populationen, deren Anpassungen den Verbleib im stark schwefelhaltigen Wasser erzwingen. Offenbar ist die Aversion der Weibchen aus reinen Gewässern gegen Außenseiter immer dann recht groß, wenn tatsächlich Gefahr besteht, einem zu begegnen. Dies verhindert, dass wenig lebenstaugliche Hybriden entstehen. Im anderen Fall, wenn die unterschiedlichen Lebensformen in der Natur normalerweise gar nicht zusammentreffen, hat sich die Abneigung nicht ausgebildet.

Wir können nicht genau sagen, wie viele neue Poeciliidenarten in schwefelwasserstoffhaltigen Quellen entstanden sind. Denn oft kennen wir den genetischen Abstand zur Stammpopulation noch nicht und wissen

überdies meist nicht, ob sich die beiden Populationen gelegentlich noch kreuzen. Manche der  $H_2S$ -Populationen sind kaum 100 000 Jahre alt – eine recht kurze Zeit für die Evolution all der Anpassungen, die sie zeigen. Die Extrembedingungen scheinen die Artenbildung tatsächlich voranzutreiben. Dazu passt ein neuerer Befund von uns, wonach der Grad der Fortpflanzungsisolierung direkt mit dem  $H_2S$ -Gehalt im betreffenden Ökosystem korreliert.

Könnten Zahnkarpfen auch mit menschengemachter Umweltverschmutzung fertigwerden? 2016 veröffentlichten Noah Reid von der University of Connecticut in Storrs und seine Kollegen Befunde, wonach der Atlantische Killifisch (*Fundulus heteroclitus*) – ein Zahnkärppling aus einer anderen Familie, der nordamerikanische Brackgewässer bewohnt –, sich an mehreren industriell belasteten Orten an das dreckige Wasser anpasste. Die Forscher vermuten, dass diese Fische von vornherein eine recht große genetische Variation mitbringen, so dass ihnen zur raschen Adaptation an veränderte Umweltbedingungen ein Arsenal an genetischen Möglichkeiten zur Verfügung steht.

Ob die Poeciliiden ähnlich gut gerüstet sind, wissen wir noch nicht genau. Unsere Untersuchungen lassen vermuten, dass in den beschriebenen giftigen Umwelten neue Mutationen für sie wichtiger sind als die schon zuvor in der Population vorhandene genetische Vielfalt. Dennoch sieht es laut den Daten zu den Killifischen wie auch unseren eigenen alles in allem so aus, als könnten sich manchmal zumindest einige kleine, vermehrungsfreudige Fische mit mehreren Generationen pro Jahr unter bestimmten Bedingungen auf eine verdreckte Umwelt einstellen.

Vieles von den Anpassungen der Poeciliiden an schwefelwasserstoffhaltige Gewässer verstehen wir noch nicht. Wieso etwa erscheinen bestimmte neue Merkmale nur mancherorts? Bei den raschen Fortschritten und stetig sinkenden Kosten der DNA-Sequenzierung sowie neuen Genomdaten verschiedener Zahnkarpfenarten sind wir zuversichtlich, bald erheblich mehr über die genetischen Mechanismen zu erfahren, die diese Evolution bewerkstelligen. ◀

#### QUELLEN

**Pfenninger, M. et al.:** Unique Evolutionary Trajectories in Repeated Adaptation to Hydrogen Sulphide-Toxic Habitats of a Neotropical Fish (*Poecilia mexicana*). In: *Molecular Ecology* 24, S. 5446–5459, 2015

**Pfenninger, M. et al.:** Parallel Evolution of *cox* Genes in  $H_2S$ -Tolerant Fish as Key Adaptation to a Toxic Environment. In: *Nature Communications* 5, Art. 3873, online 2014

**Riesch, R. et al.:** Colonization of Toxic Environments Drives Predictable Life-History Evolution in Livebearing Fishes (Poeciliidae). In: *Ecology Letters* 17, S. 65–71, 2014

#### LITERATURTIPPS

**Brennpunkte der Evolution.** Spektrum Spezial Biologie, Medizin, Hirnforschung 4/2016

Artikel unter anderem zur Evolution der Buntbarsche

**Grenzfragen der Genetik.** Spektrum Spezial Biologie, Medizin, Hirnforschung 2/2017

Mit Beiträgen zur Evolution, etwa zur Artbildung beim Schwertwal

# Bald ist es wieder so weit ...

Denken Sie schon jetzt an Weihnachten!



Die Zeitschrift für Naturwissenschaft, Forschung und Technologie

**Print** 12 Ausgaben, € 89,-  
**Digital** 12 Ausgaben, € 60,-  
**Print + Digital** € 95,-



Das Magazin für Psychologie, Hirnforschung und Medizin

**Print** 12 Ausgaben, € 85,20  
**Digital** 12 Ausgaben, € 60,-  
**Print + Digital** € 91,20



Das Magazin für Astronomie und Weltraumforschung

**Print** 12 Ausgaben, € 89,-  
**Digital** 12 Ausgaben, € 60,-  
**Print + Digital** € 95,-



Der aktuelle Wissensstand der NWT-Forschung

**Print** 4 Ausgaben, € 29,60  
**Digital** 4 Ausgaben, € 21,-  
**Print + Digital** € 33,60



Spannende Themen aus der Welt der Kulturwissenschaften

**Print** 4 Ausgaben, € 29,60  
**Digital** 4 Ausgaben, € 21,-  
**Print + Digital** € 33,60



Die neuesten Erkenntnisse aus dem Bereich der Life Sciences

**Print** 4 Ausgaben, € 29,60  
**Digital** 4 Ausgaben, € 21,-  
**Print + Digital** € 33,60

**Jetzt bestellen:**

service@spektrum.de | Tel.: 06221 9126-743

www.spektrum.de/geschenk



# Ein ganzes Jahr Freude

- Bestellen Sie für sich oder einen lieben Menschen die passende Lektüre – gedruckt oder digital.
- Pünktlich zu dem von Ihnen gewünschten Termin verschicken wir die erste Ausgabe zusammen mit einer Grußkarte in Ihrem Namen.
- Und damit auch Sie Grund zur Freude haben, erhalten Sie von uns als Dank für Ihre Bestellung ein Geschenk zur Wahl.

Astro-  
kalender



Coffee-to-  
go-Becher  
von ebos



Baumspende



Buch



Spektrum-  
Stofftaschen-  
Set



Kennerspiel  
des Jahres  
2017



# CHEMISCHE UNTERHALTUNGEN VERBRECHERJAGD MIT ELEKTROCHEMIE

**Fingerabdrücke sind immer noch ein wichtiges Mittel, um Straftäter aufzuspüren und zu überführen. Elektrochemische Methoden können dabei helfen, solche Spuren sichtbar zu machen.**



**Isabel Rubner** (links) ist Akademische Oberrätin in der Abteilung Chemie der Pädagogischen Hochschule Freiburg. **Matthias Ducci** (Mitte) ist Professor für Chemie und ihre Didaktik am Institut für Chemie der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe. **Marco Oetken** ist Abteilungsleiter und Lehrstuhlinhaber in der Abteilung Chemie der Pädagogischen Hochschule Freiburg.

► [spektrum.de/artikel/1505991](https://spektrum.de/artikel/1505991)

Am 19. September 1910 ereignete sich in Chicago ein Mord in einer Villa, in die der Täter über die Veranda eindrang. Weil er dabei seine Fingerabdrücke auf dem frisch gestrichenen Geländer hinterließ, konnte ihn die Polizei schließlich überführen. Das brachte Thomas Jennings, so sein Name, nicht nur an den Galgen, sondern sicherte ihm auch einen Platz in der Kriminalgeschichte als dem ersten anhand von Fingerspuren verurteilten Verbrecher.

Was vor über 100 Jahren noch eine Sensation war, ist heute Routine. Das Sichern von Fingerabdrücken gehört seit Langem schon zu den Standardverfahren bei der Untersuchung von Tatorten und der Identifikation der Täter. Der Grund liegt darin, dass die Haut der Handinnenflächen und Fußsohlen mit kleinen leistenartigen Erhebungen der Lederhaut, den Papillen, überzogen ist, zwischen denen feine Rillen verlaufen. Sie bilden sich bereits beim Fötus während des dritten und vierten Schwangerschaftsmonats, wachsen mit dem Körper mit, aber verändern sich nie. Selbst nach Verletzungen bilden sie sich identisch nach oder ergeben charakteristische Narben.

## **Eisenpulver, Goldstaub oder Kurkuma?**

Im Jahr 1897 entwickelte Sir Edward Henry, damals Polizeichef in Bengalen und später Direktor der Londoner Polizei, das bis heute verwendete System zur Klassifizierung von Fingerabdrücken. Es unterteilt die Muster in fünf Kategorien: runder Bogen, spitzer Bogen, radiale Schlinge, tangentielle Schlinge und Spirale.

Zusätzlich betrachten Kriminologen die unterschiedlichen Verzweigungen oder variierenden Enden der Papillar-

linien, die so genannten Minuzien. Sie ergeben zusammen mit dem Grundmuster ein individuelles Bild, das eindeutig einer bestimmten Person zuzuordnen ist. Selbst eineiige Zwillinge haben unterschiedliche Fingerabdrücke. Beim Griff an das frisch gestrichene Verandageländer hinterließ Jennings also in der noch nicht getrockneten Farbe das klar erkennbare Abbild der unverwechselbaren Papillarlينien seiner Hand.

Seit 1910 hat die Daktyloskopie, so der Fachausdruck für die Analyse von Fingerabdrücken, erhebliche Fortschritte gemacht. Schon lange müssen Verbrecher nicht mehr in frische Farbe greifen, um verwendbare Spuren zu hinterlassen. Meist sind die Fingerabdrücke an Tatorten allerdings nicht direkt sichtbar, sondern nur »latent« vorhanden. Durch Talg- und Schweißdrüsen sondert die Haut ein Gemisch aus Wasser, anorganischen Salzen – größtenteils Chloriden – und organischen Bestandteilen wie Fetten, Peptiden, Aminosäuren und Harnstoff ab. Dieses Gemisch überträgt sich bei jedem Kontakt der Finger im Muster der Papillarlينien auf Objekte und hinterlässt so einen unsichtbaren Abdruck. Um ihn zum Vorschein zu bringen und dauerhaft zu bewahren, bedienen sich heutige Kriminologen einer Reihe teils äußerst raffinierter Methoden.

Ein gängiges, aus Kriminalfilmen bekanntes Verfahren ist das Einstäuben von Gegenständen, auf denen sich möglicherweise Fingerabdrücke befinden. Dabei wird feines Pulver – je nach Materialoberfläche etwa aus Eisen, Kupfer(II)-oxid oder Eisen(III)-oxid – sehr vorsichtig mit einem Pinsel aufgetragen. Die Teilchen haften auf Grund





**Fingerabdrücke weisen ein individuelles Muster auf, das sich mit Hilfe von färbenden Pulvern visualisieren lässt. Von links nach rechts: Orangenes Holi-Pulver (UV-beleuchtet) auf einer Spiegelrückseite, Eisenpulver auf Glas und Kurkuma auf Aluminium.**

von Adhäsionskräften an der Feuchtigkeit und den Fettbestandteilen des Fingerabdrucks. Nach dem Entfernen von überschüssigem Pulver bedeckt man das sichtbar gewordene Muster mit einem Streifen Tesafilm, so dass es sich auf ihn überträgt, weil die Staubpartikel daran hängen bleiben. Nach dem Abheben wird der Film zur Aufbewahrung gewöhnlich auf ein Stück Papier geklebt.

### Eine saubere Sache

Das verwendete feine Pulver einzusatmen, ist allerdings potenziell ungesund – ganz abgesehen von dem Aufwand für die anschließende Reinigung des Umfelds. Für eigene Experimente empfiehlt es sich deshalb, stattdessen eine Einstaubkammer zu benutzen, die sich beispielsweise mit einer Tic-Tac-Dose realisieren lässt.

Dazu ersetzen Sie deren Deckel durch eine stabilere, passend zurechtgeschnittene Kunststoffscheibe, die Sie mit drei Löchern versehen. So lassen sich ein Luftballon zum Druckausgleich, eine Krokodilklemme zur Befestigung von Untersuchungsgegenständen oder Objektträgern und eine kleine, hohle Spritze anbringen, auf die über einen Adapter eine weitere Spritze oder ein Pumpball aufgesetzt ist.

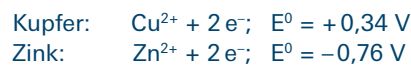
Geben Sie nun zwei bis drei Messerspitzen des gut getrockneten Pulvers (zum Beispiel im Internet erhältliches Holi-Pulver) in die Dose. Um es aufzuwirbeln und gleichmäßig in der Bedampfungskammer zu verteilen, erzeugen Sie anschließend mit der größeren Spritze beziehungsweise dem Pumpball mehrere Luftstöße. Das in die Luft geblasene Pulver bleibt dabei an den Substanzen des Fingerabdrucks auf dem Objektträger haften. Mit dieser Apparatur lassen sich latente Fingerabdrücke sehr schnell, sauber und ungefährlich visualisieren – und das auf so gut wie allen Materialien (Bild 1). Sie ist deshalb hervorragend für den Einsatz zu Hause geeignet.

Doch nicht nur am Tatort, sondern auch an Diebesgut und Tatwaffen sichern Kriminologen Fingerabdrücke standardmäßig. Da Gewehre und Messer meist aus Eisen oder Stahl bestehen, spielt das Abnehmen latenter Fingerabdrücke auf Metallen bei der Aufklärung von Gewaltverbrechen

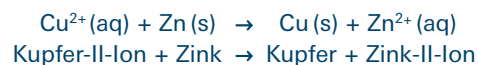
eine große Rolle. Außer der bereits geschilderten Methode bietet sich dazu insbesondere die Elektrochemie an.

Dabei macht man sich zu Nutze, dass Metalle und ihre Salze unterschiedlich stark bestrebt sind, Elektronen aufzunehmen (Reduktion) oder abzugeben (Oxidation). Als Maß dafür dient das Standardpotenzial  $E^0$ . Nach dessen Wert sind alle Stoffe in der elektrochemischen Spannungsreihe geordnet. Je positiver das Standardpotenzial einer Substanz, desto begieriger nimmt sie Elektronen auf und lässt sich reduzieren. Je niedriger es dagegen ist, desto leichter gibt sie Elektronen ab und wird oxidiert. Metalle sind umso edler, je höher ihr Standardpotenzial ist.

Die elektrochemische Spannungsreihe ermöglicht es, vorherzusagen, ob eine chemische Reaktion zwischen zwei Stoffen spontan stattfindet oder nicht. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen:

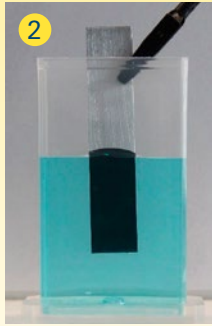


Das edlere Kupfer hat mit einem Standardpotenzial von +0,34 Volt eine geringere Neigung, Elektronen abzugeben, als das unedlere Zink mit seinem deutlich negativeren  $E^0$  von -0,76 Volt. Analog sind zweifach positiv geladene Ionen von Kupfer stärker bestrebt, Elektronen aufzunehmen, als die entsprechenden Zinkteilchen. Die Reaktion von Kupfer-II-Ionen mit Zink läuft deshalb gemäß der folgenden Gleichung freiwillig ab (die Symbole (aq) und (s) stehen für in Wasser gelöst beziehungsweise fest):

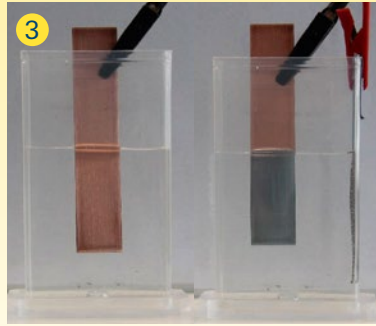


Demnach scheidet sich auf einem Zinkblech, das in die Lösung eines Kupfer-II-Salzes (etwa Kupfersulfat,  $\text{CuSO}_4$ ) gehalten wird, sofort Kupfer in Form eines dunklen Überzugs ab (Bild 2, S. 46). Chemiker sprechen von einer Zementationsreaktion.

Beim Eintauchen eines Kupferblechs in eine Zinksulfat-Lösung passiert dagegen in Einklang mit der Theorie



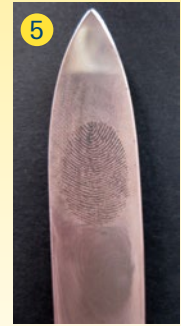
**2:** Beim Eintauchen in eine zweiprozentige Kupfersulfat-Lösung überzieht sich ein Zinkblech mit einer dunklen Kupferschicht.



**3:** Ein Kupferblech zeigt beim Eintauchen in eine Zinksulfat-Lösung dagegen keinerlei Reaktion (links). Erst nach Anlegen einer elektrischen Spannung scheidet sich Zink darauf ab (rechts).



**4:** Ein Fingerabdruck auf einem Zinkblech wird nach dem Eintauchen in eine Kupfersulfat-Lösung sichtbar, weil sich nur in den Papillarrillen dunkles Kupfer abscheidet (links). Auf einem Kupferblech wiederum lassen sich Fingerabdrücke mit einer Zink-Elektrolyse zum Vorschein bringen (rechts).



**5:** Die Elektrolyse in einer Kupfersulfat-Lösung macht Fingerabdrücke auf Messerklingen aus Stahl sichtbar.

2 - 3 + 5: ANNIKA ERZGÜNDENIS LUKE; PH. FREIBURG; 4: RACHEL FISCHER; PH. FREIBURG; ALLE MIT FRIOL GEN. VON ISABEL RÜDNER

nichts (Bild 3 links). Erst durch Anlegen einer elektrischen Spannung – in diesem Fall drei Volt – lässt sich die sonst nicht ablaufende Reduktion des unedleren Metalls erzwingen: Nach einigen Sekunden überzieht sich das Kupferblech mit silberfarbener Zink (Bild 3 rechts). Eine solche mit elektrischem Strom herbeigeführte Reaktion bezeichnen Chemiker als Elektrolyse. Dieser historische Begriff rührt daher, dass bei dem Vorgang in manchen Fällen – etwa bei der Elektrolyse von Wasser – ein Stoff in seine Bestandteile zerlegt oder »aufgelöst« wird.

### Die Spannung steigt

Aber was haben Zementation und Elektrolyse mit Fingerabdrücken zu tun? Ein einfaches Experiment macht das klar. Dazu entfetten Sie ein Zinkblech mit Alkohol und versehen es vorsichtig mit einem Fingerabdruck. Dann tauchen Sie es für wenige Sekunden in eine zweiprozentige Kupfersulfat-Lösung ( $\text{CuSO}_4$  ist im Internet erhältlich).

Erneut scheidet sich fast augenblicklich dunkles Kupfer ab. Der Fingerabdruck bleibt jedoch silberfarben und ist nun gut zu erkennen (Bild 4 links). Umgekehrt ergibt die elektrolytische Abscheidung von Zink auf Kupfer einen Negativabdruck aus silbernem Zink beziehungsweise einen Positivabdruck des kupferfarbenen Grundmetalls (Bild 4 rechts).

Wie lässt sich das erklären? In beiden Fällen kann die Abscheidung nur stattfinden, wenn gelöstes Metallsalz und Metall direkt miteinander in Kontakt kommen. Die fettigen Komponenten des Fingerabdrucks verhindern jedoch genau das. Infolgedessen scheidet sich das reduzierte Metall nur dort ab, wo diese Fettanhaftungen nicht vorhanden sind, nämlich im Muster der Papillarrillen (Bild 6).

Für jedes Metall, auf dem ein Fingerabdruck sichtbar gemacht werden soll, gelten spezielle Versuchsbedingungen, was die Elektrolytlösung, die anzulegende Spannung und die Reaktionsdauer betrifft. Sie sind präzise

**6**

Beim Berühren einer Oberfläche (grau) mit dem Finger hinterlassen die Papillarleisten darauf Fettspuren (blau). An diesen Stellen kann sich deshalb bei elektrochemischen Reaktionen kein Metall (Me, orange) abscheiden (links). Dieses lagert sich folglich nur in den Bereichen dazwischen

an, die den Papillarrillen entsprechen (Mitte). Dadurch kommt der Fingerabdruck zum Vorschein. Allerdings muss die elektrochemische Reaktion rechtzeitig abgebrochen werden. Sonst überdeckt das Metall auch die Fettspuren, und der Fingerabdruck bleibt für immer unsichtbar (rechts).



MIT FRIOL GEN. VON ISABEL RÜDNER UND MARGO OETIKEN



einzuhalten, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Anderenfalls – so etwa bei zu langen Elektrolysezeiten – kann es zu Überlagerungen kommen, die sich nicht wieder rückgängig machen lassen. Der Fingerabdruck bleibt dann für immer unter dem abgeschiedenen Metall verborgen.

#### Auf Messers Schneide

Um das Prinzip zu verdeutlichen, haben wir Zink und Kupfer für unsere Versuche herangezogen, die an Tatorten jedoch eher selten vorkommen. Häufiger benutzt ein Verbrecher zum Beispiel ein Messer aus Stahl, einer Legierung, die zum größten Teil aus Eisen besteht. Dieses ist wie Zink unedler als Kupfer. Um einen Fingerabdruck auf einem Messer sichtbar zu machen, tauchen Sie es deshalb einfach in eine zwei-prozentige Kupfersulfat-Lösung. Anschließend elektrolysieren Sie es 60 Sekunden lang bei 2,3 Volt – was zwar eigentlich unnötig ist, aber bessere Ergebnisse liefert. Durch die Behandlung bildet sich ein kupferfarbener Überzug auf der Messerklinge. Nur die Stellen, wo die Papillen Fettspuren hinterlassen haben, bleiben frei, so dass hier der Stahl hindurchschimmert. Deshalb tritt der Fingerabdruck deutlich hervor (Bild 5). Im Ernstfall wäre der Täter so überführt.

In der Online-Ergänzung zu diesem Artikel sind weitere Varianten der elektrochemischen Visualisierung latenter Fingerabdrücke aufgeführt. Sie alle wurden im Rahmen eines fachwissenschaftlichen Seminars in der Abteilung

Chemie der Pädagogischen Hochschule Freiburg erarbeitet. Wichtige Beiträge leisteten dabei auch die Studierenden Annika Erzig und Dennis Lücke.

Die Elektrochemie gilt oft als eher trockenes Teilgebiet der Chemie. Dass sie einen Beitrag zur Aufklärung von Verbrechen leisten kann, indem sie Möglichkeiten eröffnet, verborgene Fingerabdrücke zum Vorschein zu bringen, lässt sie auf einmal in einem ganz neuen, spannenden Licht erscheinen. ◀

#### QUELLEN

**Almog, J.:** Fingerprints (Dactyloscopy): Visualization. In: Siegel, J. A., Saukko, P. J. (Hg.): Encyclopedia of Forensic Sciences. Academic Press, San Diego 2000, S. 890–900

**Bader, H. J., Rothweil, M.:** Forensische Chemie – Aufklärung von Verbrechen mit chemischen Methoden. In: CHEMKON 10, S. 181–186, 2003

**Lipscher, J. et al.:** Chemie und Verbrechen. Kriminalistik im gymnasialen Chemieunterricht. In: Chemie in unserer Zeit 32, S. 143–149, 1998

**Qin, G. et al.:** Visualizing Latent Fingerprints by Electrodeposition of Metal Nanoparticles. In: Journal of Electroanalytical Chemistry 693, S. 122–126, 2013

**Zhang, M. et al.:** Latent Fingerprint Enhancement on Conductive Substrates Using Electrodeposition of Copper. In: Science China Chemistry 58, S. 1200–1205, 2015

ANZEIGE

**200+ Speakers**  
**50+ Events**  
**7+ Days**  
**+1 City**



Kindly supported by:

The Governing Mayor of Berlin  
Senate Chancellery  
Higher Education and Research



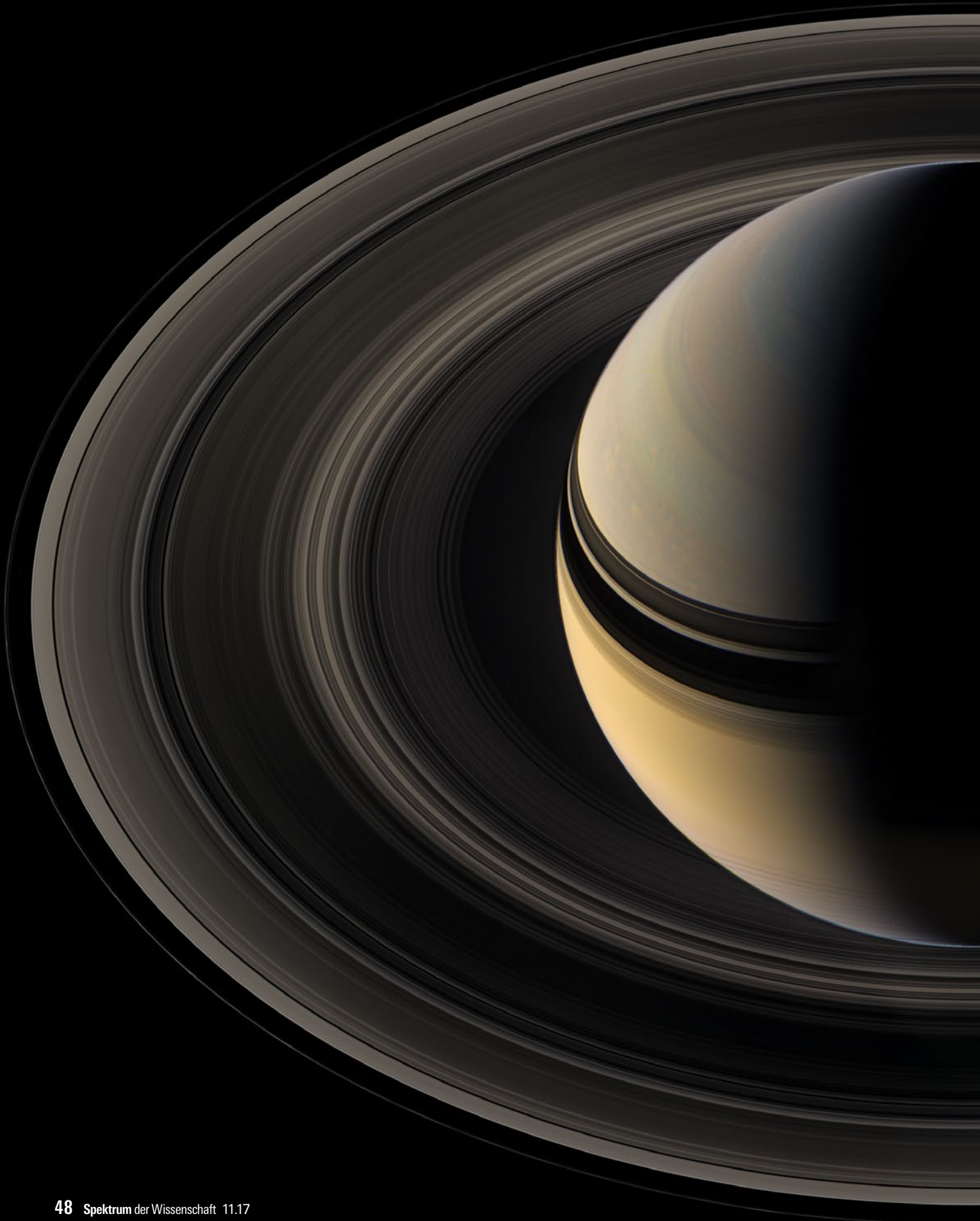
Brain City



Media Partners:



and coordinated by the Falling Walls Foundation.





# SONNENSYSTEM ABSCHIEDSGRÜSSE VOM SATURN

Die Raumsonde Cassini ist am 15. September 2017 planmäßig auf den Saturn gestürzt. Bis dahin hatte die Mission mehr als ein Jahrzehnt lang einzigartige Aufnahmen und Daten vom Ringplaneten übertragen. Damit hat sie unser Bild von dem Gasriesen und seinen Begleitern revolutioniert.

» [spektrum.de/artikel/1505993](http://spektrum.de/artikel/1505993)



**Carolyn Porco** ist Planetologin am Space Science Institute in Boulder, Colorado. Sie war als Leiterin des Imaging Science Teams der Cassini-Huygens-Mission für die Kamera der Raumsonde Cassini verantwortlich.

Am 15. September 2017 hat die Raumsonde Cassini ihren Umlauf um Saturn planmäßig beendet. Sie stürzte in die Atmosphäre des Gasplaneten, aus dessen Orbit sie 13 Jahre lang Ehrfurcht gebietende, detailreiche und geradezu intime Bilder geschickt hat. Dieses kontrollierte Ende war nötig, um jedes Risiko einer Kollision mit einem der Saturnmonde auszuschließen; in naher Zukunft hätte sich die Sonde wegen zur Neige gehender Treibstoffvorräte nicht mehr steuern lassen.

Meine Kollegen und ich haben seit 1990 an der Mission mitgewirkt. Als Leiterin des für die Kamera verantwortlichen Teams begleitete ich Cassini durch die Planung und den Bau und war schließlich beim Start am 15. Oktober 1997 in Cape Canaveral in Florida dabei. Sieben Jahre später verfolgte ich gebannt, wie wir am Ziel ankamen. Nach all den Jahren des Wartens begann in diesem Augenblick eine neue Ära der Planetenforschung.

Keine Raumsonde hat jemals aus solcher Nähe und über einen so langen Zeitraum ein so vielfältiges System wie dasjenige des Planeten Saturn erkundet. Auf seinem Eismond Titan entdeckten wir Seen aus Kohlenwasserstoffmolekülen und Umweltprozesse von vergleichbarer Komplexität wie auf der Erde. Wir haben verfolgt, wie in Saturns Atmosphäre gewaltige Stürme ausbrachen und wieder abflauten. In seinen Ringen konnten wir bis dahin nie gesehene Vorgänge untersuchen. Wir kartografierten die formenreichen Landschaften seiner Monde, entdeckten neue Begleiter und bizarre Objekte innerhalb der Ringe selbst. Und uns gelang nicht zuletzt der meiner Meinung

nach bemerkenswerteste Fund: Am Südpol des Mondes Enceladus sprühen mehr als 100 Fontänen aus einem im Untergrund verborgenen Ozean, der vielleicht sogar lebensfreundliche Bedingungen bieten könnte (siehe **Spektrum** Juni 2015, S. 32). Die Geschichte Cassinis ist die einer einträglichen Expedition ins äußere Sonnensystem – eine Geschichte, die nun endgültig vorbei ist.

### Wie eine Miniaturausgabe des frühen Sonnensystems

Astronomen meldeten erstmals in den 1980er Jahren Bedarf an einer umfassenden Untersuchung des Saturnsystems an. Da waren nämlich gerade die beiden Raumsonden der Voyager-Mission auf ihrem Weg ins äußere Sonnensystem (siehe **Spektrum** November 2016, S. 46) an dem Planeten und seinen Monden vorbeigeflogen und hatten erste interessante Erkenntnisse gebracht, letztlich aber vor allem mehr neue Fragen aufgeworfen. Die Daten legten die Komplexität von Saturns Innenleben, seiner Atmosphäre und seines Magnetfelds offen. In der gigantischen Eis- und Staubscheibe seiner Ringe waren ansatzweise die gleichen Prozesse der Strukturbildung zu erkennen, die wahrscheinlich unser Sonnensystem entstehen ließen und Planeten um ferne Sterne formen. Voyager entdeckte Hinweise auf dynamische Vorgänge auf zahlreichen Saturnmonden; die Oberfläche des größten Trabanten, Titan, blieb allerdings unter einer dichten Atmosphäre verborgen. All diese Phänomene erschienen vielen Astronomen als ideale Ziele für eine neue Mission, die hier gleich mehrere Schlüsselprozesse des Sonnensystems aus der Nähe untersuchen könnte.

Cassini war von Anfang an ein internationales Projekt, bei dem die Partner der US-Raumfahrtbehörde NASA und der europäischen Raumfahrtagentur ESA das Voyager-Programm in allen Aspekten deutlich übertreffen wollten. Das gelang nicht nur bei der Größe des Gefährts, sondern auch bei dessen Ausstattung. Sie umfasste die bis dahin modernsten jemals ins äußere Sonnensystem geschossenen Geräte sowie die vier Meter große, aerodynamisch optimierte Landesonde Huygens, die mitsamt sechs wissenschaftlichen Instrumenten an Bord in die Atmosphäre des Mondes Titan eintauchen sollte.

Nach seiner Reise durch das innere Sonnensystem erreichte Cassini am 1. Juli 2004 den Saturn und trat in eine Serie von Umlaufbahnen ein, die auf den ersten Blick verworren wirken, tatsächlich aber höchst präzise berechnet waren (siehe S. 53 oben). Damit wir das System unter möglichst unterschiedlichen Blickwinkeln, Lichtverhältnissen und Abständen betrachten konnten, führten wir Cassini mal enger, mal weiter sowie in verschiedenen Bahnneigungen um den Planeten. Manchmal entdeckten wir etwas besonders Spannendes und änderten bestehende Pläne, um die Kamera der Sonde noch ein weiteres Mal – und manchmal viele Male – auf dieselbe Stelle auszurichten.

Die Länge der Mission war von entscheidender Bedeutung für ihren Erfolg. Einerseits stiegen so die Chancen, Zeugen zufälliger Ereignisse wie Kollisionen in den Ringen zu werden. Andererseits konnten wir nur so die jahreszeitlichen Änderungen verfolgen, die sich durch die wechsell-

## AUF EINEN BLICK ENDE EINER ENTDECKUNGSREISE

- 1 Nach 13 Jahren im Orbit um den Planeten Saturn ist die Raumsonde Cassini am 15. September 2017 planmäßig in dessen Atmosphäre gestürzt.
- 2 Das Manöver sollte angesichts schwindender Treibstoffvorräte und drohender Manövrierunfähigkeit verhindern, dass die Eismonde im Fall einer Kollision mit irdischen Mikroben verunreinigt werden.
- 3 Die Mission gilt als eine der erfolg- und ertragreichsten in der Geschichte der unbemannten Raumfahrt. Astrobiologen mussten sogar ihre Vorstellung über mögliche Orte für extraterrestrisches Leben erweitern.



de Beleuchtung während der Bahnbewegungen des Planeten und seiner Monde ergaben – ein Jahr auf Saturn entspricht 29,5 irdischen. Die Primärmission von Cassini dauerte nur vier Jahre, doch die bis 2008 erzielten Erfolge sowie der zweifellos enorme Wert einer weiterhin voll funktionsfähigen und höchst produktiven Raumsonde im Orbit erleichterten es uns, mehrere Verlängerungen durchzusetzen. Ein erster Lohn war die Tag-und-Nacht-Gleiche im August 2009: Wir wurden Zeugen, wie das Licht der Sonne genau parallel über die Ebene der Ringe streifte und jede Erhebung darauf lange und deutlich erkennbare Schatten warf (siehe Bild S. 54).

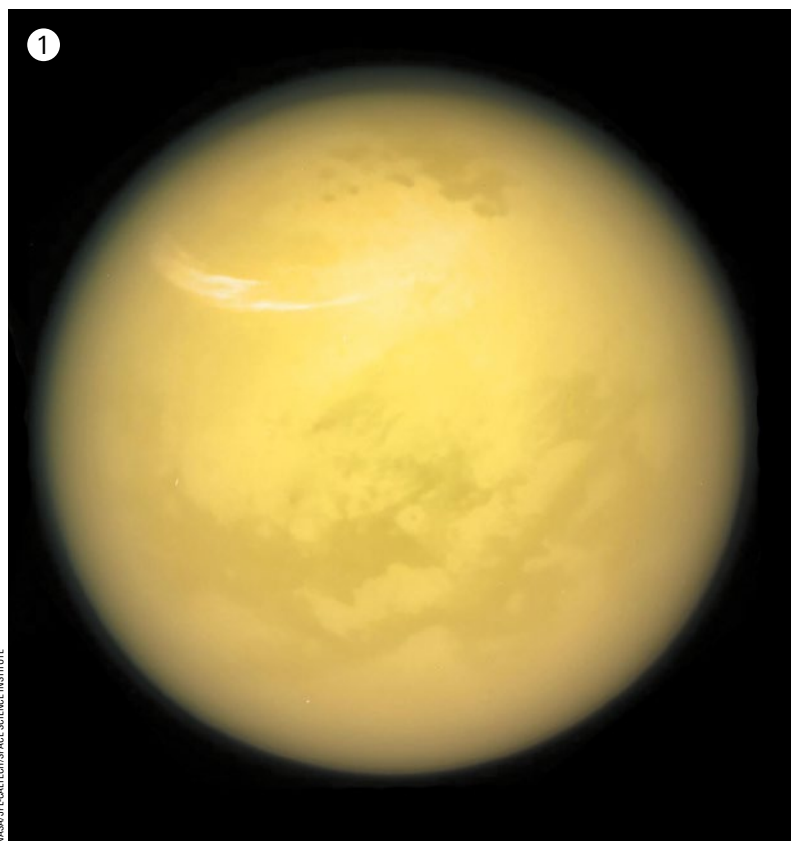
Insgesamt blieb Cassini beinahe ein halbes Saturnjahr im Orbit. Die Raumsonde erreichte den Planeten in dessen spätem Südsommer und beendete ihre Arbeit im Nord-sommer. Wir konnten also fast alle Jahreszeiten beobachten, freilich nicht auf der gleichen Halbkugel: Wir verfolgten anhand der südlichen Hemisphären von Saturn und Titan, wie diese Welten vom Sommer in den Winter übergingen, und auf den nördlichen Hemisphären die Veränderungen zwischen Winter und Sommer.

### Saturns Monde – spannende Welten statt öder Eisklumpen

Bis zum Beginn des Raumfahrtzeitalters dachten Wissenschaftler noch, die Monde im äußeren Sonnensystem wären geologisch betrachtet tote, öde Eisklumpen. Seit Voyager war klar, dass es sich dabei um einen gewaltigen Irrtum handelte; die Cassini-Mission sollte nun dabei helfen, die Entstehungsgeschichte der unterschätzten Trabanten aufzuklären.

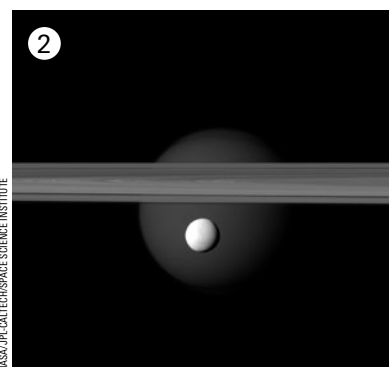
Im Fall des Mondes Iapetus war dessen Zweiteilung lange ein Rätsel: eine Hälfte von ihm schien weiß wie Schnee, die andere tiefschwarz. Cassinis hochauflösende Bilder und seine Temperaturmessungen enthüllten, dass der Mond sogar auf kleineren Skalen schwarz-weiß gescheckt ist, und lieferten zugleich eine mögliche Erklärung. Offenbar handelt es sich um einen selbst verstärkenden Prozess, der so nur auf dem langsam rotierenden Mond auftritt. Anfangs etwas dunklere Regionen heizen sich durch die höhere Lichtabsorption auf, verdampfen Eis und werden dadurch immer dunkler und heißer. Hellere Bereiche hingegen kühlen aus und fangen das sublimierte Eis wieder ein, was sie noch heller macht. Aber wie konnte sich diese Zweiteilung über eine ganze Hemisphäre erstrecken? Während Iapetus Saturn umkreist, durchkreuzt er Regionen mit dunklem, fein verteiltem Material, das von einem weiter entfernten, irregulären Satelliten namens Phoebe stammt. Die in Iapetus' Bewegungsrichtung gelegene Mondhälfte sammelt diesen Staub ein und wird dadurch dunkler, wärmer und eisfrei. Rätsel gelöst.

Ein weiterer bemerkenswerter Mond ist Titan. Die Kameras von Cassini waren dafür ausgelegt, im sichtbaren und nahinfraroten Spektralbereich möglichst tief in den Dunst der Atmosphäre zu blicken; insbesondere das Radarinstrument konnte diese Schicht gut durchdringen. Dazu kam die Sonde Huygens, die während ihres Abstiegs 2005 ganze zweieinhalb Stunden lang Panoramabilder aufnahm, die Atmosphärenzusammensetzung vermaß und



NASA/JPL/CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

**Titan ist Saturns größter Mond und besitzt eine dichte, im optischen Spektralbereich praktisch undurchsichtige Atmosphäre. Erst wenn man Infrarotaufnahmen hinzunimmt, lassen sich Strukturen erkennen (1). Eine Aufnahme, auf der Titan hinter dem rund zehnmal kleineren Mond Enceladus sowie einigen der Saturnringe zu sehen ist, vermittelt einen Eindruck von seiner Ausdehnung (2).**



NASA/JPL/CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Wind- und Temperaturdaten aufzeichnete, bevor sie schließlich auf dem Boden landete. Die Welt wirkte wie aus einem Sciencefiction-Roman: Zwar sahen die Landschaften und die Strömungen und Schichtungen der Atmosphäre irgendwie vertraut aus, sie bestehen aber aus ganz anderen Substanzen als ihre irdische Entsprechung.

Wie wir herausfanden, enthalten die Seen auf Titan kein Wasser, sondern flüssiges Methan. Am Südpol des Monds sichtete die hochauflösende Kamera von Cassini ein solches Reservoir etwa vom Ausmaß des amerikanischen Lake Ontario. Weitere Instrumente bestätigten, dass der (deswegen Ontario Lacus genannte) See tatsächlich mit Methan gefüllt ist. Wir haben noch weitere solcher Seen von sehr unterschiedlicher Größe gefunden, von denen die meisten in den nördlichen Breiten vorkommen. Radarbilder enthüllten zerklüftete Küstenlinien, die aber nicht aus Felsen bestehen, sondern aus steinhartem Eis. Huygens

# 13 JAHRE BEI SATURN

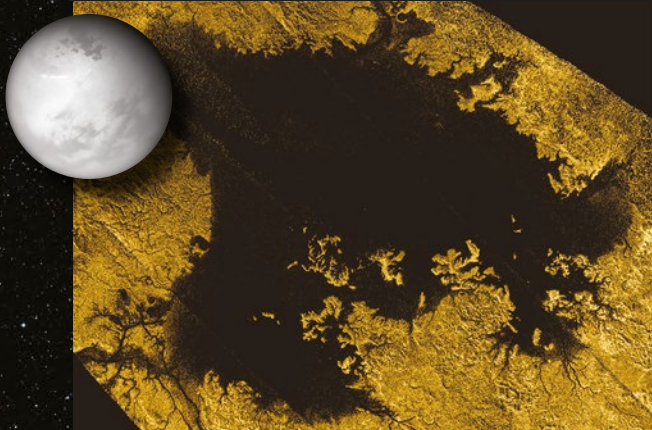
Als die Treibstoffvorräte nach 13 Jahren und verschiedensten Manövern und Umlaufbahnen um Saturn zur Neige gingen, steuerten die Missionskontrolleure die Raumsonde Cassini in die Atmosphäre des Gasplaneten, wo sie verglühte. Bis zuletzt registrierte sie Messwerte, die zu dem reichen Fundus an Entdeckungen beitragen werden. Hier sind einige ausgewählte Höhepunkte der Mission.

## Monde



### ENCELADUS

Am Südpol dieses Mondes sprühen aus einer dicken Eisdecke imposante Wasserfontänen (hier eine Illustration). Sie stammen wohl aus einem warmen, unterirdischen Ozean. Dieser enthält organische Verbindungen und könnte sogar Leben beherbergen.



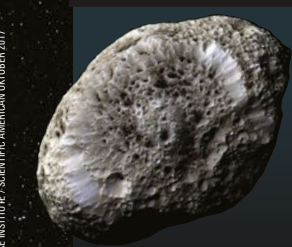
### TITAN

Der größte Mond Saturns ist neben der Erde der einzige Himmelskörper im Sonnensystem, an dessen Oberfläche sich stabile Flüssigkeiten befinden. Rein äußerlich sind die geologischen Prozesse den irdischen verblüffend ähnlich – es gibt Regen, Seen und Gebirge. Bei den Materialien handelt es sich allerdings um fließendes Methan und Ethan sowie um festes Eis.



### IAPETUS

Das schwarz-weiße Erscheinungsbild des Mondes war lange ein Rätsel. Mit Cassini gelang die Lösung: Er sammelt dunklen Staub entlang seiner Bahn ein. Aufheizungs- und Abkühlungsprozesse sorgen für helle und dunkle Bereiche.

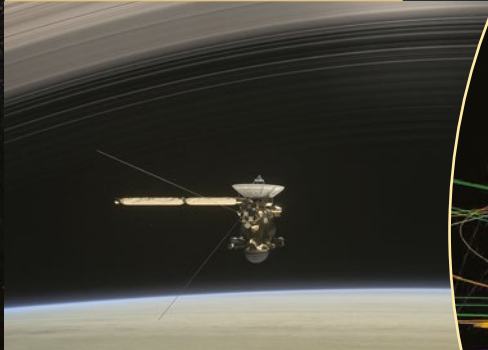


### HYPERION

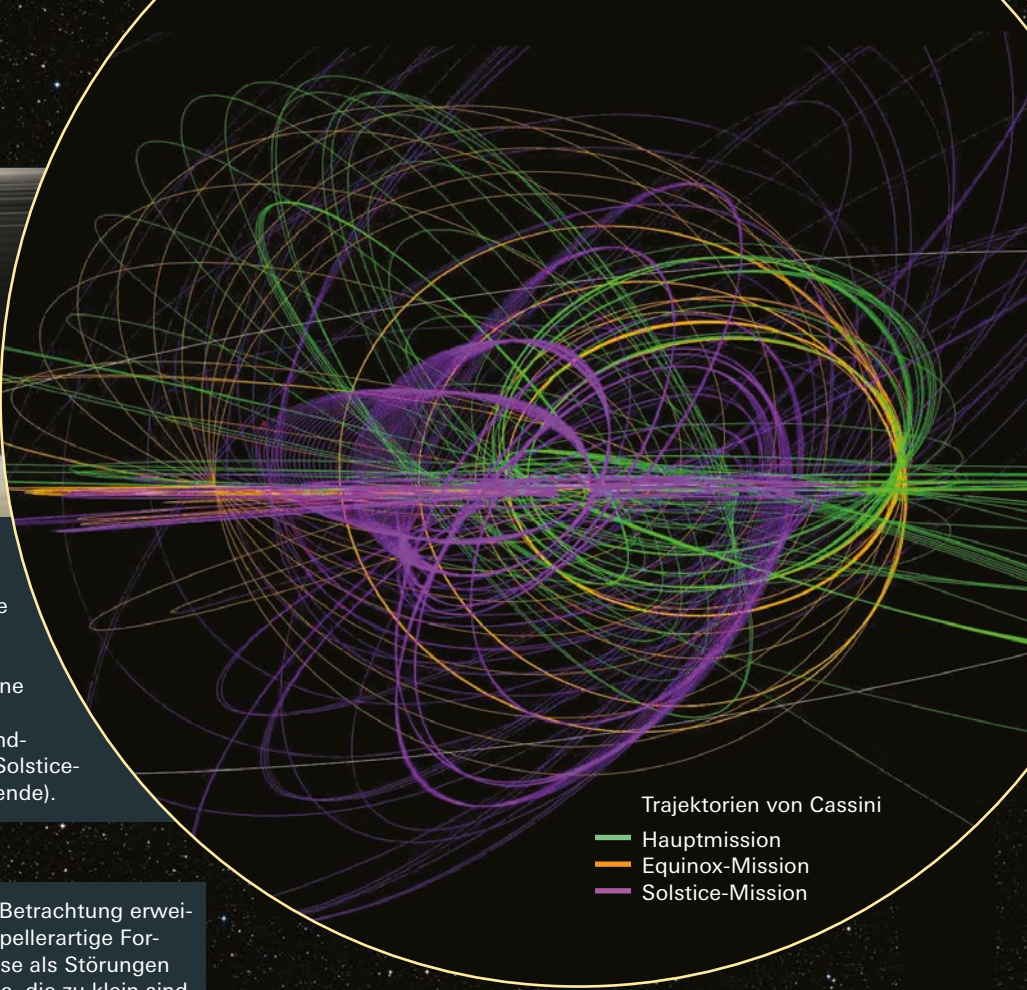
Der kartoffelförmige, kleine Mond ist durchlöchert wie ein Schwamm. Er hat eine ungewöhnlich geringe Dichte, so dass viele Meteoriten keine breiten Kratertrichter schlagen, sondern regelrechte Einschusslöcher hinterlassen.



## Die Bahnen der Raumsonde



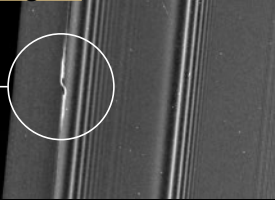
Cassini trat am 1. Juli 2004 in eine Umlaufbahn um Saturn ein. Seitdem hat die Sonde den Planeten 293-mal umkreist. Die Orbits unterschieden sich teilweise erheblich, um diverse Phänomene optimal zu untersuchen. Nach der Hauptmission (grüne Trajektorie) begann 2008 die zweijährige Equinox-Mission (gelb, englisch für Tag-und-Nacht-Gleiche), worauf die siebenjährige Solstice-Mission folgte (lila, englisch für Sonnenwende).



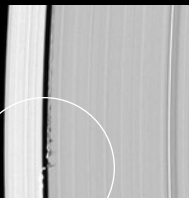
Trajektorien von Cassini

- Hauptmission
- Equinox-Mission
- Solstice-Mission

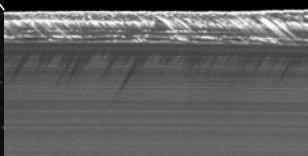
## Ringe



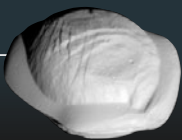
Bei näherer Betrachtung erweisen sich propellerartige Formen wie diese als Störungen durch Monde, die zu klein sind, um ihre gesamte Umgebung von Staub zu befreien.



Der kleine Mond Daphnis ist hier als winziger Punkt zwischen den Ringen zu erkennen. Während er durch die Lücke läuft, hinterlässt seine Schwerkraftwirkung Wellen am Rand.



Mehrere Kilometer hohe Spitzen am Rand des B-Rings werfen lange Schatten und erstrecken sich über 20 000 Kilometer Länge.



Der 30 Kilometer breite Mond Pan erhält sein bizarres Aussehen von Ringmaterial, das er aus der Umgebung aufliest.

## Atmosphäre

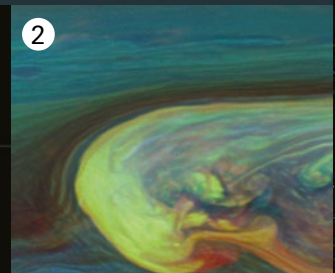
### SUPERSTURM

2010 frischte in den Wolken Saturns plötzlich ein Sturm auf und breitete sich innerhalb weniger Monate um den ganzen Planeten aus (1; Falschfarbenbild, Detail: 2).

1



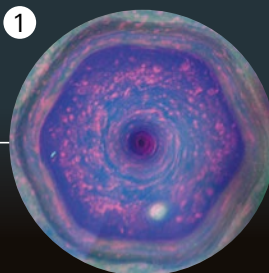
2



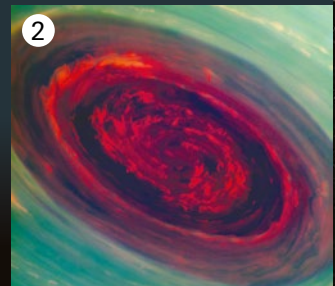
### POLARWIRBEL

Am Nordpol des Saturn ordnen sich die Wolkenströme in Form eines gigantischen Hexagons (1). Im Zentrum befindet sich ein Wirbelsturm (2), dessen Auge erstaunliche 2000 Kilometer Durchmesser hat.

1

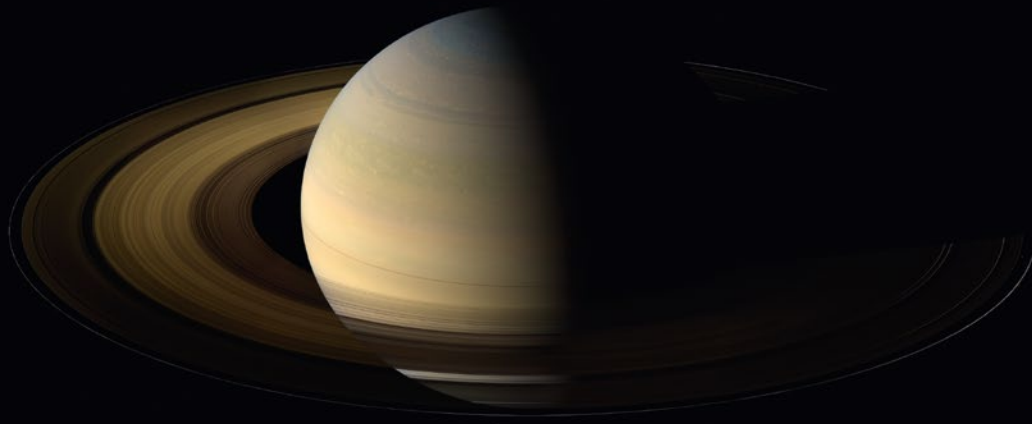


2



ALLE ABBILDUNGEN: NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE





Bei der Tag-und-Nacht-Gleiche 2009 streifte das Licht der Sonne genau die Ebene der Ringe. So wurden durch lange Schatten kleinste Erhebungen sichtbar (S. 53 Mitte). Die Ringe des Saturn bestehen aus winzigen Eisbrocken, Staub und Gestein. Die Lücken entstehen durch die Schwerkraftwirkung einiger großer und vieler kleiner Monde.

NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

war dagegen auf einer der am Äquator gelegenen Ebenen gelandet. Sie sind eher trocken und mit Dünen aus herabgeregnetem organischen Material bedeckt, werden gelegentlich von Hochebenen unterbrochen und erstrecken sich einmal um den ganzen Mond. Die mit flüssigen organischen Substanzen gefüllten Seen boten viel Anlass zu Spekulationen über mögliches Leben darin. Allerdings ist die Oberfläche minus 180 Grad Celsius kalt. Ähnliche Reaktionen, wie sie für ein uns bekanntes Leben nötig sind, finden unter solchen Bedingungen wohl kaum statt.

Die meiner Ansicht nach größte Entdeckung gelang jedoch auf einem zehnmal kleineren Eismond: Enceladus. Bereits die Voyager-Mission brachte faszinierende Bilder, die sehr ebene Bereiche auf der Oberfläche offenbarten und auf Vorgänge im Inneren schließen ließen, möglicherweise sogar auf flüssiges Wasser unter der Eiskruste. Das hatten Astronomen bei einem so kleinen Mond nicht erwartet.

Cassini lieferte die ersten Anzeichen für eine solche Aktivität bereits im Januar 2005. Wir sahen eine Fontäne von Eisparkeln am Südpol – und nicht nur wir, sondern die ganze Welt, da alle Bilder sofort für die Öffentlichkeit verfügbar waren. Im Internet machte sich Aufregung breit. Kurz darauf bestätigten Messdaten von anderen Instrumenten, dass es sich um ein reales Phänomen handelte. Die Missionsplaner machten sich umgehend daran, die Umlaufbahnen der Sonde anzupassen, um das näher zu betrachten. Diese ersten Beobachtungen waren verblüffend, doch erst die Verlängerung der Mission 2008 erlaubte es uns, den Vorgängen mehr Zeit und Ressourcen zu widmen.

Enceladus präsentierte sich als Mond, den die starke Anziehung seines Planeten regelrecht durchknetet. Diese Gezeitenkräfte erzeugen eine enorme Wärme im Inneren, genug, um einen bis zu 50 Kilometer tiefen Ozean unter dem wenige Kilometer dicken Eis der Oberfläche flüssig zu halten. Mehr als 100 Geysire schießen aus Rissen am Südpol und schleudern Eis und Dampf hunderte Kilometer in die Höhe. Der Großteil davon fällt wieder zurück auf Enceladus, doch etwas Material entkommt und erzeugt den diffusen, aber ausgedehnten so genannten E-Ring Saturns. Cassini ist einige Male durch diese Dämpfe geflogen und

hat ihre Zusammensetzung analysiert. Die Tröpfchen enthielten komplexe organische Moleküle und andere Verbindungen, die insgesamt frappierend hydrothermalen Tiefseequellen auf der Erde ähnelten. Auch der Salzgehalt schien irdischen Verhältnissen zu entsprechen. Im Dampf fanden sich einfachere organische Verbindungen, Kohlenstoffdioxid und Ammoniak.

Nun war offensichtlich: Unter der Oberfläche von Enceladus herrschen die richtigen Bedingungen und sind alle Zutaten vorhanden, um Leben aufrechterhalten oder möglicherweise sogar aufkommen zu lassen. Auf keinem anderen Himmelskörper passen nach aktuellem Wissensstand alle Umstände besser zusammen als hier, um einige der bedeutendsten Fragen der Astrobiologie zu beantworten. Ist ein zweites Mal in unserem Sonnensystem Leben entstanden? Lässt es sich in den Fontänen nachweisen? Einige meiner Kollegen sind davon so fasziniert, dass sie bereits Missionen planen, um dem nachzugehen.

### Überwältigend komplexe Wechselspiele: Saturns Ringe

Das, was Saturn berühmt gemacht hat, sind freilich seine imposanten Ringe. Ein Hauptziel der Cassini-Mission war, ihre Entstehungsgeschichte, ihren Aufbau und die dynamischen Vorgänge darin zu verstehen. Solche Ringe sind ein natürliches Endprodukt beim Kollaps einer rotierenden Staubwolke. Somit sind sie zugleich ein gutes Modell für die Entstehung von Planetensystemen auf größeren Skalen.

Infolge der Messungen mit Cassini konnten wir verstehen, wie es zu den meisten der Strukturen gekommen ist. An einigen Stellen beeinflusst der Gravitationseinfluss eines der weiter außen gelegenen Monde die Umlaufbahnen der Staubteilchen und regt beispielsweise wellenförmige Störungen an, die sich in Spiralmustern ausbreiten. In anderen Regionen befinden sich Monde innerhalb der Ringe, was für interessante Effekte sorgt. So trägt der nur 30 Kilometer große Mond Pan entlang des Äquators eine Art Halskrause aus Material, das er unterwegs aufließt.

Dort, wo in den Ringen eine besonders hohe Dichte herrscht, haben wir Wellen mit Längen zwischen 100 Me-

tern und hunderten Kilometern entdeckt. Sie entstehen durch kleine Störungen, werden von abrupten Unterschieden in der Staubkonzentration zurückgeworfen und interferieren dadurch miteinander, was für eine auf den ersten Blick chaotische Gestalt sorgt. Unser Verständnis von den Vorgängen umfasst nun auch Prozesse, die mein Kollege Mark Marley von der NASA und ich bereits 1993 vorhergesagt haben: Akustische Oszillationen auf Saturn wirken sich auf die Struktur der Ringe aus. Diese sind somit eine Art riesiger Seismograf.

Die Tag-und-Nacht-Gleiche 2009 hielt für uns die meisten Überraschungen bereit. Entlang der Außengrenze des massereichsten B-Rings fanden wir eine 20 000 Kilometer lange Reihe von spitz zulaufenden Schatten, durch die sich eine Art Bergkette verriet – Wellen von Staubteilchen, die bis zu drei Kilometer hoch aus der Ringebene herausragten. Sie entstehen möglicherweise durch die extreme Kompression von Material in der Umgebung sehr kleiner Trabanten am Rand der Ringe – analog zu irdischen Wasserwellen, die auf eine Steilküste prallen und in die Höhe schießen.

Außerdem fanden wir ein sehr subtiles Spiralmuster, das sich ohne Unterbrechung 19 000 Kilometer weit quer durch die inneren C- und D-Ringe erstreckte. Durch hartnäckige Detektivarbeit erklärte ein Team um Matt Hedman, der nun an der University of Idaho forscht, dieses Phänomen schließlich mit Einschlägen von Material aus einem Kometen. Sie fanden vermutlich im Jahr 1983 statt. Dieses Ereignis brachte alle Ringteilchen in der Impaktregion in leicht geneigte Umlaufbahnen und führte zu Taumelbewegungen, deren Wechselspiel im Lauf der Jahre ein Riffelmuster erzeugt hat. Das alles existierte zum Zeitpunkt des Vorbeiflugs der Voyager-Sonden noch nicht. Die Entstehung und Verwandlung solcher Strukturen verdeutlichen nicht nur, auf welcher faszinierenden Weise sich Saturns Ringsystem in kleinen Zeiträumen verändern kann, sondern führt uns zugleich die unvorstellbare Dynamik und Komplexität des gesamten Sonnensystems vor Augen, das ja den gleichen Gravitationsgesetzen gehorcht, lediglich auf anderen Zeit- und Größenskalen.

### **Eine stürmische Atmosphäre zwischen stabilen Mustern und plötzlichem Wandel**

Auch in der Atmosphäre des Saturn deckte Cassini einige unerwartete Vorgänge auf. Mit ihren Instrumenten konnte die Sonde in verschiedene Höhen blicken und identifizierte globale Windmuster sowie vertikale Strukturen und die Zusammensetzungen der einzelnen Schichten. Wie sich herausstellte, teilt sich die Atmosphäre des Saturn in ähnlicher Weise in Bänder auf wie die seines größeren Nachbarn Jupiter. Allerdings ist das von außen nicht so leicht zu erkennen, da ein dichter Nebel die Wolkendecke aus Ammoniak einhüllt. Als Cassini dort hindurch in die Troposphäre schaute, wurde klar, dass die Abfolge der Bänder vom Breitengrad abhängt. Schmalere sind dunkler und zeigen Starkwindregionen an, während breitere Bänder tendenziell heller und von geringeren Geschwindigkeiten geprägt sind, vielleicht bis hin zum Stillstand relativ zur Eigendrehung des Planeten. Insgesamt scheint die Atmosphäre Saturns ein

recht dauerhaftes Gebilde zu sein. Selbst eine interessante hexagonale Struktur über dem Nordpol, die Voyager entdeckt hat, veränderte sich seither kaum. Wie sich langsam herauskristallisiert, scheint Stabilität eine charakteristische Eigenschaft der Gasplaneten zu sein: Da es keine feste Oberfläche unter den Strömungen gibt, welche die Bewegungen durch Reibung bremsen könnte, halten sich Muster sehr lange, sobald sie einmal angeregt worden sind.

Saturns Atmosphäre ist allerdings nicht vollkommen unveränderlich, sondern wechselt mit den Jahreszeiten. Als Cassini den Planeten erreichte, erwartete uns in der nördlichen, winterlichen Atmosphäre ein überraschender Anblick: Der Himmel war blau! Durch die geringere Einstrahlung von ultraviolettem Licht sowie die Abschattung durch die zur Sonne gekippten Ringe dünnte die Dunstglocke über der Winterhemisphäre aus. Die Atmosphäre wurde klarer und ermöglichte eine stärkere Streuung des Sonnenlichts analog zu den Effekten im blauen Himmel der Erde; außerdem schluckte das enthaltene Methan die roten Wellenlängen.

Seit gut einem Jahrhundert sehen Astronomen, dass auf Zeitskalen von Jahrzehnten gigantische Stürme ausbrechen und wieder verklingen. Wir hatten das Glück, gegen Ende des Jahres 2010 einen solchen zu erleben. Gebannt verfolgten wir, wie in der nördlichen Hemisphäre eine kleine Störung über einen Zeitraum von etwa 270 Tagen anwuchs, allmählich einmal um den ganzen Planeten griff und wieder verschwand. Auch das war etwas, das zuvor noch keine Raumsonde beobachtet hatte. Wir vermuten, relativ warmer Wasserdampf bleibt einige Jahrzehnte lang in der untersten Atmosphärenschicht gefangen, während die leichtere äußere Schicht aus Wasserstoff Energie an den Weltraum verliert. Erst wenn letztere kühl genug ist, beginnen plötzlich Konvektionsströme: Der Auftrieb gewinnt Oberhand, und die großen Gasmengen können sich ihren Weg nach außen bahnen.

Von ihrem Beginn bis zum dramatischen Ende war die Mission Cassini eine der erfolgreichsten Entdeckungsreisen in der sechs Jahrzehnte dauernden Geschichte der Erkundung anderer Planeten. Dank ihr verstehen wir nun die Bedingungen, unter denen Saturn entstand und die Ursachen seiner Veränderungen wesentlich besser – und damit auch die Gesetze, nach denen sich unser ganzes Sonnensystem gebildet hat und weiter entwickelt.

Während all der Jahre Teil eines so großartigen Abenteuers gewesen zu sein, war ebenso strapaziös wie segenreich. In absehbarer Zukunft werden wir wohl keine Saturn-Mission erleben, die sich mit dieser messen kann. Unser Team verabschiedet sich von der Raumsonde Cassini mit großem Dank und im Wissen, dass ihre Erkenntnisse die Menschheit noch einige Zeit lang beschäftigen werden. ◀

#### LITERATURTIPP

**Postberg, F., Dambeck, T.:** Heißes Wasser in der Tiefe des Enceladus. In: Spektrum 6/2015, S. 32–41  
*Der Artikel beschreibt ausführlich die Entdeckung der Wasserfontänen auf dem Saturnmond Enceladus und die möglichen Bedingungen im Ozean unter der Eiskruste.*



# SCHLICHTING! UNVERHOFFTE RUTSCHPARTIEN



**Feuchtes Blattwerk und anderes Pflanzenmaterial kann die Reibung zwischen Schuhsohle und Untergrund plötzlich stark verringern.**

H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. 2013 wurde er mit dem Archimedes-Preis für Physik ausgezeichnet.

» [spektrum.de/artikel/1505995](http://spektrum.de/artikel/1505995)



► Nicht erst bei vereisten Straßen im Winter kann das Gehen riskant werden. Bereits im Herbst sorgt nasses Laub oft für unfreiwillige und überraschende Rutschpartien. Ausrutschen bedeutet Gleiten, und Gleiten entsteht durch zu geringe Reibung der Schuhe auf dem Boden. Wie auch bei anderen Fortbewegungsarten (etwa dem Radfahren, siehe **Spektrum** April 2017, S. 74–77) hat die Reibung also eine entscheidende Bedeutung – nur in diesem Fall wünschen wir uns möglichst viel davon.

Physikalisch betrachtet kommt die Reibung mit der Trittkraft  $F$  ins Spiel, die beim Gehen oder Laufen mit jedem Schritt ausgeübt wird. Die Reibungskraft  $F_R$  kompensiert nämlich als gleich große Gegenkraft die

horizontale Komponente der Trittkraft  $F_H$  parallel zum Boden, und sie ist gleichzeitig proportional zur vertikalen Komponente  $F_V$ : Es gilt  $F_R = \mu \cdot F_V$  (siehe Illustration unten). Die Proportionalitätskonstante  $\mu$  nennt man Reibungskoeffizient; der Wert hängt von den wechselwirkenden Materialien ab, also etwa Schuhsohle und Straßenbelag, sowie weiteren Bedingungen wie Feuchtigkeit oder Festigkeit (siehe Tabelle rechts).

Je weiter ein Mensch beim Gehen oder Laufen auschreitet (Winkel  $\alpha$ ), desto größer ist die horizontale Kraftkomponente  $F_H = F \cdot \sin \alpha$ . Solange sie nicht größer wird als die für diese Situation geltende Reibungskraft  $\mu \cdot F_V = \mu \cdot F \cdot \cos \alpha$ , gibt es keine Probleme. Aus dieser Bedingung, also dass  $F_H$  kleiner sein muss als  $\mu \cdot F_V$ , lässt sich dann aus den beiden letztgenannten Gleichungen für das Verhältnis von Reibungskoeffizient zum Auftrittswinkel folgern:  $\mu > \tan \alpha$ .

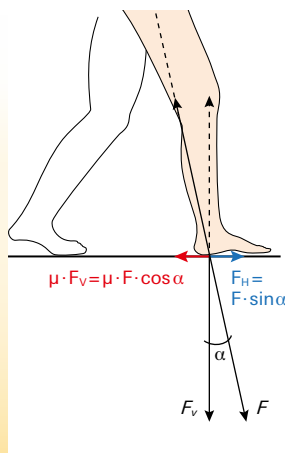
Beim gemütlichen Gehen würde man zum Beispiel mit einer Schrittweite von 0,6 Metern und einer Beinlänge von 0,9 Metern das Bein um einen Winkel  $\alpha$  von 19 Grad zur Vertikalen auslenken. Eingesetzt in unsere Formel bedeutet das: Der Reibungskoeffizient muss größer sein als 0,34. Damit dürfte bei fast allen normalen Unterlagen das Gehen sicher sein.

Bei feuchten Blättern ändert sich das drastisch. Wenn der Reibungskoeffizient klein ist, muss das auch entsprechend für den Winkel gelten. Daher bewegt man sich auf rutschigen Böden am sichersten mit kleinen Schritten fort. Während man sich auf gleich bleibende Glätte wie beispielsweise bei einer ebenen Eisfläche lauftechnisch einstellen kann, gibt es unvorhersehbare Verhältnisse, in denen der vertraute Reibungskoeffizient plötzlich und

## Sitzen bleiben schützt allerdings gegen die Gefahr, zu fallen

Friedrich Hebbel (1813–1863)

Man geht sicher, wenn beim Auftreten das Produkt aus der senkrechten Anpresskraft  $F_V$  und dem Reibungskoeffizienten  $\mu$  größer ist als die ausgeübte Horizontalkomponente  $F_H$  der Trittkraft  $F$ . Der Winkel  $\alpha$ , den das Bein mit der Vertikalen einnimmt, darf darum einen durch den Reibungskoeffizienten bestimmten Wert nicht überschreiten.





Feuchtes Laub, regellos verteilt auf unebenen, nassen Wegen – so wird ein Spaziergang unberechenbar.

F. JOACHIM SCHÜTTING

Reibende Materialien	Reibungskoeffizient $\mu$
Gummi auf Beton	0,60 bis 0,85
Stahl auf Eis	0,03
Leder auf Linoleum	0,40
Apfelschale auf Linoleum	0,13
Zitronenschale auf Linoleum	0,23
Mandarinschale auf Linoleum	0,23
Bananenschale auf Linoleum	0,07

**Je nach Material ergibt das Verhältnis von Reibungskraft zu Anpresskraft eine charakteristische Zahl. Je kleiner dieser Koeffizient ist, desto leichter fällt das Gleiten.**

überraschend abnimmt. Besonders »hinterhältig« sind Situationen, in denen der Boden nicht ganz eben, sondern in einer Richtung geneigt ist. Hier hilft oft selbst der zögerlichste Gang nichts, weil möglicherweise bereits beim Stehen die Kraftkomponente parallel zum Boden größer ist als die Reibung.

Eine nasse Straße allein ist bei passendem Schuhwerk kaum problematisch, weil die Sohlen durch Material und Profil das Wasser zur Seite drücken und Kontakt mit dem Straßenbelag bekommen. Gefährlich ist vielmehr die Kombination mit Blättern. Denn diese widerstehen dem Druck der Schuhe und verhindern eine direkte Verbindung zum Pflaster. Stattdessen werden die weichen, feuchten und daher sehr gleitfähigen Flächen auf die Straße gepresst. Die flüssigen Bestandteile können nicht einfach seitlich herausfließen, denn sie sind in das saugfähige biologische Gewebe eingebunden. Man rutscht daher weniger direkt auf dem Laub – es wird

verhältnismäßig fest an die Schuhe gedrückt –, sondern vielmehr gemeinsam mit diesem auf einem Schmierfilm mit einem sehr kleinen Reibungskoeffizienten.

Auch viele andere Substanzen lassen uns ausrutschen. So werden Bananenschalen ihrem Ruf vollkommen gerecht, und dafür ist nicht einmal ein nasser Untergrund nötig. Das ist jedenfalls das Ergebnis einer Untersuchung, die eine Gruppe japanischer Physiker vor einigen Jahren durchgeführt hat. Die Forscher haben die Reibung einer Sohle auf einer Linoleumunterlage gemessen und mit Experimenten verglichen, bei denen dazwischen verschiedene Fruchtschalen lagen. Trotz der äußeren Ähnlichkeit gleiten die weichen Gewebe unterschiedlich gut. Auf einer Zitronen- oder Mandarinschale verkleinert sich der Reibungskoeffizient auf etwa die Hälfte (von 0,4 auf 0,23). Eine Apfelschale reduziert ihn bereits auf ein Drittel des Ursprungswerts (0,13). Bei einer Bananenschale schließlich sinkt der Reibungskoeffizient fast um den Faktor sechs (von 0,4 auf 0,07).

Die Wissenschaftler beließen es nicht bei dieser empirischen Bestätigung. Sie gaben auch eine Erklärung für den Spitzenplatz der Bananenschale: Sie bildet einen Schmierfilm aus, der die Last vollkommen trägt. Dieses Ergebnis ist insofern sehr theoretisch, als die Wahrscheinlichkeit gering sein dürfte, überhaupt auf eine frische, korrekt mit der Innenseite nach unten liegende Bananenschale zu treffen. Anders beim Laub. Was dem Gewebe an Rutscheffizienz fehlt, macht es im Herbst durch Menge wieder wett. Darum sollten wir in dieser Jahreszeit vorsichtshalber lieber etwas kürzer treten.

QUELLE

**Mabuchi, K. et al.:** Frictional Coefficient under Banana Skin. In: *Tribology Online* 7, 3, S. 147–151, 2012



An aerial photograph of a forest landscape. A road winds through the trees, and a stream flows through the lower part of the image. The sky is blue with some light clouds.

# INTERNET »FAKE NEWS« IN SOZIALEN NETZWERKEN

Internetnutzer verbreiten in großem Umfang Falschmeldungen und abwegige Verschwörungstheorien. Statistische Untersuchungen von Inhalten auf Facebook zeigen das enorme Ausmaß der Entwicklung und liefern neue Einsichten zu den Mechanismen dieses beunruhigenden Phänomens.





Die Vorstellung, mit den Kondensstreifen würden die Flugzeuge verdummende Chemikalien (oder gar Viagra) ausstoßen und damit auf uns herabregnen lassen, ist zwar hoffnungslos absurd; aber erschreckend viele Leute glauben daran.





**Walter Quattrociocchi** ist Koordinator des Labors für Internetsoziologie an der Scuola IMT Alti Studi in Lucca (Italien).

» [spektrum.de/artikel/1505997](http://spektrum.de/artikel/1505997)

► Sicher kennen Sie das: Sie sitzen mit Freunden oder Familienmitgliedern beim Abendessen, und das Gespräch kommt auf Gerüchte aus dem Internet, beispielsweise die Rolle von Kondensstreifen von Düsenflugzeugen bei der Erderwärmung oder die Vorzüge von Methoden der alternativen Medizin. Oder Sie verfolgen am Fernseher die Kommentare bekannter Komiker oder Sänger, die ganz ohne spezifische Kenntnisse von Wirtschaft und Politik plötzlich zu gefragten Analysten der internationalen Situation werden.

Was hat sich geändert an unserer Art, Informationen zu gewinnen und uns eine Meinung zu bilden? Welche Rolle spielen soziale Netzwerke wie Facebook bei der Verbreitung von Falschmeldungen (Fake News) und Verschwörungstheorien? Was sind die wichtigsten Gegenstände fehlerhafter und absichtlich irreführender Informationen? Wie lassen sich diese Phänomene eindämmen?

Wie aktuelle Entwicklungen zeigen, sind dies drängende Fragen. Man denke an den Brexit, die Wahl Donald Trumps zum Präsidenten der USA, die verbreitete Skepsis gegenüber dem menschlichen Einfluss auf den Klimawandel oder die islamistische Radikalisierung junger Europäer. Desinformationen im Internet haben direkte Auswirkungen auf unsere Gesellschaft und ihre politische, ökonomische und weltanschauliche Ausrichtung.

## AUF EINEN BLICK ECHOKAMMERN IM INTERNET

- 1** In sozialen Netzwerken wie Facebook verbreiten sich Fehlinformationen und Verschwörungstheorien rasch und einfach, mit teils schwer wiegenden Konsequenzen.
- 2** Dank einer großen Datenbasis lässt sich die Dynamik der Desinformation quantitativ detailliert erfassen.
- 3** Die Analysen zeigen, dass der Bestätigungsfehler, eine Form der Wahrnehmungsverzerrung, eine wichtige Rolle spielt: Die Internetnutzer bilden solidarische Gruppen mit sich selbst verstärkenden Meinungen und Vorurteilen.
- 4** Allem Anschein nach sind die Verfechter von Verschwörungstheorien unerreichbar für Versuche, ihren Irrglauben zu widerlegen.

Es ist also nicht verwunderlich, dass sich Soziologen intensiv mit sozialen Phänomenen in digitalen Medien und Netzwerken beschäftigen, speziell mit der »viralen« – also raschen und massenhaften – Verbreitung unbestätigter oder falscher Informationen. Seit einigen Jahren interessieren sich auch Mathematiker, Physiker und Informatiker für diese Problematik und analysieren sie mit den Mitteln ihres Fachs. Aus der Kooperation dieser Strömungen entstand in den 2000er Jahren eine neue Forschungsdisziplin: die Internetsoziologie.

Es geht um die quantitative Analyse sozialer Phänomene im Internet. Dafür steht eine üppige Datenbasis zur Verfügung. In den sozialen Netzwerken wie Facebook, Twitter, Youtube und anderen hinterlassen die Nutzer eine enorme Masse digitaler Spuren, wenn sie Informationen abrufen, weitergeben oder kommentieren. Auf diese Weise lassen sich soziale Phänomene mit bisher unerreichter Präzision erforschen.

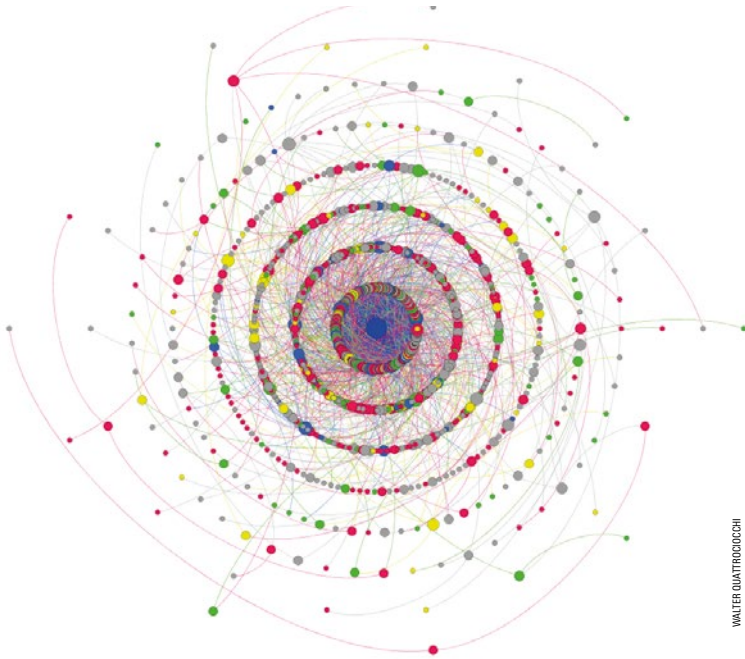
Die Arbeit unserer Forschungsgruppe am Labor für Internetsoziologie der Hochschule IMT (Institutionen, Märkte, Technologien) im toskanischen Lucca (Italien) widmet sich ausschließlich dieser Thematik. Unser Team besteht aus zwei Physikern (Guido Caldarelli und Antonio Scala), einem Statistiker (Alessandro Bessi), einer Mathematikerin (Michaela Del Vicario) und zwei Informatikern (Fabiana Zollo sowie mir selbst). Wir interessieren uns vor allem für das Phänomen der Viralität von Informationen – die massenhafte Meinungsbildung und -verstärkung im Cyberspace, einem Raum, in dem Inhalte ohne Vermittlung und Kontrolle veröffentlicht und konsumiert werden. Im Lauf der letzten beiden Jahre haben wir faszinierende Erkenntnisse darüber gewonnen, wie Internetnutzer Meinungen verbreiten und sich aneignen – und wie sie sich gegenseitig beeinflussen.

### Jeder nimmt bevorzugt Nachrichten zur Kenntnis, die in sein eigenes Weltbild passen

In kaum mehr als einem Jahrzehnt (Facebook wurde 2004 gegründet, Twitter 2006) haben das Internet im Allgemeinen und die sozialen Netzwerke im Besonderen das Verhalten der Menschen grundlegend verändert: wie sie Informationen gewinnen, miteinander interagieren, Freunde finden, gemeinsame Interessen teilen, Informationen filtern und eigene Meinungen bilden. In diesem Rahmen gedeiht auch die Desinformation, was auf mehrere Faktoren zurückzuführen ist.

Erstens ist der funktionelle Analphabetismus weit verbreitet. Nach den Daten der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) haben 18 Prozent der Europäer Schwierigkeiten, einfachste geschriebene Texte zu verstehen (Deutschland liegt nahe beim Durchschnitt).

Ein weiterer Faktor ist der in der Sozialpsychologie wohlbekannte Bestätigungsfehler (confirmation bias): Jeder Mensch neigt dazu, bevorzugt die Informationen wahrzunehmen, die seine eigenen Überzeugungen bestätigen, und Widersprechendes zu vernachlässigen oder zu ignorieren. In der vielfältigen Informationsflut des Internets kann jeder Nutzer mühelos Äußerungen finden, die seine



WALTER QUATRODICI

## Vermehrung einer Internet-Ente

Eine 2012 auf Facebook lancierte Falschmeldung behauptete, ein italienischer Senator namens Cirenga (den es nicht gibt) habe eine Gesetzesinitiative vorgeschlagen, nach der nicht wiedergewählte Parlamentarier bei der Suche nach einem neuen Arbeitsplatz mit 134 Milliarden Euro unterstützt werden sollten. Die Falschmeldung verbreitete sich 2012 äußerst erfolgreich im Internet. Das Diagramm zeigt den Verlauf der Verbreitung. Die Knoten des Graphen stehen für einzelne Internetnutzer; zwei Knoten sind durch eine Linie verbunden, wenn der eine Nutzer den Post mit dem anderen geteilt hat. Die ursprüngliche Meldung findet sich in der Mitte des Diagramms. Die Farben zeigen die Ausrichtung der Nutzer an, das heißt ihre jeweilige Präferenz für einen bestimmten Typ von Inhalten. Nutzer klassischer Quellen sind gelb dargestellt, Follower politischer Diskussionen grün, Nutzer alternativer Quellen rot und Trolle blau.

Vorurteile und Vorlieben bestätigen, und alles andere ausblenden.

Drittens werden Inhalte im Internet großenteils ohne Vermittlung verbreitet, konsumiert und verarbeitet. Jeder kann Behauptungen zu jeglichem Sachverhalt veröffentlichen, ohne dass eine andere Person oder Autorität zuvor den Wahrheitsgehalt oder wenigstens die faktischen Voraussetzungen überprüft hätte.

Aus all diesen Gründen werden wir aktuell Zeugen der massenhaften – gutgläubigen oder absichtlichen – Verbreitung von Falschinformationen. Auch das Weltwirtschaftsforum (WEF), eine internationale, unabhängige Stiftung, die dringliche globale Fragen erörtert, bezeichnete 2013 dieses Problem als eine der gravierendsten Bedrohungen unserer Gesellschaften.

Verschwörungstheorien wuchern weltweit im Netz. Angeblich enthalten die von Düsenflugzeugen erzeugten Kondensstreifen nicht nur Wasserdampf, sondern auch Chemikalien, die dazu dienen, das Klima zu verändern oder das Bewusstsein der Bevölkerung zu manipulieren: die »Chemtrails« (eine Zusammenziehung des englischen Begriffs chemical trails). Impfungen würden Autismus oder andere schwere Erkrankungen verursachen. Der uralte Mensch sei ein reiner Fruchtesser und nicht etwa ein Allesesser gewesen. Außerdem gebe es Quellen alternativer, kostenfreier Energien, die uns die multinationalen Konzerne vorenthalten, um ihre finanziellen Interessen zu schützen. Die populärsten Verschwörungstheorien behaupten, die Amerikaner seien gar nicht auf dem Mond gewesen, und die Regierung der USA habe die Terroranschläge vom 11. September 2001 selbst inszeniert oder zumindest absichtlich zugelassen.

Wir halten ja den Menschen gemeinhin für ein rationales Wesen; doch die quantitativen Untersuchungen dieser Phänomene legen eher das Gegenteil nahe. In einem Umfeld, in dem Informationen keinerlei Filter durchlaufen, wählt der Einzelne – entsprechend dem Bestätigungsfehler – die Information aus, die ihm am besten zusagt und in sein

Denkschema passt. Dies nährt die verschiedensten Geschichten (»Narrative«), die ihre Überzeugungskraft nicht aus vernünftigen Überlegungen, sondern aus vagen Assoziationen gewinnen. Sie klingen verführerisch, verbreiten sich rasant und beeinflussen massiv die öffentliche Wahrnehmung wichtiger Themen wie Gesundheit, Wirtschaftspolitik, Geopolitik oder Klimaveränderung.

Die Konsequenzen sind bisweilen befremdlich und manchmal sogar erschreckend. So mutierte 2015 ein routinemäßiges Manöver des US-Militärs mit der Bezeichnung Jade Helm 15 im Internet zum Beweis für einen bevorstehenden Militärschlag gegen den Staat Texas, den

## »Pizzagate«: Auf Grund eines Internetgerüchts stürmte in Washington ein Mann mit dem Gewehr eine Pizzeria und schoss um sich

die damalige Regierung unter Barack Obama ins Werk gesetzt habe. Diese Behauptung führte so weit, dass der republikanische Gouverneur Greg Abbott die bewaffnete Schutztruppe des Bundesstaates, die Texas State Guard, alarmierte.

Ein Tweet eines New Yorker Anwalts vom 30. Oktober 2016 erzählte von polizeilichen Ermittlungen zu einem großen Pädophilennetz, mit dem Hillary Clinton in Verbindung stehe. Dieses Gerücht verbreitete sich im Internet und brachte insbesondere eine Pizzeria in Washington in Verruf. Am 4. Dezember machte sich dann ein zur Selbstjustiz bereiter Twitterleser namens Edgar Maddison Welch mit seinem Gewehr auf den Weg zu dem Restaurant, bedrohte einen Angestellten und schoss in die Gasträume. Glücklicherweise nahm ihn die Polizei rasch fest, und es gab keine Opfer.



## Das explosive Wachstum der sozialen Medien

Soziale Netzwerke im Internet sind heute ein fester Bestandteil unseres täglichen Lebens. Die Anzahl ihrer Nutzer steigt ständig. Hier einige Zahlen, die diese Entwicklung veranschaulichen. Sie stammen aus dem Bericht »Digital, Social & Mobile 2017« der internationalen Agentur »We Are Social« (<https://wearesocial.com/special-reports/digital-in-2017-global-overview>).

Die Anzahl der aktiven Nutzer des Internets hat 3,7 Milliarden überschritten, dies entspricht 50 Prozent der Weltbevölkerung. In Europa gibt es 637 Millionen Internetnutzer, entsprechend 76 Prozent der Bevölkerung. In den sozialen Medien sind heute 2,8 Mil-

liarden Nutzer aktiv (37 Prozent der Weltbevölkerung). Ein Jahr zuvor waren es noch 2,3 Milliarden.

In Deutschland liegt die Anzahl der aktiven Internetnutzer bei 89 Prozent der Bevölkerung, in Großbritannien bei 92 und in Italien bei 66 Prozent. Die Agentur »We Are Social« erklärt dazu, dass sie die Anzahl der Nutzer in manchen Fällen durch die Anzahl der aktiv genutzten Facebook-Adressen schätzt.

In Deutschland verbringen die Nutzer der sozialen Medien im Mittel 4 Stunden und 42 Minuten pro Tag im Internet (in Italien reichlich 6 Stunden, in Brasilien 9), davon etwas mehr als eine Stunde über ein mobiles Gerät und drei-

einhalb Stunden über einen stationären Computer.

Von den 33 Millionen Facebook-Nutzern in Deutschland benutzen 85 Prozent dafür ihr Handy, 64 Prozent sind jeden Tag dort unterwegs, und das Geschlechterverhältnis ist fast ausgeglichen (52 Prozent männlich, 48 Prozent weiblich).

Zu beobachten ist auch eine generelle Zunahme des Anteils von Mobiltelefonen an den Geräten, die für den Internetzugang verwendet werden. Im Januar 2016 liefen 38,6 Prozent der Zugriffe auf das Web über Handys. Im Januar 2014 waren es nur 28,9 Prozent gewesen. Im Mittel liegt das monatlich genutzte Datenvolumen bei 1,5 Gigabyte pro Mobiltelefon.

Um solche Phänomene der Desinformation besser zu verstehen, haben wir eine Studie durchgeführt, die sich mit dem Konsum von Informationen aus dem Internet in Italien beschäftigt. Dabei unterschieden wir drei Klassen von Informationen: solche aus klassischen Quellen, aus alternativen Quellen und von politischen Bewegungen.

Unter klassischen Quellen verstehen wir alle Zeitungen und Agenturen in Italien, die nationale Nachrichten veröffentlichen. Alternative Quellen sind selbst ernannte Distributoren von Inhalten, welche die Mainstream-Medien den Menschen angeblich vorenthalten. Die dritte Kategorie

## Wenn ein Troll die Abschaffung der Gesetze der Thermodynamik fordert, erntet er Zustimmung – besonders unter den Misstrauischen

umfasst Quellen von Bewegungen oder politischen Gruppierungen, die das Internet zur politischen Propaganda nutzen.

Die Datenerhebung, insbesondere der alternativen Quellen, war enorm zeitaufwändig und detailreich. Unter anderem sammelten und prüften wir Hinweise von Nutzern und Gruppen, die im italienischen Facebook aktiv Falschmeldungen aufdecken.

Für unsere Studie wählten wir 50 öffentlich zugängliche Facebook-Seiten aus, davon 8 klassische, 26 alternative

und 16 propagandistische Quellen. Wir speicherten deren Mitteilungen (Posts) und die zugehörigen Interaktionen über die sechs Monate von September 2012 bis Februar 2013; während dieser Zeit fand in Italien ein Wahlkampf statt. Einbezogen haben wir die Posts selbst, die Likes (eine Zustimmungsbekundung, die nichts weiter als einen Mausklick erfordert), Kommentare, Weiterleitungen und Likes zu den Kommentaren. Für die Analyse speicherten wir diese frei verfügbaren Daten, die das Verhalten von mehr als 2,3 Millionen italienischen Internetnutzern wiedergeben, in komprimierter und anonymisierter Form.

Je nach der Art der Quelle sind die Inhalte zwar denkbar verschieden, die Muster ihrer Nutzung und Verbreitung jedoch praktisch identisch (Bild rechts). Für jede der drei Kategorien genießt ein Post im Mittel ungefähr 24 Stunden Beachtung (gemessen als Zeit zwischen dem ersten und dem letzten Kommentar).

### Trolle: Ursprünglich lästige Störenfriede, inzwischen Spaßvögel mit Nutzen für die Wissenschaft

Im Rahmen unserer Studie untersuchten wir auch das Verhalten der Facebook-Nutzer gegenüber Trollen. Ursprünglich bezeichnet der Begriff Troll einen Beitrag mit dem Ziel, eine Diskussion im Internet zu stören und eine polemische Auseinandersetzung zu provozieren. Durch die enorme Heterogenität der Gruppen und Interessen im Internet hat die Figur des Trolls inzwischen eine komplexere Struktur gewonnen. Überall wo eine soziale Dynamik die Massen mit sich reißt und eine extreme Meinung über ein Thema entsteht, ist es wahrscheinlich, dass eine Gegenbewegung sie mit Hilfe von Trollen parodiert.

Manche dieser Seiten öffnen das Verhalten der Mitglieder politischer Bewegungen nach; andere stellen immer wieder dasselbe Foto eines Prominenten ins Netz, um damit irgendeinem Inhalt massive Verbreitung zu verschaffen; wieder andere posten Fotos von Kätzchen im Zusammenhang mit Nachrichten zum Ebolafieber oder machen sich über das Prinzip der veganen Ernährung lustig. Nicht zuletzt sind auch die Verschwörungstheorien Zielscheiben des Spotts im Internet. Es gibt Trolle, die fordern, die Gesetze der Thermodynamik im Parlament abschaffen zu lassen. Andere behaupten, nach dem Ergebnis einer aktuellen Analyse sei in den Chemtrails Sildenafilziträt enthalten, der Wirkstoff von Viagra.

Für unsere Studie erwiesen sich die Trolle als überaus wertvolle Hilfe: Da sie mit voller Ansicht unwahre und paradoxe Inhalte verbreiteten, konnten wir ermitteln, in welchem Umfang die Internetnutzer fähig und bereit sind, den Wahrheitsgehalt von Meldungen zu überprüfen – oder eben dem Bestätigungsfehler anheimfallen.

Dazu gruppieren wir eine große Stichprobe von Facebook-Nutzern zunächst nach ihrer inhaltlichen Präferenz, und zwar je nach der Anzahl der Likes, die sie an Inhalte des jeweiligen Typs verteilen. Dann analysierten wir, wie diese Nutzergruppen auf die Äußerungen von insgesamt 2800 Trollen reagierten.

Wie fast schon erwartet stellten wir fest, dass Internetnutzer, die alternativen Quellen folgen, auch am ehesten dazu neigen, Posts von Trollen zu liken und weiterzubreiten. Genauer gesagt folgen unter den 1279 Nutzern mit bekannter inhaltlicher Präferenz 55 Prozent derer, die Trollposts geliked haben, gleichzeitig alternativen Quellen, während nur 23 beziehungsweise 22 Prozent von ihnen die Inhalte klassischer Quellen und politischer Bewegungen abonniert hatten.

Dieses Ergebnis ist besonders interessant, da es das zentrale Paradox der Verschwörungstheorien illustriert: Die

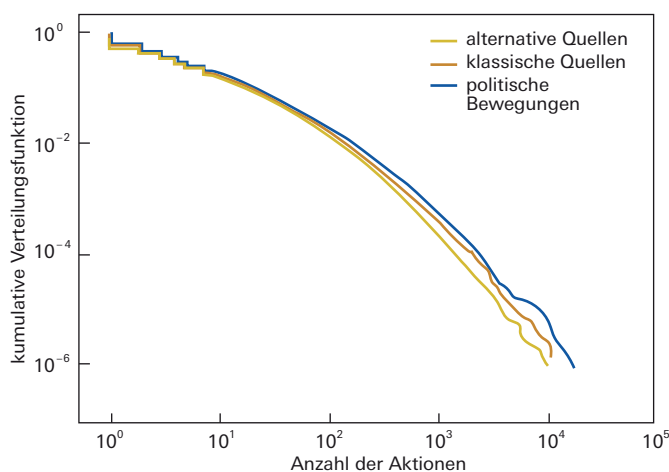
Internetnutzer, die vermeintliche Manipulationsversuche durch klassische Medien am aufmerksamsten verfolgen, sind dieselben, die absichtlichen Falschmeldungen am ehesten Glauben schenken. Am anfälligsten für Manipulationen sind diejenigen, die überall Manipulationen befürchten!

### »Echokammern«: Alles, was man zu hören bereit ist, ist der eigene Lärm

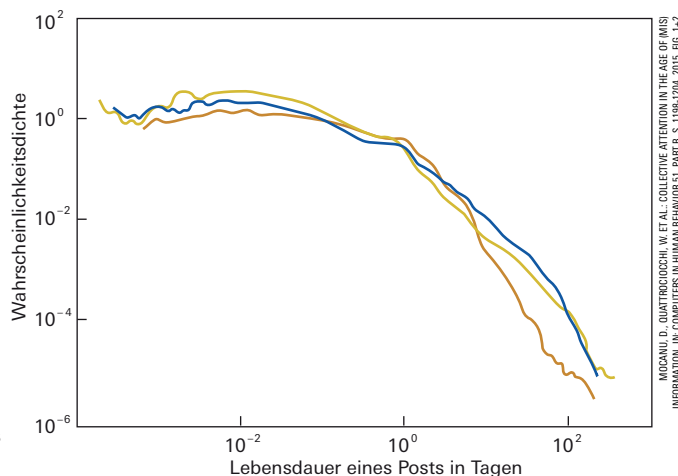
Verschiedene Gruppen von Internetnutzern unterscheiden sich, wie oben dargelegt, nicht wesentlich in ihrem Surfverhalten, wohl aber in der Auswahl ihrer Quellen. Zusammen mit dem Mechanismus des Bestätigungsfehlers führte uns das zu der Hypothese, dass der durch das Internet erleichterte Zugang zu Informationen ebenso wie die erleichterte Kommunikation der Nutzer untereinander die Bildung von »Resonanzräumen« oder »Echokammern« fördert. Das sind Gemeinschaften von Gleichgesinnten, die bevorzugt dieselben Informationstypen nutzen, ausschließlich untereinander diskutieren und sich in ihren eigenen Überzeugungen zu einem gemeinsamen Narrativ gegenseitig bestärken.

Im zweiten Teil unseres Projekts wollten wir dieser Hypothese auf den Grund gehen. Wir verglichen das Verhalten von Internetnutzern, die sich an wissenschaftliche Informationsquellen halten, mit jenen, die vorwiegend alternativen Quellen und Verschwörungstheorien folgen.

Die jeweiligen Quellen sind sehr unterschiedlicher Natur. Wissenschaftliche Informationsquellen haben einen namentlich genannten Autor, der für den Inhalt verantwortlich ist. Sie zitieren in der Regel allgemein zugängliche detaillierte Publikationen, die in anerkannten wissenschaftlichen Zeitschriften zu finden sind. Auch deren Autoren sind bekannt, ebenso die Institutionen, denen sie angehören, und so weiter. Demgegenüber beziehen sich Anhänger von Verschwörungstheorien regelmäßig auf geheime



Das Verhalten der Internetnutzer gegenüber Facebook-Posts ist sehr ähnlich, gleichgültig ob es sich um Inhalte aus alternativen, klassischen oder propagandistischen Quellen handelt. Links die kumulative Verteilungsfunktion der Anzahl von Aktionen (Likes, Kommentare oder Likes zu Kommentaren) der



Nutzer, aufgeschlüsselt nach Art der Seite. Lesebeispiel: Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Post aus alternativer Quelle  $10^3$  (= 1000) oder mehr Aktionen auslöst, ist etwas größer als  $10^{-4}$ . Die rechte Grafik zeigt, wie die Lebensdauer (Zeit zwischen erstem und letztem Kommentar) der Posts verteilt ist.



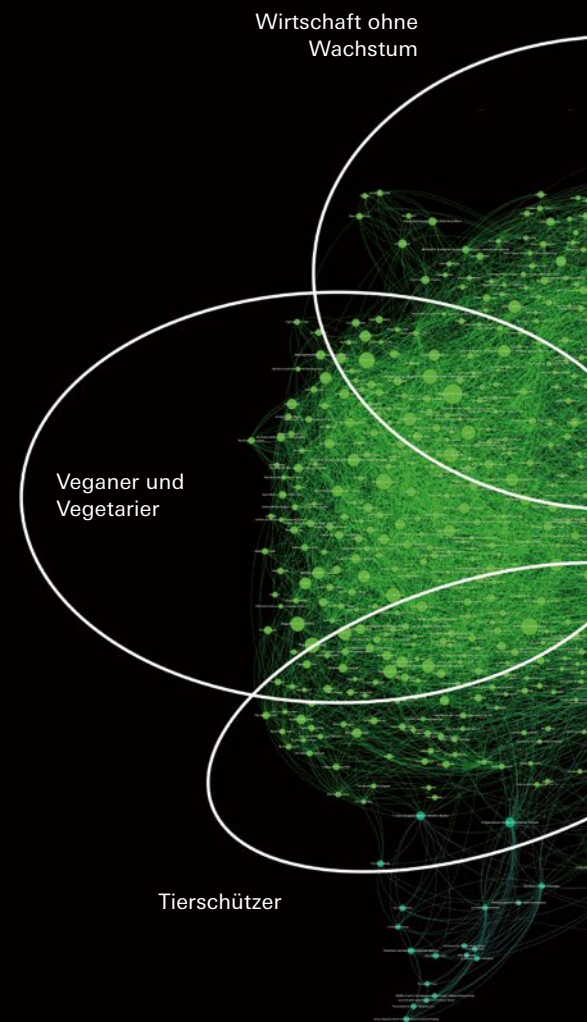
# Die Wolke der verschwörungstheoretischen

Dieses Diagramm habe ich mit Hilfe eines Programms zur Visualisierung von Daten erstellt. Es repräsentiert das immens vielfältige Netzwerk der italienischen Facebook-Seiten, die Verschwörungstheorien propagieren, und fand im Dezember 2015 weite Verbreitung im Internet (<http://www.butac.it/wp-content/uploads/2016/03/complottisti.jpg>).

Ich begann mit einer Gruppe von 17 Websites (siehe Aufzählung rechts unten), deren Zugehörigkeit zur Sphäre der Verschwörungstheorien und der Desinformation kaum bestreitbar ist, darunter die Seite »Stop alle scie chimiche« (Stoppt Chemtrails) oder der Webauftritt von COMILVA, einer Vereinigung von Impfgegnern. Mit Hilfe verschiedener Programme gelang es mir, alle Facebook-Seiten zu identifizieren, von denen aus diese 17 Seiten geliked wurden. Dasselbe Verfahren wendete ich erneut auf die so ermittelten Seiten an. Das dadurch entstandene Diagramm enthält 2612 Knoten und 22879 Verbindungen.

Jeder Punkt (»Knoten«) in diesem Diagramm entspricht einer Facebook-Seite, jeweils mit Angabe des Namens, der allerdings im Druck, da zu klein, nicht lesbar ist. In der Internetversion kann man die Namen bis zur Lesbarkeit vergrößern. Eine Verbindung zwischen zwei Knoten bedeutet, dass einer von ihnen den anderen geliked hat; wer von beiden es war, ist in dieser Darstellung nicht wiedergegeben. Die Punkte wurden so angeordnet, dass Facebook-Seiten mit ähnlicher inhaltlicher Präferenz, also mit Likes zu den gleichen Seiten, näher beisammen liegen als solche, die nur wenige oder keine Likes gemeinsam haben. Je größer ein Knoten dargestellt ist, desto mehr Likes zeigen auf ihn und desto größer ist sein Einfluss im Netz.

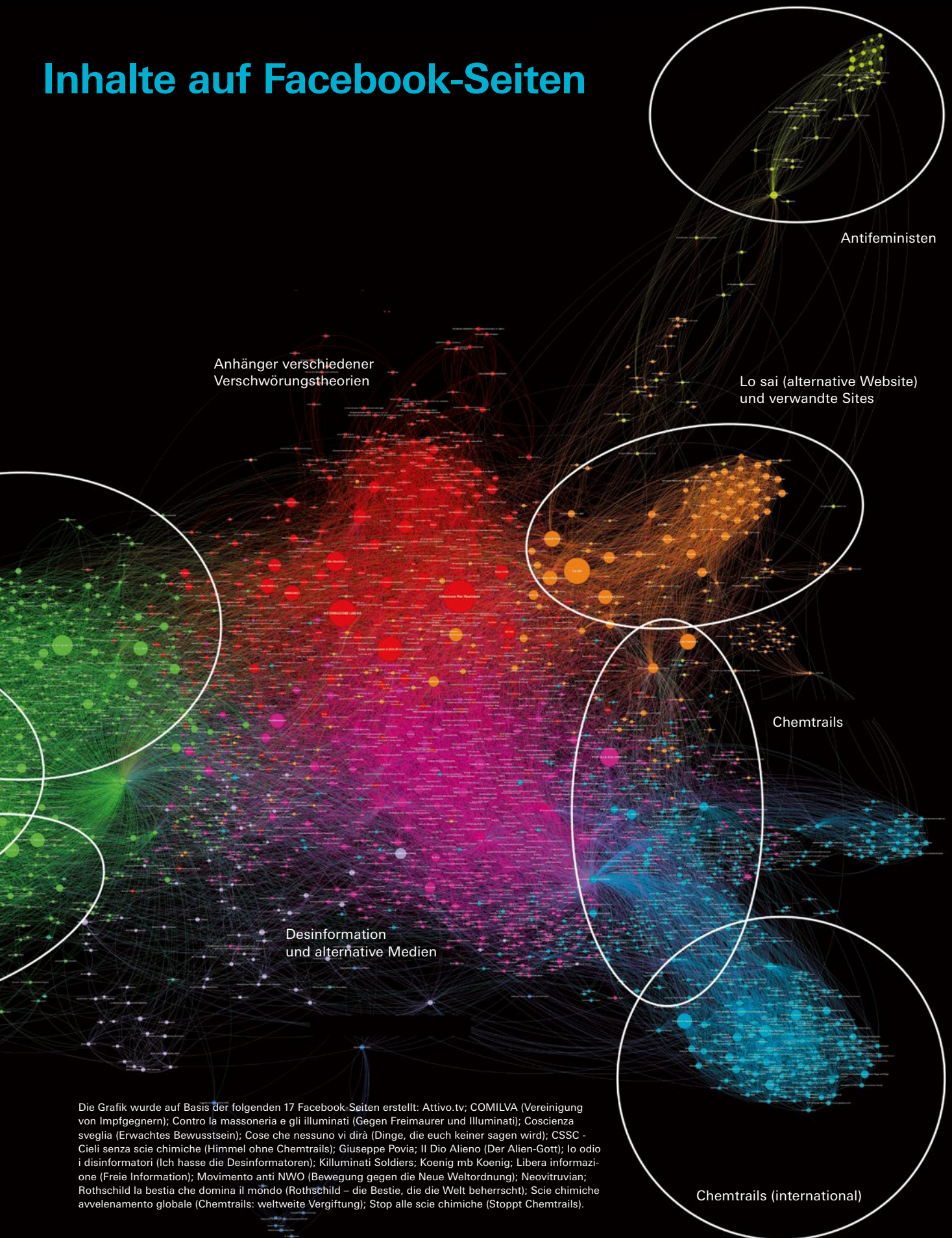
Das Programm teilt die Menge aller Knoten automatisch in »Cluster« ein, das heißt Gruppen mit ähnlichen Interessen, und gibt jedem Cluster eine eigene Farbe. Seiten mit offensichtlich verschwörungstheoretischem Inhalt finden sich praktisch alle im Zentrum des Diagramms in der magentafarbenen Region. Zur Peripherie des Netzwerks hin schwindet die Verbundenheit mit Verschwörungstheorien allmählich. Dort finden sich sogar ernst zu nehmende Zeitungen wie »La Repubblica« und »Corriere della Sera« sowie Organisationen wie Emergency, die in dem Diagramm nur deswegen vertreten sind, weil ihre Inhalte von anderen Seiten des Netzwerks aus verfolgt werden.



Matteo Pavanati  
Journalist in Mailand

MIT FRDL. GEN. VON MATTEO PAVANATI

# Inhalte auf Facebook-Seiten



Anhänger verschiedener  
Verschwörungstheorien

Antifeministen

Lo sai (alternative Website)  
und verwandte Sites

Chemtrails

Desinformation  
und alternative Medien

Chemtrails (international)

Die Grafik wurde auf Basis der folgenden 17 Facebook-Seiten erstellt: Attivo.tv; COMILVA (Vereinigung von Impfgegnern); Contro la massoneria e gli illuminati (Gegen Freimaurer und Illuminati); Coscienza sveglia (Erwachtes Bewusstsein); Cose che nessuno vi dirà (Dinge, die euch keiner sagen wird); CSSC - Cieli senza scie chimiche (Himmel ohne Chemtrails); Giuseppe Povia; Il Dio Alieno (Der Alien-Gott); Io odio i disinformatori (Ich hasse die Desinformatoren); Killuminati Soldiers; Koenig mb Koenig; Libera informazione (Freie Information); Movimento anti NWO (Bewegung gegen die Neue Weltordnung); Neovitruvian; Rothschild la bestia che domina il mondo (Rothschild – die Bestie, die die Welt beherrscht); Scie chimiche avvelenamento globale (Chemtrails: weltweite Vergiftung); Stop alle scie chimiche (Stopt Chemtrails).



Machenschaften, die der breiteren Öffentlichkeit absichtlich vorenthalten werden, und zwar von mächtigen Individuen, Gruppierungen oder auch Staaten, die meist nicht eindeutig benannt sind.

Unabhängig vom Wahrheitsgehalt der Information aus den beiden Quellentypen sind auch die Narrative von völlig gegensätzlicher Art. Der erste Typ folgt einer rationalen Grundhaltung und versucht in aller Regel, die Aussagen auf empirische Belege zurückzuführen. Der zweite Typ neigt dazu, die zu erklärenden Ereignisse dem absichtsvollen Handeln von Menschen zuzuschreiben; so haben Cass Sunstein und Adrian Vermeule, Juristen an der Harvard University, in dem einflussreichen Artikel »Conspiracy Theories« diese Variante definiert.

Die Neigung zu Verschwörungstheorien ist Ausdruck einer Unfähigkeit, unerwünschte Vorkommnisse oder Entwicklungen komplexen Ursachen wie den Mechanismen des Marktes oder schlicht dem Zufall zuzuschreiben. Martin Bauer, Psychologe an der London School of Economics and Political Science, bezeichnet diese Haltung als »quasireligiös«. So wie in frühen Zeiten ein Gewitter noch

als göttliche Meinungsäußerung galt, reagieren Anhänger von Verschwörungstheorien heute auf die verwirrende Komplexität unerwünschter Vorkommnisse, indem sie eine einfache Erklärung suchen.

Um zu entscheiden, welche Facebook-Seiten wir in unsere vergleichende Studie über die beiden Typen von Internetnutzern aufnehmen, arbeiteten wir mit verschiedenen Gruppen zusammen, die sich im Internet gegen Falschinformationen stark machen, indem sie fundierte Argumente und wissenschaftliche Erkenntnisse zu den jeweiligen Theorien liefern. So kamen wir zu einem Ensemble von 73 Facebook-Seiten, von denen 39 Verschwörungstheorien vertreten und 34 wissenschaftlich begründete Inhalte. Unsere Analyse umfasst insgesamt 1,2 Millionen italienischer Facebook-User, die sich in den fünf Jahren zwischen 2010 und 2014 zu einer dieser Seiten geäußert haben.

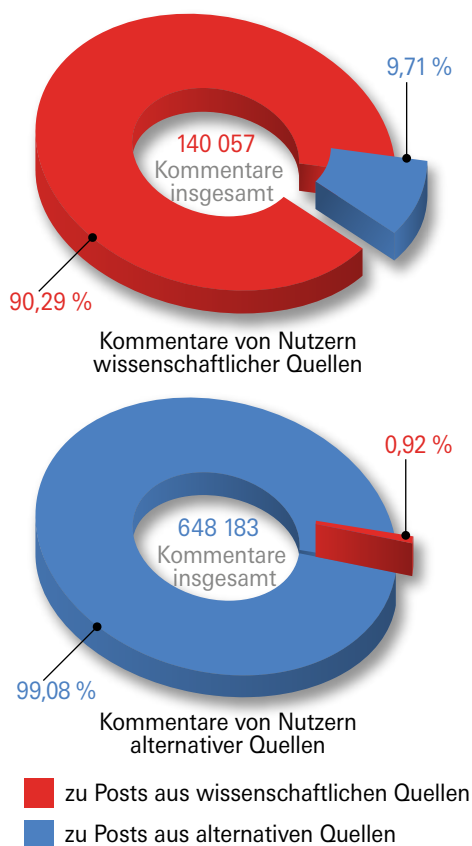
Was besagen unsere Ergebnisse? Unter den italienischsprachigen Facebook-Nutzern folgen dreimal so viele Verschwörungsinhalten wie wissenschaftlichen Informationsquellen. Zudem sind die beiden Populationen stark polarisiert. Unter den Wissenschaftsfreunden finden sich bescheidene 9,71 Prozent bereit, Posts aus alternativen Quellen zu kommentieren; in der Gegenrichtung sind es klägliche 0,92 Prozent (Bild links). Anders ausgedrückt: Die Nutzer versammeln sich um spezifische Narrative und verlassen ihre angestammte Echokammer nur selten.

### Facebook-Nutzer mit extremen Vorstellungen haben nur gleichgesinnte Freunde

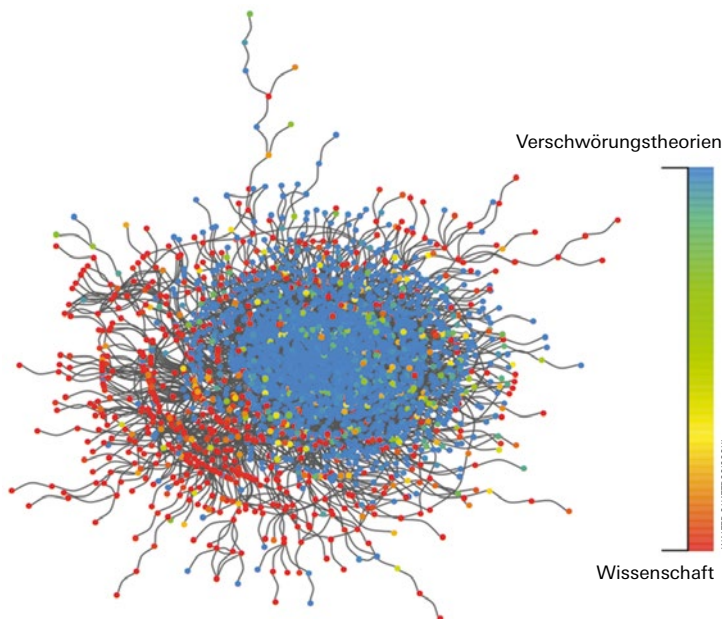
Dieses Merkmal der sozialen Interaktion auf Facebook scheint eine zentrale Rolle bei der Verbreitung von Fake News zu spielen. Wir analysierten 4709 parodierende oder offensichtlich absurde Troll-Posts (zum Beispiel »Chemtrails enthalten Viagra«). Von den Nutzern, die diese Posts mit einem Like oder einem Kommentar versahen, waren etwa 80 Prozent Follower von Seiten mit Verschwörungstheorien. Eine weitere interessante Beobachtung: Diese Verschwörungsfreunde neigen mehr dazu, ihre Lieblingsinhalte zu »teilen«, das heißt an ihre Facebook-Freunde weiterzuverbreiten, als die wissenschaftlich Interessierten.

An diesem Punkt fragten wir uns, ob sich die starke Polarisierung der Nutzer in Anhänger der Verschwörungstheorien einerseits und der Wissenschaft andererseits auch in ihren virtuellen »Freundschaften« bemerkbar macht. Nachdem wir die sozialen Netze der beiden Gruppen rekonstruierten, zeigte sich ein überraschendes statistisches Muster: Im gleichen Maß, wie die Anzahl der Likes zu einem spezifischen Narrativ zunimmt, steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass das zugehörige virtuelle soziale Netz ausschließlich aus Freunden mit gleichem Profil besteht. Anders gesagt, je aktiver ein polarisierter Internetnutzer ist, desto ähnlicher sind die Profile seiner Freunde auf Facebook (Bild rechts oben).

Diese Aufteilung der sozialen Netze in homogene Gruppen mit gleichartiger Ausrichtung macht die Viralität von Phänomenen im Netz verständlich. Jede Gruppe neigt dazu, Informationen auszuschließen, die mit der eigenen Weltsicht nicht übereinstimmen. Es handelt sich also um



Internetnutzer, die ihre Informationen bevorzugt aus wissenschaftlichen Quellen beziehen, kommentieren Posts auf Facebook-Seiten mit alternativen Informationen nur selten (9,7 Prozent). Auf der anderen Seite ist der Anteil der »Grenzgänger« noch geringer (0,92 Prozent). Diese Angaben beruhen auf der Auswertung von 7751 Posts (1991 mit wissenschaftlichen und 5760 mit verschwörungstheoretischen Inhalten).



**Internetnutzer, die regelmäßig wissenschaftliche Informationsquellen in Anspruch nehmen (rote Punkte), sind relativ selten »Freunde« (im Sinn von Facebook) derer, die Seiten mit verschwörungstheoretischen Inhalten folgen (blau). In den Randbereichen ist der Echokammereffekt zu erkennen: Die beiden Web-Communities haben wenig Kontakt untereinander.**

eine kollektive Struktur, welche die Selektion bestimmter Inhalte durch den auf der Ebene des Individuums wirkenden Bestätigungsfehler verstärkt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse untersuchten wir anschließend die Auswirkungen von Kampagnen, die das Ziel verfolgen, Falschmeldungen zu entlarven und ihre Verbreitung in sozialen Netzen verhindern. Wir verglichen also unter den Followern konspirativer Inhalte jene, die aufklärenden Posts ausgesetzt waren, mit denen ohne Kontakt zu solchen Korrekturversuchen. In beiden Gruppen haben wir die Beharrlichkeit der Follower registriert, das heißt die Wahrscheinlichkeit, mit der sie weiter ihre spezifischen Inhalte mit Likes versehen.

Das Ergebnis ist nicht dazu angetan, Optimismus zu verbreiten: Wer den aufklärenden Informationen ausgesetzt war, hielt mit um etwa 30 Prozent höherer Wahrscheinlichkeit an verschwörungstheoretischen Inhalten fest als die nicht Exponierten! Versucht man also einen Verfechter der Chemtrail-Theorie davon zu überzeugen, dass die Kondensstreifen am Himmel nicht vergiftet sind, so bestärkt ihn das nur in seinem Glauben, was sich an vermehrten Interaktionen mit Informationsquellen aus dem entsprechenden Umfeld ablesen lässt.

Um sicherzugehen, dass dieses Phänomen keine italienische Spezialität ist, haben wir eine ähnliche Untersuchung auf amerikanischen Facebook-Seiten durchgeführt. Die Ergebnisse waren im Wesentlichen die gleichen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis erzielten wir mit Algorithmen, die nach einer Trainingsphase in der Lage sind, die Gemütslage der User aus dem Wortlaut ihrer Kommentare einigermaßen einzuschätzen. Wir stellten fest, dass die Stimmung der Facebook-Nutzer um so negativer wird, je länger eine Diskussion andauert. Das gilt gleichermaßen für verschwörerische Inhalte wie für wissenschaftliche, wobei die Nutzer der konspirativ orientier-

ten Seiten tendenziell negativer eingestellt sind. In allen Fällen scheint die Dauer einer Diskussion über einen Post mit der Verschlechterung des Umgangstons zu korrelieren.

Damit ergibt sich ein konsistentes Bild von der Entstehung und massiven Verbreitung von potenziell falschen Informationen in sozialen Netzen. Der Nutzer wählt die Inhalte unter dem Einfluss des Bestätigungsfehlers. Dies führt dazu, dass sich relativ homogene Personengruppen bilden, die gleiche Interessen haben und den gleichen Narrativen folgen. Parallel zur verstärkten Fokussierung tendieren die Mitglieder jeder Gruppe dazu, all das zu ignorieren, was ihre Vorurteile nicht bestätigt. Diskussionen zwischen beiden Lagern arten in den meisten Fällen aus und führen zu negativen Interaktionen, was die Polarisierung weiter verstärkt.

Es ist also sehr schwierig, über Falschmeldungen aufzuklären und die Verbreitung von Fake News aufzuhalten, wie etwa die Falschmeldung über den erfundenen Senator Cirenga zeigt (»Vermehrung der Internet-Ente«, S. 61).

Das Problem der Desinformation in den sozialen Netzwerken ist heute so drängend, dass man ihre Betreiber häufig der Verantwortungslosigkeit bezichtigt und sie auffordert, die Verbreitung von Falschmeldungen und Verschwörungstheorien zu begrenzen. Doch mit welchen Maßnahmen? Diese Frage ist vielschichtig, und die bisherigen Lösungsvorschläge stoßen auf Widerspruch.

Ein Ansatz könnte darin bestehen, die Algorithmen der sozialen Netzwerke anzupassen. So hat Facebook eine Funktion eingeführt, mit deren Hilfe Nutzer Falschmeldungen als solche kennzeichnen können, während Google ein Werkzeug prüft, das die Vertrauenswürdigkeit von Webseiten bei der Reihenfolge ihrer Auflistung nach einer Suchanfrage berücksichtigt. Angesichts unserer Studienergebnisse stimmen uns solche Lösungsmodelle jedoch wenig optimistisch.

Wahrscheinlich führen wir also wohl weiterhin beim Essen hitzige Diskussionen über die neueste von Reptilien organisierte Verschwörung, über Außerirdische in Menschengestalt, die mitten unter uns leben (und an die Millionen von Amerikanern glauben), oder über die Vorzüge der neuen Diät aus Kaffee mit Butter und Öl, die in den USA für Furore sorgt. Vielleicht ist es an der Zeit, den Begriff des Informationszeitalters fallen zu lassen und stattdessen das Zeitalter der Leichtgläubigkeit auszurufen. ◀

#### QUELLEN

**Bessi, A. et al.:** Science vs Conspiracy: Collective Narratives in the Age of Misinformation. In: PLoS One 10, e0118093, 2015

**Bessi, A. et al.:** Trend of Narratives in the Age of Misinformation. In: PLoS One 10, e0134641, 2015

**Bessi, A. et al.:** Social Determinants of Content Selection in the Age of (Mis)Information. In: Ariello, L.M., McFarland, D. (Hg.): Social Informatics. Lecture Notes in Computer Science 8851. Springer, Heidelberg 2014, S. 259–268

**Del Vicario, M. et al.:** The Spreading of Misinformation Online. In: PNAS 113, S. 554–559, 2016

**Mocanu, D. et al.:** Collective Attention in the Age of (Mis)Information. In: Computers in Human Behavior 51, S. 1198–1204, 2015





# FREISTETTERS FORMELWELT ALLES SUPER MIT DEM SUPEREI

**Kreis oder Ellipse? In der Mathematik ist das eine nur ein Spezialfall des anderen. Noch ein bisschen verallgemeinern und man landet plötzlich in der Welt der Kunst.**

**Florian Freistetter** ist Astronom, Autor und Wissenschaftskabarettist bei den »Science Busters«.

► [spektrum.de/artikel/1505999](http://spektrum.de/artikel/1505999)

Als Astronom habe ich eine ganz besondere Beziehung zu Ellipsen. Auf den ersten Blick erscheinen sie nicht so elegant wie Kreise, und das hat vor Zeiten sogar den Fortschritt aufgehalten. Als Nikolaus Kopernikus im 16. Jahrhundert die Erde aus dem Zentrum des Universums verbannte, warf er zwar einige alte Dogmen über den Haufen, aber eben nicht alle. Er hing weiterhin der Überzeugung an, dass die Kreisform irgendwie besonders perfekt sei und sich deswegen alle Himmelskörper auf Kreisbahnen bewegen müssten. Darum lieferte auch sein Weltbild keine besseren Vorhersagen der Planetenpositionen als das alte ptolemäische.

Erst Johannes Kepler erkannte die Ellipse als Grundlage der Planetenbewegung und schuf damit den Ausgangspunkt der modernen Astronomie. Ellipsen sind also schon ziemlich toll – doch es gibt etwas, das zumindest dem Namen nach noch besser ist: eine »Superellipse«, die durch diese Formel beschrieben wird:

$$\left| \frac{x}{a} \right|^n + \left| \frac{y}{b} \right|^n = 1$$

Sie besteht aus allen Punkten  $(x, y)$ , die für eine bestimmte Wahl des Parameters  $n$  und der Halbachsen  $a$  und  $b$  die obige Gleichung erfüllen. Heraus kommt ein Mittelding zwischen Ellipse und Rechteck. Für  $n = 2$  erhält man eine ganz normale Ellipse; je größer der Wert von  $n$  wird, desto mehr nähert sich die Form einem Rechteck an.

Man nennt solche Formen auch lamésche Kurven, da der französische Mathematiker Gabriel Lamé (1795–1870) als Erster die Ellipsengleichung auf diese Weise verallgemeinert hat. Der Name Superellipse stammt von dem dänischen Mathematiker und Künstler Piet Hein. Als die Stadtverwaltung in Stockholm ihn beauftragte, einen Kreisverkehr zu entwerfen, der um einen rechteckigen Platz herumführte, wählte Hein für die Fahrbahn ein Mittelding zwischen Kreis und Rechteck.

Hein fand Lamés Kurve so ansprechend, dass er sie noch anderweitig in Kunst und Architektur verbreitete. In den 1960er Jahren entwarf er das »Superei«, einen Körper, der von einer rotierenden Superellipse mit dem Parameter  $n = 2,5$  (und einem Verhältnis der Halbachsen von  $4/3$ ) erzeugt wird.

Im Gegensatz zu einem normalen Ellipsoid kann man ein Superei auf jeder ebenen Oberfläche stabil aufstellen. Es wurde schnell populär: als Spielzeug, als Kerzenständer oder Lampenschirm, als Möbelstück, als Kunstwerk und Denkmal. Eine riesige Superei-Skulptur findet man zum Beispiel vor dem dänischen Wasserschloss Egeskov:



Donald Knuth, Schöpfer des mathematischen Textsatzsystems TeX, nutzte die Definition der Superellipse zur Einführung eines Parameters, den er »Superness« nannte und der unter anderem den typografischen Unterschied zwischen dem Buchstaben O und der Ziffer 0 definiert.

Und wem das immer noch nicht super genug ist: Der Belgier Johan Gielis veröffentlichte 1997 eine Verallgemeinerung der superelliptischen Kurven von Hein und Lamé. Mit dieser »Superformel« kann man eine Vielzahl botanischer wie auch abstrakter Formen unterschiedlicher Symmetrie beschreiben.



# MONTAGSMEETING

**WIRTSCHAFT JEDEN MONAT  
ANDERS – MIT CAPITAL.**

Überraschende Perspektiven, hochwertige Optik und große Reportagen.

# Capital

WIRTSCHAFT IST GESELLSCHAFT

Jetzt 3 Hefte für 15,60€ unter Tel.: 030-20 179 190 sichern.  
Bitte Bestell-Nr.: 1613968 angeben. Oder auf [www.capital.de/kennenlernen](http://www.capital.de/kennenlernen)



Auch als digitale Ausgabe erhältlich.





# 100 JAHRE RUSSISCHE REVOLUTION **STÄDTE FÜR DIE PROLETARIER**

In der jungen Sowjetunion bemühten sich Architekten und Stadtplaner um sozialistische Siedlungskonzepte – allerdings nicht sehr erfolgreich.





Oktober 1917: Arbeiter- und Soldatenräte kommen in der russischen Stadt Nischni Nowgorod zu einer Kundgebung zusammen.







**Helmut Altrichter** ist emeritierter Professor am Lehrstuhl für Neuere und Neueste Geschichte mit dem Schwerpunkt der Geschichte Osteuropas an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Kürzlich erschienen ist die zweite Auflage seines Buchs »Rußland 1917. Ein Land auf der Suche nach sich selbst«.

» [spektrum.de/artikel/1506001](http://spektrum.de/artikel/1506001)

► »Schluss mit dem Krieg«, »Alle Macht den Räten«, »Den Bauern das Land der Gutsbesitzer«, »Den Arbeitern die Kontrolle über die Betriebe« – unter solchen Parolen stürzten die Anhänger Lenins, die Bolschewiki, im Herbst 1917 die bürgerliche provisorische Regierung und riefen in Russland eine Sozialistische Räterepublik aus. Doch wie sich bald herausstellte, war die Einlösung der revolutionären Versprechungen schwierig. Und die Diskussion, wie den zahlreichen Problemen begegnet werden sollte, zeigte, dass die bolschewistische Partei über kein einheitliches Konzept für den Staatsaufbau verfügte. Die Losungen »Rätestaat«, »Nationalisierung des Bodens«, »Arbeiterkontrolle« erwiesen sich als Worthülsen, hinter denen radikaldemokratische, anarchistische oder syndikalistische Ideen ebenso stecken konnten wie die Vorstellung eines straff zentralisierten Wohlfahrtsstaats.

Was für Staat und Partei, Verwaltung und Wirtschaftsordnung, Justiz und Armee, Musik, Literatur und bildende Kunst galt, das galt auch für Architektur und Stadtplanung. Alle redeten vom Sozialismus, aber niemand wusste so genau, wie das gehen sollte. Jeder setzte die Prioritäten anders, und die Konzepte gingen entsprechend weit auseinander. Architekten und Stadtplaner sprachen von der »Angleichung der Lebensweise von Stadt und Land«, damit die städtische Kultur ins Dorf gebracht und die »Idiotie des Landlebens« (Karl Marx) überwunden werde. Die »Neuordnung des Alltags auf sozialistischer Grundlage« nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sollte das Gemeinschaftsgefühl stärken, die Ver-

einzelung unterbinden, die Frau aus der Sklaverei der Hausarbeit befreien und sie zum gleichberechtigten Mitglied der Gesellschaft (Wladimir Iljitsch Lenin) machen. Die Hoffnung auf Elektrizität, die Licht und Musik buchstäblich in jeden Kuhstall bringen sollte, spielte dabei gerade für Lenin eine wichtige Rolle. Zugleich blieb man skeptisch gegenüber dem Wildwuchs der Riesenstädte, sah in diesen eine problematische »Hinterlassenschaft des Kapitalismus« (Friedrich Engels), die zu beseitigen gehörige Zeit kosten werde.

Diese Schlagworte bestimmten den Diskurs über Architektur und Stadtplanung, sowohl in den Instituten und Werkstätten als auch in den künstlerischen Vereinigungen der Architekten, von denen es viele gab. Das Volkskommissariat für Bildungswesen hatte schon 1918 den Versuch unternommen, ein eigenes Zentrum für Kunst und Architektur zu schaffen, woraus im Folgejahr eine »Kommission zur Erarbeitung einer Synthese zwischen Plastik und Architektur« hervorging. Ihren Kern bildete eine Gruppe von Architekten, denen die einschlägigen Planspiele des Volkskommissariats zu konservativ erschienen. Von einer gemeinsamen Linie war man in jedem Fall weit entfernt – und die Versuche, sich mit Gleichgesinnten zusammenzuschließen, um mehr Einfluss auf das Geschehen zu bekommen, gingen in den 1920er Jahren munter weiter.

#### **Vom Einfamilienhaus bis zum Wohnkombinat für 2000 Personen**

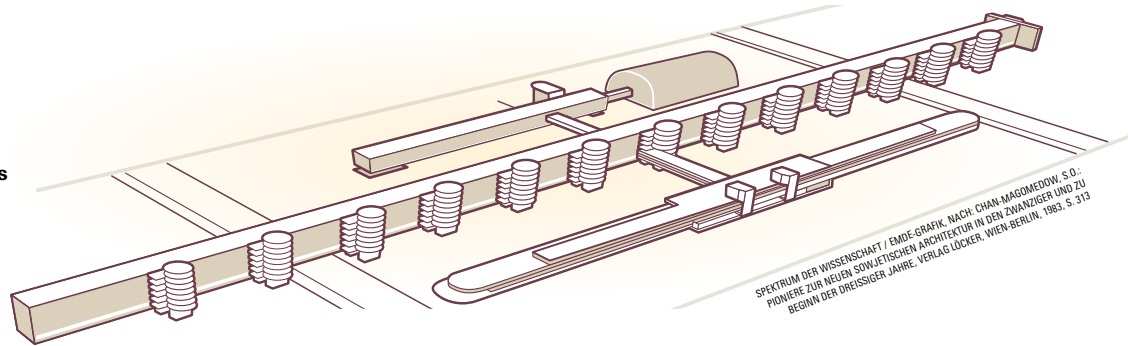
In dieser Zeit fanden diverse Wettbewerbe statt, für die Architekten zahllose Modellentwürfe von Wohnanlagen »für Werktätige« einreichten. Sie belegen das breite Spektrum an Vorstellungen darüber, wie künftig für die Arbeiter gebaut werden sollte. Die Spannweite reichte von Ein- und Mehrfamilienhäusern im Stil der Gartenstadtbewegung über cottageähnliche Bauten und moderne Reihenhäuser bis hin zu riesigen experimentellen Kommune-Gebäuden und Wohnkombinaten für bis zu 2000 Personen. Letztere gingen nicht mehr von der Familie als Grundeinheit aus; sie sollten stattdessen mit (getrennten) Schlaftrakten für Erwachsene, Klein- und Schulkinder, mit Wohnzellen sowie mit Gemeinschaftseinrichtungen ausgestattet sein, zu denen Küche, Speiseeinrichtungen, Kindergarten und -krippe, Wäscherei, Leseräume, »Rote Ecken« (Bereiche für politisch-ideologische und kulturelle Aktivitäten) und anderes gehören konnten.

Ein Wettbewerbsentwurf des bekannten Architekten Andrei Belograd beispielsweise, den er 1922/23 für eine Moskauer Arbeitersiedlung einreichte, erinnerte an die Augsburger Fuggerei (Bild rechts). Bei anderen Konzepten hingegen war die Nähe zur westlichen Gartenstadtidée unübersehbar, etwa bei einem Wohnhaus der Genossenschaftssiedlung Sokol, das 1923 nach den Plänen des Architekten Nikolai Markownikow in Moskau errichtet wurde. Konstantin Melnikow wiederum, der einer Arbeiterfamilie entstammte und später mit kühnen Entwürfen einer der berühmtesten konstruktivistischen Avantgardisten wurde, hatte 1919 die Grobskizze einer ringförmigen Arbeitersiedlung vorgelegt, die allen Bewohnern den gleichen Zugang zu innen liegenden Gemeinschaftsein-

## **AUF EINEN BLICK EIN LAND SUCHT SICH SELBST**

- 1** Nachdem die Bolschewiki 1917 die Macht in Russland erlangt hatten, zeigte sich rasch, dass sie über keine einheitliche Strategie für den Staatsaufbau verfügten. Dasselbe galt für die Stadtplanung.
- 2** Architekten bemühten sich darum, Siedlungskonzepte für Werktätige und den »neuen Menschen« zu entwerfen, doch ihre Ideen gingen sehr weit auseinander.
- 3** Das Ziel, die Verhältnisse in Stadt und Land anzugleichen und auf sozialistischer Grundlage umzugestalten, blieb weitgehend unerreicht.

**Entwurf eines Stalingrader Wohnkombinats aus dem Jahr 1930 (nachgezeichnet). Ein mehr als 500 Meter langes Gebäude mit Wohnzellen und zylindrischen Anbauten sollte von einem Gemeindezentrum und einem Kinderversorgungstrakt flankiert sein.**



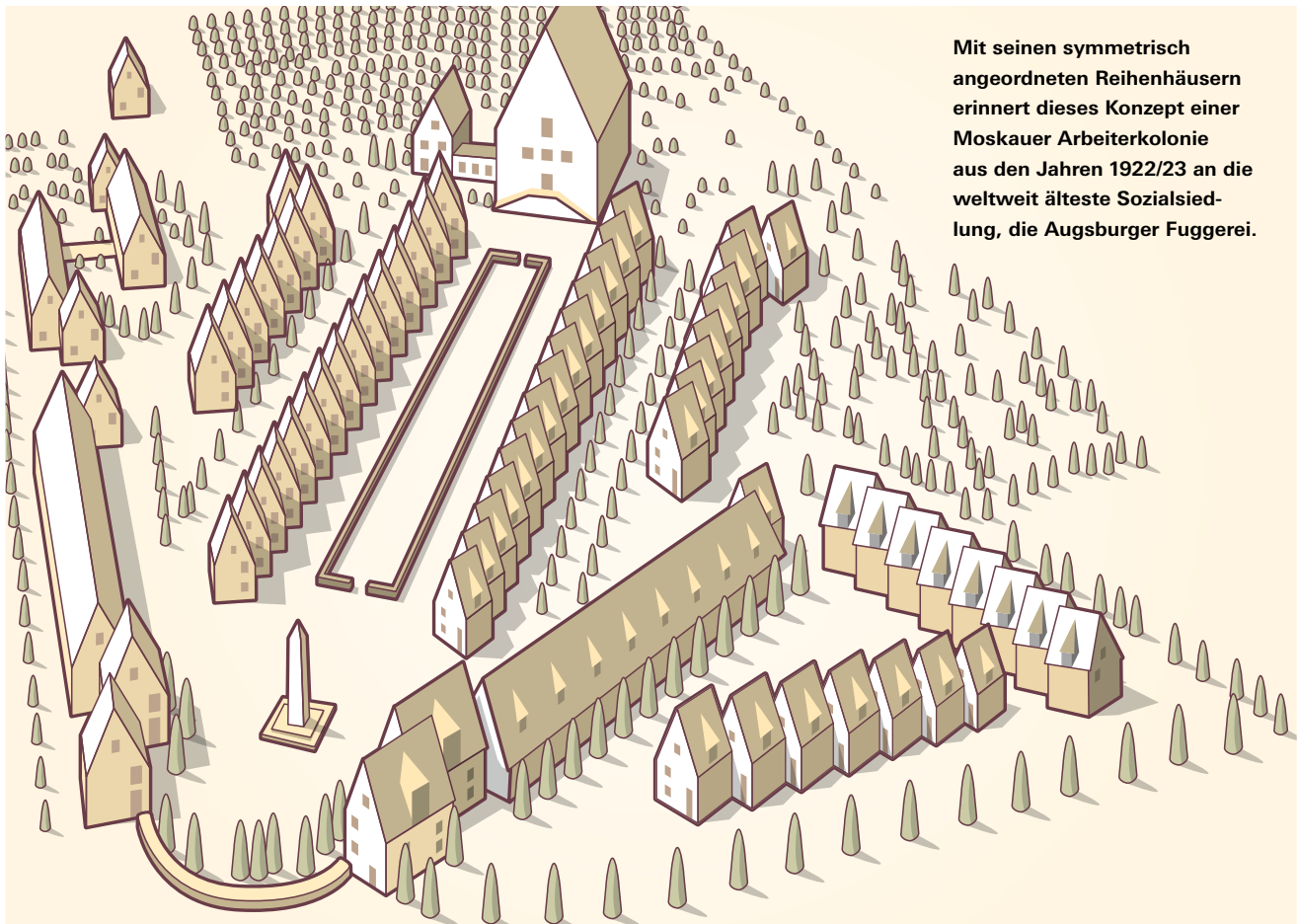
SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / EMBE-GRAFIK. NACH: CHAN-MAGOMEDOW, S.O.: PIONIERE ZUR NEUEN SOWJETISCHEN ARCHITEKTUR IN DEN ZWANZIGER UND ZU BEGINN DER DREISSIGER JAHRE. VERLAG LÖCKER, WIEN-BERLIN, 1983, S. 313

richtungen wie Parkanlagen und Spielstätten bieten sollte. Mit ihren mittelalterlich-klösterlichen Stilelementen und ihrer Monumentalität glich sie den utopischen Entwürfen französischer Frühsozialisten für Phalanstère, einer Art proletarischen Miniaturstadt (Bild S. 74).

Noch einmal ganz anders geartet war der Wettbewerbsentwurf des Architekten Ilja Golosow für ein Wohnkombinat in Stalingrad (1930), bei dem zwei parallele Trakte ein 540 Meter langes Wohngebäude flankieren sollten. Während der westliche Trakt das Gemeindezentrum beherbergen sollte, sah Golosow den östlichen für Einrichtungen der Kinderversorgung vor. Die Gliederung des Wohngebäudes war von langen Korridoren bestimmt, die auf einer Seite verglast waren. Auf der anderen Seite lagen Wohnzellen mit einer Größe von 5 oder 10 Quadratmetern, die neben einem Bett noch einen Tisch, einen

Stuhl, einen Waschtisch und einen eingebauten Schrank aufwies. Bei Bedarf sollten die Bewohner zwei Wohnzellen miteinander verbinden können. 13 Treppenhäuser unterbrachen die Korridore, ihnen vorgelagert waren 13 zylindrische Anbauten, die sanitäre Einrichtungen (Toiletten, Duschen, Wannenbäder) enthielten und nach außen hin die überlange, horizontale Fassade in kleinere Einheiten gliederten (Bild oben).

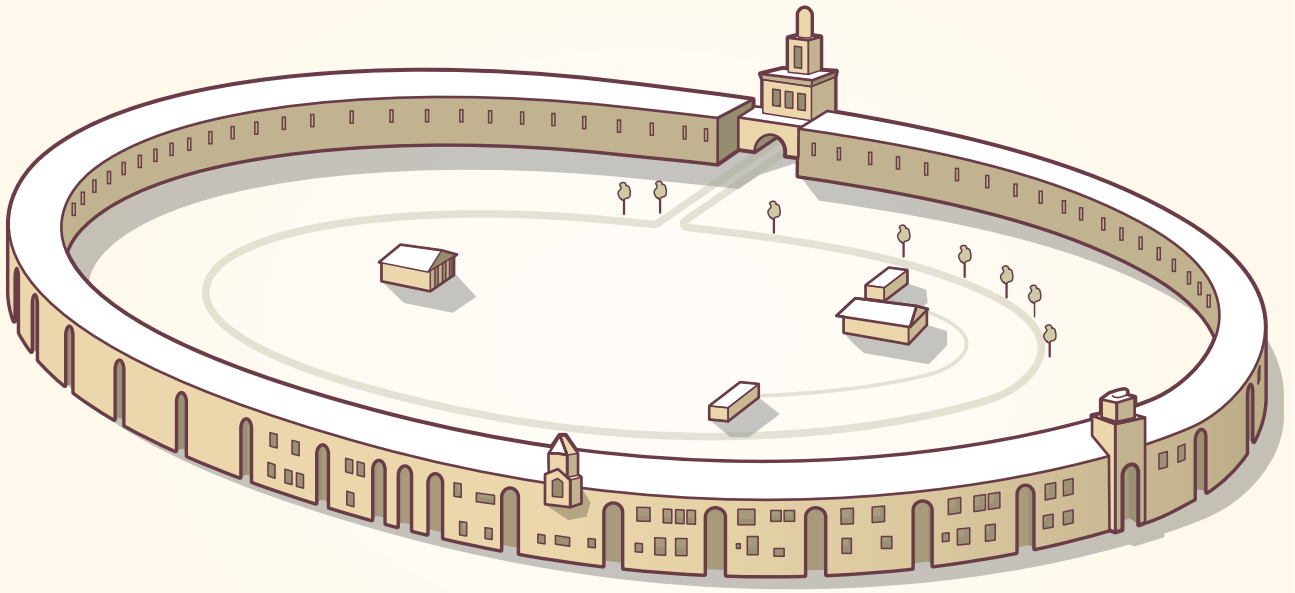
Diesen enorm unterschiedlichen Plänen lagen verschiedene Vorstellungen von Sozialismus zu Grunde. Sie reichten von der »Freisetzung der Persönlichkeit«, die es dem Proletarier erlauben sollte, wie sein (klein-)bürgerlicher Zeitgenosse mit einer Familie zu leben, bis hin zu einem umfassend regulierenden Zentralismus. Für Letzteren lieferte der damals 25-jährige Architekt Nikolai Kusmin mit seinem »Tagesplan für einen erwachsenen Kommunarden«,



**Mit seinen symmetrisch angeordneten Reihenhäusern erinnert dieses Konzept einer Moskauer Arbeiterkolonie aus den Jahren 1922/23 an die weltweit älteste Sozialsiedlung, die Augsburger Fuggerei.**

SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / EMBE-GRAFIK. NACH: CHAN-MAGOMEDOW, S.O.: PIONIERE ZUR NEUEN SOWJETISCHEN ARCHITEKTUR IN DEN ZWANZIGER UND ZU BEGINN DER DREISSIGER JAHRE. VERLAG LÖCKER, WIEN-BERLIN, 1983, S. 285





**Der Architekt Konstantin Melnikow skizzierte 1919 eine ringförmige Wohnanlage, die allen Bewohnern den gleichen Zugang zu den innen liegenden Einrichtungen bieten sollte.**

## Die Revolution und die Kunst

Die Bolschewiki verstanden sich als Avantgarde des russischen Proletariats. Ihr radikales Programm forderte eine andere Gesellschaft, einen »neuen Menschen« und schien dabei alles und jeden in Frage zu stellen. Davon waren unter anderem jene Künstlerkreise fasziniert, die schon seit geraumer Zeit ein radikales Umdenken auch für das kulturelle Leben gefordert hatten und sich dabei selbst als Avantgarde sahen. So, wie die Bolschewiki über die Tradition hinweggingen, hatten auch sie mit der künstlerischen Vergangenheit gebrochen, die Orientierung an der Gegenständlichkeit hinter sich gelassen und einen kühnen Schritt in die Zukunft gewagt.

Zu diesen »Avantgardisten« gehörten Alexander Blok (1880–1921), Lilja Jurjewna Brik (1891–1978) und Wladimir Majakowski (1893–1930), Marc Chagall (1887–1985), Wassily Kandinsky (1866–1944), Wladimir Tatlin (1885–1953) und Alexander

Rodtschenko (1891–1956), um nur die bekanntesten zu nennen, mit ihren Schulen des »Lutschismus«, »Suprematismus«, »Konstruktivismus«, »Nonobjektivismus« und so fort, häufig und etwas unscharf unter dem Begriff »Futuristen« zusammengefasst. Das war und ist schon deshalb irreführend, weil sie nie eine Einheit bildeten mit ihren diversen Kunstrichtungen und Gruppenbildungen, ihren permanenten Rivalitäten und Abspaltungen.

Ein gemeinsames Merkmal war jedoch ihr Anspruch, am Aufbau der »neuen Kultur« mitzuwirken. Schließlich sei nach der politischen und sozialen Revolution, die man hinter sich gebracht hatte, die »geistige Revolution« von ebenso großer Bedeutung. Den »linken Künstlern« sollte dabei, möglichst sogar unabhängig vom Staat, eine maßgebliche Rolle eingeräumt werden. Die Kunst der Zukunft, so hieß es in einem programmatischen Artikel, werde eine proletarische sein, was mehr

bedeute als einen Wechsel der Themen und des Adressaten. Nicht das Ich, sondern das Kollektiv stehe bei der proletarischen Kunst im Mittelpunkt, hieß es in einem anderen Beitrag, und nur der Futurismus sei Kunst auf kollektivistischer Grundlage. Deshalb sei nur die »futuristische Kunst [...] in der heutigen Zeit die Kunst des Proletariats« (Natan Altman, Maler).

Neuanfang in der Kultur, da waren sie sich einig, hieß, möglichst radikal mit der Vergangenheit zu brechen. Wie man sich das vorstellte, formulierte Majakowski 1918 in einem martialischen Gedicht: Raffael, Rastrelli, Puschkin seien wie weißgardistische Generäle zu behandeln – sie seien an die Wand zu stellen. Am 12. April 1918 erließ der Rat der Volkskommissare ein Dekret, wonach alle für Zaren und ihre Diener errichteten Denkmäler, die weder von historischem noch künstlerischem Wert waren, abzutragen, ins Depot zu schaffen oder einer anderen Nutzung

erschienen in der Zeitschrift »Sowetskaja architektura« (1930), ein treffliches Beispiel. In diesem straffen Ablauf war alles auf die Minute organisiert – einschließlich Aufstehen, Waschen, Duschen, Anziehen, Händewaschen, Frühstück, Mittagessen, Abendessen. Nach acht Stunden Schlaf und acht Stunden Arbeit blieben laut »Tagesplan« noch vier Stunden für den Klub oder für Bildungsveranstaltungen, eventuell mit anschließendem Sauna- oder Schwimmbadbesuch, und vier Stunden für alles Übrige. Zeit für die Familie oder für Haushaltsarbeiten war nicht vorgesehen. Das war mitnichten ein Versehen: Nach Kusmins Vorstellungen sollte das Proletariat die Familie unverzüglich abschaffen, denn diese sei »eine Organisationsform des herrschenden Geschlechts«, ein Organ der Unterdrückung und Ausbeutung der Frau.

### **Moskau als Ansammlung von inselähnlichen Häusergruppen mit viel Wald dazwischen**

In den frühsowjetischen Konzepten zur Siedlungsplanung war der Vorbehalt gegenüber großen Städten als »kapitalistisches Erbe« deutlich spürbar. Er gab in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre einer ganzen Gruppe von Stadtplanern den Namen »Desurbanisten«, und selbst deren Gegner, die »Urbanisten«, waren von der Stadtfeindlichkeit kei-

neswegs frei. Desurbanismus stieß in Russland auf breite Zustimmung; er traf sich mit den Vorstellungen von Volkstümlern, Tolstojanern, religiösen Sekten und hatte bereits vor dem Ersten Weltkrieg den Grün- und Gartenstadtkonzepten des britischen Stadtplaners Ebenezer Howard (1850–1928) lebhaftes Interesse beschert.

Die Massenflucht aus Moskau und Petrograd während des Bürgerkriegs schien die Überzeugung zu bestätigen, dass den Metropolen nicht die Zukunft gehöre. Moskaus Einwohnerschaft war bis Anfang der 1920er Jahre auf weniger als die Hälfte, jene Petrograds auf fast ein Viertel der ehemaligen Größe geschrumpft. Vor dem Hintergrund dieser Erfahrungen ist auch der utopische Roman des Agrarwissenschaftlers Alexander Tschajanow zu sehen, »Reise meines Bruders Alexej ins Land der bäuerlichen Utopie« (1920), der Moskaus Bevölkerung auf 30 000 Einwohner zurückgehen sah und tiefe rurale Skepsis ausdrückte. Als dessen Held Alexej Kremnew nach 60-jährigem Schlaf 1984 in Moskau wieder aufwacht, sieht er die komplette Umgebung zu Gärten verändert: »Die gesamte Fläche bis dicht an den Kreml füllten weit ausladende Baumgruppen, in denen einsame Inseln architektonischer Einheiten zurückblieben [...] Zweifellos, dies war Moskau, aber ein neues Moskau, ein verwandeltes, lichter.« Und

zuzuführen waren. Anfang August desselben Jahres reichte die Abteilung für bildende Künste eine Liste von 66 Personen ein – Revolutionäre und revolutionäre Vordenker, Künstler und Gelehrte –, die man eines Denkmals für würdig befand. Allein für die neue Hauptstadt Moskau wurde im Sommer 1918 ein Wettbewerb für 50 neue Porträt-Denkmäler ausgeschrieben und ein Höchstbetrag pro Denkmal festgelegt; die Entwürfe waren bis Ende September einzureichen.

Im Dekret vom April erging auch der »dringliche« Auftrag, die Städte für den 1. Mai festlich zu schmücken und Aufschriften, Embleme, Straßennamen, Wappen und so weiter durch neue zu ersetzen, die »die Ideen und Gefühle des revolutionären, werktätigen Russland« zum Ausdruck brächten. Was im Mai eher improvisiert begann, setzte sich im Herbst, zum ersten Jahrestag der Oktoberrevolution, sehr viel straffer organisiert fort. Bedeutende bildende Künstler wirkten dabei mit. Natan Altman modelte den Petrograder Schlossplatz um, platzierte auf dem

Torbogen des Generalstabsgebäudes eine rote Farbtafel, drapierte die Fassade mit Spruchbändern (»Das Land – den Werktätigen«, »Die Fabrik – den Werktätigen«), machte aus der Alexandersäule eine kubistische Fackel der Revolution und hingte an den Winterpalast ein Plakat (»Wer ein Niemand war, wird alles sein«). Die Behörden stellten reichlich Material und Arbeitskräfte bereit. Chagall und seine Schüler schmückten die weißrussische Stadt Witebsk mit Paneelen, die fliegende Menschen und schwebende Gebäude zeigten. In diesem Zusammenhang entstand wohl auch sein bekanntes Bildmotiv eines Bauern, der ein Gutshaus aus den Fundamenten gehoben hat und wie zum Wurf über dem Kopf hält.

Das Jubiläum machte Schule. Straßenschmuck, Denkmalseinweihungen, Umzüge, szenische Darbietungen, Massenfeste entwickelten in den folgenden Jahren ihre eigenen Choreografien und Liturgien, mit denen sie die »alten« Feiertage verdrängen und ersetzen sollten.

»Straßen sind jetzt unsere Pinsel, Plätze die Paletten!«, hatte Majakowski seinen Künstlerkollegen zugerufen, und er beteiligte sich selbst mit Karikaturen und Versen in den Ausstellungsfenstern der Russischen Telegrafagentur (ROSTA-Fenster), die das Weltgeschehen kommentierten. Gemeinsam mit den zahlreich gedruckten Revolutionsplakaten setzten sie in Zielsetzung und Ästhetik die Tradition russischer Volksbilderbogen (»lubki«) fort.

Doch eines machte die bolschewistische Führung den »Avantgardisten« von Anfang an klar, nämlich dass sie ihnen die von ihnen geforderte Autonomie niemals geben könne. Die Bolschewiki behielten sich vor, selbst zu definieren, wie die »neue Gesellschaft« aussehen sollte und wie sich der »neue Mensch« in sie einzufügen hatte. Hellsichtige wie der russische Schriftsteller Jewgeni Samjatin (1884–1937) warnten bereits Anfang der 1920er Jahre, wohin das führen konnte: zu einer gläsernen Welt unter dem Joch der Vernunft – oder Schlimmerem.

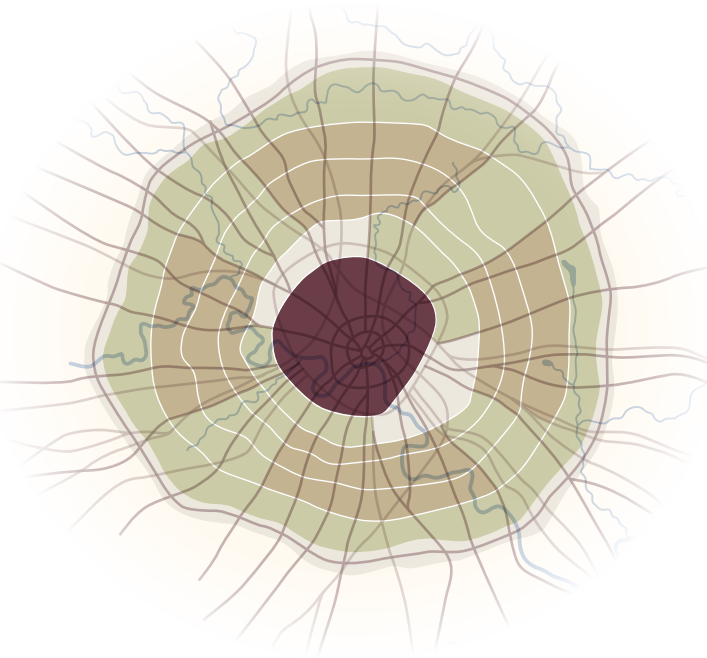


bei einer Stadtrundfahrt muss er sich belehren lassen: »Heute, wenn Sie so wollen, gibt es überhaupt keine Städte im eigentlichen Sinne mehr, sondern nur noch Orte, die als Knotenpunkte sozialer Verbindungen dienen. Jede unserer Städte ist nichts anderes als ein Versammlungsort, ein zentraler Platz des Verwaltungskreises. Es ist kein Ort, an dem man lebt, sondern ein Ort für Feierlichkeiten, Versammlungen und einige andere Anliegen.«

Desurbane Skepsis spiegelte sich auch in Plänen für eine Neuordnung Moskaus aus der ersten Hälfte der 1920er Jahre wieder, die vorsahen, den historischen Kern und die Randbezirke in Anlehnung an das Gartenstadtkonzept umzugestalten. Nach einem Projektentwurf des rumänisch-russischen Architekten Alexei Schtschussew sollten die historischen Gebäude im Stadtkern freigestellt und durch einen Gartenstadtring umgeben werden. Schtschussew lieferte zudem den ersten Entwurf für das Lenin-Mausoleum, plante und leitete den Bau des Hotels Moskwa und gab dem Moskauer Architekturmuseum seinen Namen. Ein ganz ähnliches Konzept präsentierte der Stadtplaner Sergei Schestakow für »Groß-Moskau«, indem er dem erweiterten Stadtkern zwei Industriezonen und vier Gartenstädte zuordnete, die wiederum durch Grünzonen voneinander getrennt sein sollten (Bild unten).

Die Berufung auf die »neuen Klassiker« Marx, Engels und Lenin lieferte den Desurbanisten zusätzliche Argumente. Wie diese stellten sie sich in der so genannten zweiten Städtebaudiskussion seit Ende der 1920er Jahre vor, dass sich die Industrie künftig entlang der Verkehrs-

**In den 1920er Jahren sahen Pläne für »Groß-Moskau« vor, dem erweiterten Stadtkern zwei Industriezonen und vier Gartenstädte zuzuordnen, die durch Grünzonen getrennt sein sollten.**



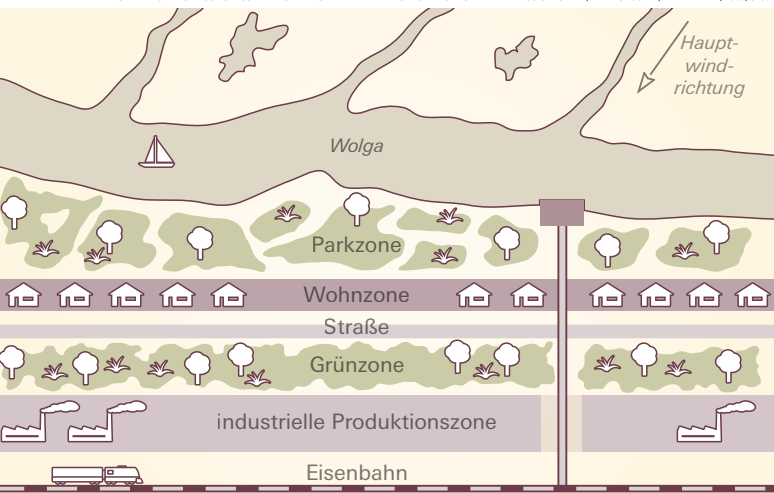
- |   |   |
|---|---|
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #4b0052; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Stadtkern      | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #8b4513; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Gartenstädte |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #d9ead3; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Industriezonen | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #92d050; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Grünzonen    |

wege über das ganze Land verteilen und parallel dazu die Wohnungen verlaufen sollten, inmitten von Feldern und Wäldern, was die Wege zwischen Wohnung und Arbeitsplatz kurz, die Gesellschaft autonom und obendrein mobil machen würde – so die Idee. Gegenentwürfe wie die »SozStadtKonzeption« des Soziologen Leonid Sabsowitsch hielten zwar an der Stadt fest, verstanden darunter aber kompakte, systematische Ansiedlungen von 40 000 bis 60 000 Menschen nahe großer Industrieunternehmen oder Sowchosen, unter Wegfall der früheren Dörfer. Wieder andere Konzepte schlugen eine so genannte Linearstadt als Muster für die neue sozialistische Planstadt vor, in der die Produktionszone von der Wohnzone durch einen Grün- und Parkstreifen getrennt sein sollte. Die Unterschiede zum desurbanistischen Konzept waren jedoch allenfalls gradueller, nicht prinzipieller Natur. Ein Beispiel hierfür ist Nikolai Miljutins Besiedlungsschema für Stalingrad aus dem Jahr 1930 (Bild rechts): Der Wolga schließen sich eine Park- und Wohnzone, eine Straße, eine Grün- sowie industrielle Produktionszone und schließlich die Eisenbahn an. Der Pfeil in der rechten oberen Bildecke gibt die vorwiegende Windrichtung an.

Doch die Architekten und Stadtplaner verfehlten das gesetzte Ziel, den Alltag sowie die Produktions-, Wohn- und Lebensverhältnisse in Stadt und Land anzugleichen und auf sozialistischer Grundlage vollständig umzugestalten. Sie konnten es schon deshalb nicht erreichen, weil das meiste von dem, was sie konzeptionell zu Papier brachten, nie realisiert wurde. Als die Partei 1930 ihre Bemühungen als »schädlich«, »abgehoben«, »utopisch« verwarf, verwies sie auf die fehlende Bereitschaft der Bevölkerung und mangelnde Ressourcen: Alle verfügbaren Mittel würden nun für den Aufbau der Schwerindustrie gebraucht. Erst recht seit den Krisenjahren 1932/33, als die Planungseuphorie verfliegen war, sich die Zukunftsaussichten verdüsterten und Millionen Sowjetbürger als Folge der Kollektivierungspolitik verhungerten, war dafür kein Geld mehr da.

Beide von der Partei vorgebrachten Argumente beschrieben, jedes auf seine Weise, das Scheitern und Abrücken vom kommunalistischen Konzept. Zum einen war es nicht gelungen, dafür breitere Zustimmung zu finden, die über die Partei und die Intelligenzija hinausreichte. Die Arbeiter dafür zu begeistern, war schon in der Revolution nicht geglückt. Selbst wenn sie zu Hunderttausenden in Wohnungen der »Bourgeoisie« umquartiert wurden, dort Hauskomitees bildeten, gemeinsame Küchen nutzten und sich als Kommunen bezeichneten – ihre Zahl ging in Moskau und Petrograd in die Hunderte –, wurden sie damit noch nicht zu Kommunarden. Diese Gemeinschaftswohnungen oder »Kommunalkas« waren eher ein Beispiel dafür, zu welchen Verwerfungen im Alltag die Revolution geführt hatte, als dass hier beispielhaft eine sozialistische Lebensweise eingeübt und vorgelebt wurde. Alle darauf aufbauenden und weitergehenden Versuche des Kriegskommunismus waren schließlich am massiven Widerstand der Bevölkerung gescheitert.

Seit 1921 schien die Zeit über die »Kommunalkas« hinweggegangen zu sein, selbst wenn sie gelegentlich als Biotop überlebten. Im Radikalismus der späten 1920er und



Hinter diesem Schema von 1930 (Nachzeichnung) steckt die Idee einer Linearstadt. Stalingrad, das heutige Wolgograd, sollte demnach in lang gestreckte Zonen untergliedert werden.

frühen 1930er Jahre lebten die alten Konzepte allerdings noch einmal auf – und beschäftigten Architekten und Stadtplaner mehr als je zuvor. Die Sowjetführung beschloss, ihr altes Ziel der Angleichung von Stadt und Land mittels Zwangskollektivierung zu erreichen und alle verfügbaren Ressourcen in den Aufbau der Schwerindustrie sowie in energetische Großprojekte zu stecken.

### 50 Meter breite Prestigestraßen als Ausweis einer modernen, aber geschichtsbewussten Metropole

Als sich der Sturm dieser Umbruchsjahre gelegt hatte, die man in Anlehnung an die schrecklichen 1960er und 1970er Jahre in China nachträglich als »Kulturrevolution« bezeichnete, setzte die Führung auf Konsolidierung. Mit den neuen Wertevorstellungen von »Heimat« und »Vaterland« kam auch deren Geschichte wieder zu Ehren, steigeworden in der Hauptstadt Moskau. Zur modernen Metropole ausgebaut, stand sie für die Verknüpfung von Vergangenheit und Zukunft. Hierfür dienten Prestigeobjekte wie die U-Bahn und Repräsentationsbauten wie die Gorki-Straße, die von 16 bis 18 Meter auf 50 bis 60 Meter verbreitert wurde. Moderne Wohnhäuser, deren Einheiten für jeweils eine Familie geplant, aber wegen des knappen Wohnraums mit vier bis fünf Familien belegt wurden, verkamen de facto zur »Kommunalka«; das Stadtgebiet verdoppelte sich nach Eingemeindungen auf 60 000 Hektar; und als weiteres Ausbauziel wurden fünf Millionen Einwohner ausgegeben.

Was dabei herauskommen kann, wenn auf Geschichte und vorgegebene Stadtstrukturen keine Rücksicht genommen zu werden braucht, zeigt eindrucksvoll das Beispiel von Magnitogorsk. Als erste vollständig neu geplante Stadt und Zentrum der Stahlerzeugung im Südrural sollte sie der Welt die Überlegenheit sozialistischer Lebensweise und Staatlichkeit vor Augen führen. Obwohl der Planungsaufwand erheblich war, hatte das Ergebnis mit Planmäßigkeit nur wenig zu tun. Den Ende 1929 ausgeschriebenen Wettbewerb hatte der Architekt S. Tschernyschew mit

einer Projektskizze gewonnen, die von Riesenwohnblocks bis zu öffentlichen Speiseanstalten und Leseräumen so ziemlich alles bot, was von einer sozialistischen Modellstadt erwartet werden durfte. Doch da das Konzept wenig Spektakuläres enthielt, beauftragte die Sowjetführung den deutschen Architekten Ernst May mit der weiteren Stadtplanung. Er hatte als Frankfurter Stadtbaurat mit »funktionalistischen« Trabantenstadtsiedlungen international Aufsehen erregt.

Als May 1930 nach Magnitogorsk kam, musste er rasch einsehen, dass sein Entwurf einer Linearstadt so nicht mehr zu verwirklichen war. Mit dem Bau des Stahlwerks war bereits begonnen worden; wo die Stadt entstehen sollte, befanden sich die provisorischen Behausungen der Arbeiter; und ökonomische und ökologische Überlegungen ließen sich nur noch schwer zur Deckung bringen. Als die Sowjetführung den deutschen Architekten 1932 von seinen Verpflichtungen entband und er die UdSSR frustriert wieder verließ, war gerade erst der Bau des ersten Wohnblocks angelaufen. Der politische Wind hatte inzwischen gedreht: Die Verantwortlichen warfen May »mangelnden Leninismus« vor und fanden die ursprünglich geforderte Konformität nun »kasernenartig«.

Die Führung nutzte den Wechsel, um die Planungen Magnitogorsks Ende 1933 noch einmal völlig umzustößeln. Was bis zum Ende der 1930er Jahre herauskam, war – mit den Worten des amerikanischen Historikers Stephen Kotkin – ein »riesiges Industriegelände von 100 Quadratkilometern«, das zu einem erheblichen Teil aus »ländlich wirkenden Ansiedlungen mit schmutzigen Hütten, Parzellen und Kleinvieh« bestand, in der Zahl nur noch übertroffen von endlosen »Barackenreihen«, die dem Ort ein militärisches Aussehen gaben. Zusammengenommen bildeten diese schon so etwas wie eine Linearstadt, nur dass der Grüngürtel zwischen Produktions- und Wohnstätte, auf den die Stadtplaner einst so stolz gewesen waren, fehlte und eine etwaige Nähe zwischen Wohnung und Arbeit bloßer Zufall war. »Teils Barackensiedlung, teils Dorf, teils Arbeitslager und Verbannungsort, teils Elitenenklave und neue City«, resümiert Kotkin, »die hybride Verfassung von Magnitogorsk war ein Mikrokosmos der Sowjetunion während der sozialistischen Aufbaujahre.« ◀

### QUELLEN

**Altrichter, H.:** Ernst May: Musterstädte in der Sowjetunion. In: Möller, H., Čubar'jan A. (Hg.): Deutsch-russische Kulturbeziehungen im 20. Jahrhundert. Einflüsse und Wechselwirkungen. De Gruyter, Berlin, Boston 2016

**Altrichter, H.:** »Totalitarismus« als europäische Idee. In: Donig, S. et al. (Hg.): Europäische Identitäten – Eine europäische Identität? Nomos, Baden-Baden 2005

**Bodenschatz, H., Post, C. (Hg.):** Städtebau im Schatten Stalins. Die internationale Suche nach der sozialistischen Stadt 1929–1935. Braun, Berlin 2003

**Chan-Magomedow, S.O.:** Pioniere zur neuen sowjetischen Architektur in den zwanziger und zu Beginn der dreißiger Jahre. Löcker, Wien, Berlin 1983

**Starr, S.F.:** Melnikov: Solo Architect in a Mass Society. Princeton University Press, Princeton 1981





CÔNG TY CỔ PHẦN KHUẨN  
LI MỸ GIẶT BÀNG BẮC KINH



# VIETNAM DIE HÜGEL DER SALZSIEDER

Das Meer lieferte den Vorfahren der Khmer schon vor 3000 Jahren das überlebenswichtige Salz. Doch anders als heute lag das Zentrum der Produktion nicht an der Küste, sondern im Hinterland.



Salinen säumen heute Vietnams Küste. Salz zu gewinnen, ist einfach und nachhaltig: Die Sonne lässt das Meerwasser in flachen Becken verdunsten, und die begehrten Kristalle fallen aus. In Vietnam führten Migranten dieses Verfahren erst im 17. Jahrhundert ein. Zuvor wurde das salzhaltige Wasser in Siedeöfen verdampft.





**Andreas Reinecke** ist Chefkurator der Wanderausstellung »Schätze der Archäologie Vietnams«, die er gemeinsam mit den Teams der archäologischen Museen in Herne, Chemnitz und Mannheim konzipierte. Er arbeitet als Referent für Südostasien am Deutschen Archäologischen Institut in Bonn und forscht vor allem zu Vietnam und Kambodscha.

► [spektrum.de/artikel/1497903](https://spektrum.de/artikel/1497903)

► Man vermenge drei Teile Fisch mit einem Teil Salz und lasse das Ganze mehrere Monate lang stehen. Das Ergebnis des Fermentierens ist die Fischsoße »nuoc mam«, eine zu fast allen vietnamesischen Speisen gereichte Zutat. Vermutlich entstand die Würze bereits in prähistorischer Zeit zufällig bei der Fischkonservierung. Denn jahrtausendlang war das Salzen eines der wenigen Verfahren, Lebensmittel im feuchtwarmen Klima Südostasiens haltbar zu machen.

Unzählige Salinen säumen heutzutage die süd- und mittelvietnamesische Küste, wo wärmere Bedingungen herrschen als im Norden. Sie funktionieren so, wie an vielen anderen Orten der Welt auch: Meerwasser wird in flache Becken geleitet, wo es in der Hitze langsam verdunstet; am Ende fallen die gewünschten Kristalle aus und werden mit einem Schieber gehäufelt. Aus einem Kubikmeter Wasser mit einem Gewicht von gut einer Tonne lassen sich auf diese Weise etwa 35 Kilogramm Salz gewinnen. Das Verfahren scheint derart einfach, dass die Annahme nahelag, so sei man schon in der Vorzeit zu Werke gegangen. Doch Archäologen des Deutschen Archäologischen Instituts, der Universität Hanoi und des Provinzmuseums Long An kamen in den Jahren 2003 bis 2007 zu einem überraschend anderen Ergebnis. Die noch andauernde Auswertung der Ausgrabungen eröffnet den

## AUF EINEN BLICK MEERWASSER FÜR DAS HINTERLAND

- 1** In der Bronzezeit gewannen die Vorfahren der Khmer Salz offenbar in Siedöfen. Das belegen Millionen von Tonfragmenten am Siedlungsplatz Go O Chua im Grenzgebiet zum heutigen Kambodscha.
- 2** Als Rohstoff kommt dafür nur Meerwasser in Frage, obwohl der Ort nicht an der Küste lag. Vermutlich wurde die Sole mit Booten herangebracht.
- 3** Erst Ende des 17. Jahrhunderts entstanden an der vietnamesischen Küste Salzfelder, wie man sie heute kennt. Vor allem unter französischer Kolonialherrschaft wurde diese Industrie ausgebaut.

Blick auf einen zuvor unbekanntem Anfang der Salzgeschichte in dieser Region.

Der wichtigste Ausgrabungsplatz für die prähistorische Salzgewinnung heißt Go O Chua; er wurde zufällig gefunden: Vietnamesen fanden auf drei Hügeln tausende eigenartige Tonbruchstücke, wie sie in Südostasien noch nie entdeckt worden waren. Man hielt sie zunächst für Fragmente von Lampenständern. Der Ausgrabungsplatz liegt nahe der Grenze zu Kambodscha, etwa 100 Kilometer westlich von Ho-Chi-Minh-Stadt, dem früheren Saigon. Die umliegende Ebene ist gegen Ende der Regenzeit oft so überflutet, dass sich die Einwohner der benachbarten Dörfer heutzutage auf die bis zu fünf Meter hohen Hügel flüchten. Deren Fläche umfasst 65 000 Quadratmeter, von denen inzwischen knapp 300 Quadratmeter ausgegraben wurden. In den maximal vier Meter dicken Kulturschichten fanden die Archäologen zunächst etliche Gräber aus der Eisenzeit, meist aus dem 4. bis 2. Jahrhundert v. Chr. Doch für die Salzgeschichte Vietnams sind die älteren Ablagerungen interessanter. Holzkohleproben aus diesen Schichten wurden mit der Radiokohlenstoffmethode auf die Zeit zwischen 1000 und 500 v. Chr. datiert.

Vor 3000 Jahren lebten in diesem Gebiet die Vorfahren der Khmer; Vietnamesen wanderten erst im 17. und 18. Jahrhundert aus dem Norden ein. Im Wesentlichen hinterließen die ersten Siedler prähistorischen Müll: Gut 140 000 tönerner Fragmente kamen zu Tage, aber auch ein paar komplette Stücke. Das waren Stäbe von maximal 30 Zentimeter Länge, die an einem Ende zu einem Trichter, am anderen zu drei Spitzen ausgezogen sind. Basierend auf den Grabungen und gezielten Sondagen schätzen Experten, dass die drei Hügel weit mehr als zehn Millionen Fragmente von etwa zwei Millionen dieser Keramiken bergen.

Bei weiteren Erkundungen fanden sich noch wenige hundert der gleichen Artefakte an etwa einem Dutzend Fundplätzen im Umkreis von 20 Kilometern – aber nirgendwo sonst in Südostasien. Es handelt sich offenbar nicht um Handelsware, sondern um Gerätschaften, die an einem zentralen Platz sowie in kleineren Filialen hergestellt, benutzt und entsorgt wurden.

### Öfen zum einmaligen Gebrauch

Wozu dienten diese Stützen? Wusch man die Erde vom trichterförmigen Ende, wurde dessen Innenseite oft schmierig, die spitzen Ausläufer hingegen nicht. Das deutet darauf hin, dass man die Keramiken ungebrannt mit diesem Ende am Boden benutzte, die Spitzen hingegen während des Gebrauchs höheren Temperaturen ausgesetzt waren. Etliche von ihnen nahmen dabei Schaden und zerbrachen. Fehlte nur ein kleines Stück oder hatte der Schaft einen leichten Riss bekommen, wurde die Stelle mit Lehm ausgebessert und die Keramik ein zweites Mal verwendet. Mehr als 1000 solcher Reparaturen haben die Forscher nachgewiesen.

Einen weiteren Hinweis auf die Verwendung gibt der Blick in einen anderen Kulturkreis. Salzsieder in der Manga-Region im afrikanischen Niger setzten noch in den 1970er Jahren mehrere hundert vergleichbarer Stützen in





MIT FROL. GEN. VON LUYEN REINECKE

SPEKTRUM-SERIE  
**Archäologie in Vietnam**

Teil 1: Oktober 2017  
**Vietnams Altsteinzeit als Bambuszeit?**  
Ingo Kraft und Johann Friedrich Tolksdorf

Teil 2: **November 2017**  
**Die Hügel der Salzsieder**  
Andreas Reinecke

Teil 3: Dezember 2017  
**Bronzetrommeln**  
Andreas Reinecke

Über einen kleinen Kanal gelangen Forscher zur Ausgrabungsstätte Go O Chua, wo in der Bronzezeit Salzsieder arbeiteten. Der Fundort liegt in der Baumgruppe im Hintergrund des unteren Bildes. An der Grabung (Foto links) waren deutsche und vietnamesische Archäologen beteiligt.

MIT FROL. GEN. VON THORSTEN BEHRENDT







Reihe nebeneinander, um darauf je ein kleines Tongefäß mit Sole zu stellen. Formgleiche Keramiken benutzte man zu diesem Zweck auch während der Bronze- und Eisenzeit in Europa. Diese Parallelentwicklung ist umso verblüffender, als einige in Sachsen-Anhalt entdeckte Exemplare wie ihre vietnamesischen Verwandten drei mit Daumen und Zeigefinger erzeugte »Kniffe« unterhalb der Spitzen aufweisen – möglicherweise dienten sie zu deren Befestigung an das obere Ende des konischen Mittelteils der Stütze.

Die Öfen in Go O Chua waren sicher nur so groß, dass die darauf stehenden Siedegefäße mit einer Schöpfkelle erreichbar waren. Über viele Jahrhunderte hinweg wurde in Go O Chua vermutlich auf dieselbe Weise Salz gewonnen: Man nutzte die Keramiken als »Ständersystem« in einem aus Lehm gebauten Ofen, der nach einmaliger Verwendung zerstört wurde, so dass nur wenige Spuren blieben. So dürften mit der Zeit tausende Siedeöfen mit jeweils einigen hundert Tonstützen auf den Hügeln in Betrieb gewesen sein.

Bislang brachten die Grabungen keine Keramik zum Vorschein, deren Form und Stückzahl eine Verwendung

als Siedebehälter nahelegen würde. Das widerspricht der These aber nicht. Autoren der Neuzeit notierten, dass in Südostasien dafür auch organische, aber recht hitzebeständige Materialien wie Bambus oder Kokosnuss verwendet wurden; gelegentlich hat man deren Außenseite mit Kalk ummantelt, so dass sie vor Feuer geschützt waren. Kaum ist ein Rätsel gelöst, stellt sich das nächste: Es gab in Go O Chua und Umgebung weder Solequellen noch salzhaltige Böden oder Pflanzen. Also lieferte das Meer den Rohstoff, doch heutzutage trennen gut 140 Kilometer Hügel und Küste. War dem vor 3000 Jahren also nicht so? Tatsächlich wissen Küstenforscher, dass der Meeresspiegel vor 6000 bis 4000 Jahren einige Meter höher war und sich nur langsam auf das heutige Niveau eingepegelte.

Aus Sicht des Archäologen spricht die Verbreitung der Fundplätze jener Epoche für eine näher gelegene Küste: Das ganze Mekongdelta war bis zur Zeitenwende wohl nur spärlich an etwas erhöhten Plätzen bewohnt. Das deutet auf eine von Buchten und weit in das Inland reichenden Meereszungen geprägte Landschaft, in der Gezeiten und Überflutungen die Menschen obendrein von der Küste fernhielten.



In Go O Chua haben Archäologen Überreste tausender Tonstützen ausgegraben (links). Nur wenige sind ganz erhalten wie das aufrechte Exemplar. Einige hatten einen rechteckigen Schaft (liegend).



MIT FOT. GEN. VON NGUYEN QUOC BINH, LVU-MUSEUM FÜR ARCHÄOLOGIE

Geomorphologische Untersuchungen im Mekongdelta ergaben zwar bisher keine eindeutige Rekonstruktion des damaligen Küstenverlaufs, stimmen aber in einem Punkt überein: Go O Chua lag im Hinterland, einige Dutzend Kilometer vom Meer entfernt. Doch unmittelbare Nähe war für die Siederei gar nicht erforderlich. Das macht ein chinesisches Buch aus der Yuan-Periode (1279–1368) deutlich: »Aobo Tu«, zu Deutsch »Illustrierte Siederei von Meerwasser«. Es beschreibt die Xiasha-Saline nahe dem heutigen Schanghai. Sie lag zwar an der Küste, erstreckte sich aber so weitläufig, dass die Sole weder zu den Herdstellen getragen noch durch Bambusrohrleitungen dorthin befördert werden konnte.

Vielmehr wurden spezielle Boote über solche Leitungen mit jeweils rund 1000 Liter Meerwasser befüllt und dann von Büffeln entlang der Kanalufer zu den Siedeplätzen geschleppt. Mit Eimern schöpften Arbeiter das Gut wieder heraus und trugen es zu Bassins, von denen dann schließlich Bambusrohre zu den Herdstellen führten. Kreativität und Muskelkraft halfen also, die größere Distanz zum Rohstofflieferanten Meer zu überbrücken. Das erlaubte, Siedeorte zu wählen, die ausreichende Ressourcen an

Brennstoffen und Ton aufwiesen, gegen Hochwasser und Feinde geschützt waren sowie in der Nähe der Haupthandelswege lagen.

Aus anderen Regionen Südostasiens sind verschiedene Methoden traditioneller Salzgewinnung bekannt, doch allen gemeinsam ist das abschließende Eindampfen der Sole in Siedegefäßen. In Halin in der burmesischen Provinz Mandalay werden bis heute Löcher in salzhaltige Böden gegraben und mit Wasser gefüllt. Das löst das Salz aus der Erde; die Sole wird dann durch Filter aus Gras in Tonbehälter geleitet und schließlich in großen Blechwan- nen erhitzt. Ähnlich ging man beispielsweise im thailändischen Non Tung Pie Pone vor, wo Archäologen Lehmwan- nen, Herdstellen und Tonscherben von Siedegefäßen aus dem 2. Jahrhundert bis zum 7. Jahrhundert n. Chr. ausgruben.

Aus Kambodscha sind zwar noch keine archäolo- gischen Hinweise bekannt, doch Schriftquellen über die Khmer belegen, dass sie wie ihre Vorfahren von Go O Chua Meerwasser eindampften. An der südchinesischen Küste bei Hongkong schließlich kennen Forscher seit Langem mehr als hundert Lehmöfen aus der Zeit der Südlichen Dynastien (420–589) und der Tang-Zeit (618–907). Sie ordneten sie zunächst der Kalk- oder Keramik- herstellung zu, doch die dort entdeckten Tonstützen lassen die Anlagen in einem anderen Licht erscheinen.

Ein bronzezeitliches Siedezentrum vom Rang Go O Chua kam bislang aber nirgendwo sonst zum Vorschein. Sicherlich lebten die Sieder auf den Hügeln, also nahe der Öfen. Nichts unter den Funden deutet auf Wohlstand hin. In Südostasien war und ist das Gewinnen von Meer- salz ein Geschäft der Ärmsten, das weniger Investitionen als die Bewirtschaftung von Reisfeldern verlangt und das Bauern während der Trockenzeit oft als Nebengewerbe betreiben. Salzproduktion war eine der wenigen Mög- lichkeiten, in dem an Rohstoffen armen Mekongdelta – selbst Stein musste importiert werden – eine begehrte Handels- ware zu gewinnen.

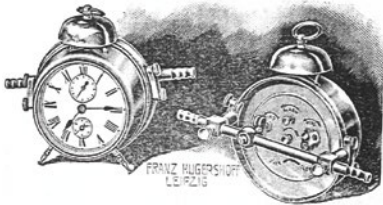
Am Ende des 17. Jahrhunderts brachten chinesische Einwanderer schließlich eine neue Technologie mit: das Abernten von Salzfeldern, wie wir es heute kennen. Zwar wurden die Migranten 1782 in Bürgerkriegen ermordet, doch unter Kaiser Gia Long (regierte 1802–1820) begannen die Anwohner erneut, Salzfelder zu bewirtschaften. Noch heute werden Salzbauern mit einem Wort chinesischen Ursprungs als »diem dan« bezeichnet – also als Leute, die Salz machen.

Anlagen von mehreren Hektar Größe kamen erst wäh- rend der französischen Herrschaft auf, vermutlich als Folge einer mit der Bevölkerung wachsenden Nachfrage, sicherlich aber auch zur Gewinnmaximierung seitens der Steuern erhebenden Kolonialmacht. Diese Salzfeldsysteme ermöglichten es, das geerntete Gut in zentralen Siedereien aufzubereiten. Die waren – auch dank einer umfangrei- chen Lagerhaltung – ganzjährig ausgelastet, was die Ren- tabilität steigerte. Obwohl also die Sole mit ganz un- terschiedlichen Methoden gewonnen und zu Salz weiterver- arbeitet wurde, blieb das weiße, saubere Salz das Ziel von Herstellern, Händlern und Käufern. ◀



# 1917

## AUFGERÜSTETER WECKER



Jedermann kann einen Wecker leicht zu einem Gasabsteller umfunktionieren.

»Automatischer Gasabsteller: Es besteht überall, wo chemisch gearbeitet wird, ein Bedürfnis nach einer Vorrichtung, welche von selbst zu einer bestimmten Stunde

einen Gasstrom abdreht. Sehr viele Operationen lassen sich sehr gut in den Ruhestunden des Laboratoriums zu Ende führen. Der geschlitzte Flügel des Gashahnes wird in den Flügel der Weckerfeder eingelegt, wobei die Achsen des Hahnes und der Weckerfeder in einer Verlängerung liegen müssen. Sobald sich das Weckwerk in Bewegung setzt, wird innerhalb weniger Sekunden durch den sehr starken Federzug der Hahn des Abstellers zugezogen. Die große Billigkeit, mit der die Weckuhr im Handel zu erhalten ist, ermöglicht seine Verwendbarkeit in größerer Anzahl in den Laboratorien.« *Die Umschau* 48, S. 856

## KRIEGSBROT

»Seit der gesetzlichen Einführung der 94-prozentigen Ausmahlung des Brotgetreides im März 1917 stellt das Kriegsbrot ein kleiehaltiges ›Vollkornbrot‹ dar, das aber nach Ansicht der wissenschaftlichen Deputation in Preussen öfter zu Gasbildung im Darm, Blähsucht usw. Anlass gibt. Hinzu kommt, dass im Krieg bei der Brotbereitung das Mehl mit oft minderwertigen Streckmitteln verlängert werden musste. Zu dem Kohlrübenbrot werden wir hoffentlich nicht mehr zurückzukehren brauchen. Wiederholt ist der Geschmack und der Geruch [von Kriegsbrot] als widerlich und ekelregend empfunden worden.«

*Gesundheit* 21, S. 335

## LÜCKEN IM SCHWARM

»Zwischen der Bahn des Jupiter und des Mars ist eine große Zahl kleiner Planeten im Umlauf; im Jahr 1917 wurden 807 gezählt. Es ist nun manchem Leser bekannt, daß sich diese kleinen Himmelskörper nicht gleichmäßig verteilen. Die meisten Planeten sind zwischen 600 und 900 Bogensekunden zu finden. Aber gerade der dichteste Schwarm zeigt eine Lücke bei 750. Weitere auffallenden Lücken sind bei 600 und 900. Offenbar fehlen die kleinen Planeten da, wo ein Mehrfaches der Winkelbewegung Jupiters ist.« *Kosmos* 11, S. 301

# 1967



Angelegene Früchte machen Elefanten zu Athleten.

## BESCHWIPSTE DICKHÄUTER

»Die Blätter und Früchte des Marula-Baumes werden von wildlebenden Tieren, insbesondere von Elefanten mit großer Vorliebe verzehrt. Der Marula-Baum (*Sclerocarya birrea*, *Anacardiaceae*) trägt nach der Regenzeit pflaumenähnliche Früchte, die von der afrikanischen Bevölkerung zur Herstellung eines bierähnlichen Getränkes verwendet werden. Die Elefanten werden betrunken, taumeln wild umher und richten sich häufig auf den Hinterbeinen auf, um noch mehr Früchte zu erreichen. Im Krüger-Park (Südafrika) müssen die Parkhüter jährlich etwa 30 betrunkene Elefanten wegen ihrer Bösartigkeit und Angriffslust töten.«

*Naturwissenschaftliche Rundschau* 11, S. 483

## BIG DATA IN DER LITERATUR

»In Edinburgh soll ein sehr interessanter Vortrag über die Autorenforschung mittels elektronischer Datenverarbeitungsanlagen gehalten werden. Entgegen der allgemeinen Ansicht, daß sich der Stil eines Autors im Laufe seines Lebens wandelt, kann nachgewiesen werden, daß viele Spracheigenheiten und stilistische Rhythmen gleichermaßen in den frühesten und in den spätesten Werken aufgezeigt werden können. Der Vortrag wird sich neben der Autorenschaft auch mit der Datierung einzelner Werke befassen. Es könnte durchaus gelingen, auf diese Weise z. B. der Shakespeare- oder der Homer-Forschung neue Impulse zu geben.« *Elektronik* 11, S. E171

## FEINGEFÜHL DURCH ASTHMA

»Asthmatiker hören Ultraschall. Das paßt in das Bild, bei dem Asthmatiker nicht nur gegen Schall, sondern auch gegen andere Sinnesreize überempfindlich sind. Nach dem Forscher Dr. R. K. Mason bringt die Phylogenese des Gehörs eine Verbindung zur Atemregulation mit sich. Auch beim Asthmatiker sinkt die wahrgenommene Schallfrequenz mit dem Lebensalter, doch liegt sie stets weit höher als bei gesunden Vergleichspersonen.«

*Naturwissenschaftliche Rundschau* 11, S. 486

# duz digital

## Noch informativer:

Erfahren Sie mehr mit zusätzlichen Videos, Weblinks, Bildergalerien etc.

## Noch schneller:

Lesen Sie die duz schon zwei Tage vor Erscheinen der Print-Ausgabe.

## Noch preiswerter:

Sparen Sie 46 € im Vergleich zum Print-Abonnement.

## Ihr Vorteil:

Erhalten Sie zusätzlich ein kostenfreies E-Book nach Wahl – zu wichtigen Themen wie Qualitätsmanagement, Leadership, Akkreditierung und mehr.



# duz APP

## plus Ihr Wunsch-E-Book



# duz digital

plus  
E-Book  
gratis für Sie

## So funktioniert's:

1. duz APP kostenfrei herunterladen bei Apple, Amazon oder Google.
2. auf [shop.duz-medienhaus.de](http://shop.duz-medienhaus.de) unter *duz digital plus E-Book* App-Lizenz bestellen und E-Book aussuchen.
3. Ihren persönlichen Freischaltcode für die duz APP erhalten Sie innerhalb eines Tages per E-Mail.

Ihr Wunsch-E-Book suchen Sie sich einfach beim Bestellvorgang aus, Sie erhalten es nach dem ersten Zahlungseingang. Jede duz-Ausgabe können Sie auf Smartphone und Tablet nach dem Download auch offline lesen. Die duz APP kostet nur 98 € im Jahr.

## Haben Sie Fragen?

Wir beraten Sie gern.

[kundenservice@duz-medienhaus.de](mailto:kundenservice@duz-medienhaus.de)

Tel. 030 21 29 87 0





Zwei Langhornbienen (*Eucera longicornis*) halten sich an einer Pflanze fest.



Jan Michael Haft  
**WILDBIENEN  
UND SCHMETTERLINGE**  
Dokumentation, 90 Minuten  
polyband, München 2017  
€ 15,49 (DVD), € 17,88 (Blu-ray)

## ÖKOLOGIE GEFLÜGELTE MITBEWOHNER

**Bienen sind nützlich,  
Schmetterlinge schön –  
und beide vom  
Menschen bedroht.**

Regisseur Jan Michael Haft, vielfach ausgezeichnete deutscher Dokumentarfilmer, hat ein neues Werk vorgelegt. Diesmal widmet er sich der heimischen Insektenwelt. Sein Film »Wildbienen und Schmetterlinge« besteht

aus zwei Teilen. Der erste, »Biene Majas wilde Schwestern«, widmet sich den Wildbienen, der zweite, »Kinder der Sonne«, den Schmetterlingen.

Viele Menschen nehmen an, dass es in Mitteleuropa nur eine Bienenart gebe, die Honigbiene (*Apis mellifera*), da sie nur diese kennen. Haft klärt darüber auf, dass in der Region noch 560 weitere Wildbienenarten leben und es die Insekten bereits seit der Saurierzeit gibt. Da wären zum Beispiel die Samt-, Seiden-, Mauer-, Pelz- oder

auch die Wespenbienen. Die meisten von ihnen leben nicht in Kolonien, sondern als Einzelgänger. Als Zuschauer(in) erfährt man viele interessante Details, etwa dass sich die Bienen im Flug elektrisch aufladen, so dass sie den Pollen anziehen.

Immer wieder macht die Doku deutlich, wie wichtig die Bienenerhaltung ist und wie der Mensch positiv zu ihr beitragen kann. So blühen Pflanzen in der Nähe aufgestellter Bienennisthilfen besonders üppig, weil sie von den dort ansässigen

NAUTILUSFILM, AUS JAN HAFT: WILDBIENEN UND SCHMETTERLINGS; MIT FROL. GEN. VON POLYBAND, MÜNCHEN

Eine Lein-Mauerbiene (*Hoplitis mocsaryi*) sitzt im Eingang ihres Nests.



NAUTILUSFILM, AUS JAN HAFT: WILDBIENEN UND SCHMETTERLINGS; MIT FROL. GEN. VON POLYBAND, MÜNCHEN

Unterirdische Bodennester baut die Fransen-Schmalbiene (*Lasio-glossum marginatum*).



gen Insekten bestäubt werden. Deshalb gibt es, wo viele Wildbienen leben, eine reiche Obsternte – eine Win-win-Situation. Umgekehrt sterben, wo Pflanzen eingehen, auch die Insekten.

Der Film zeigt, was es für Folgen hat, wenn der Mensch Wildwiesen zu Agrarflächen macht, Wälder immer homogener werden und Feuchtwiesen verschwinden. So benötigt die Mohnbiene die Blätter der gleichnamigen Blume, um damit ihre Brutröhre auszukleiden. Doch viele Mohn-

blumen fallen Unkrautvernichtungsmitteln zum Opfer, was langfristig auch für die Mohnbiene das Aus bedeutet. Ferner sind viele Wildbienen auf eine bestimmte Pflanzenart als Pollenquelle spezialisiert, weshalb sie zusammen mit dieser eingehen. Das macht die Anwesenheit der Tiere zu einem Umweltindikator.

Haft bezieht die Zuschauer in den Alltag der Insekten ein und lässt sie an deren gesamtem Lebenszyklus teilhaben. Etwa wenn die Schneckenhausbiene, die in Schnecken-

häusern nistet, mehr als 100 Transportflüge absolviert, um Baumaterial für ihr Nest zu sammeln, darunter bis zu zehn Zentimeter lange Halme. Auch über die Pflanzen selbst verrät die Dokumentation viel Interessantes. So zeigt die Blütenfarbe einer Pflanze die enthaltene Pollenmenge beziehungsweise das Alter an – bei Kastanien beispielsweise Gelb für viel Pollen und Rot für ein hohes Alter. Die Bienen nutzen das als Wegweiser beziehungsweise als Ampelsystem.

Die Domestikation der Honigbiene war eine der herausragenden kulturellen Leistungen, wie der Film darlegt. Die Insekten haben als Bestäuber einen ungeheuren Wert für die Landwirtschaft, der sich monatlich auf etwa 14 Milliarden Euro pro Jahr beläuft. Sicherlich nicht der einzige Grund, die rund 800 000 Bienenvölker in Deutschland zu schützen.

Die Schmetterlinge, um die es im zweiten Teil geht, sind für die meisten Menschen Sympathieträger. Doch auch bei ihnen gelten zwei Drittel der Arten als gefährdet und teils sogar vom Aussterben bedroht, denn sie leiden ebenfalls unter Monokulturen, Wirtschaftswäldern und anderen anthropogenen Einflüssen. Wie die Zuschauer erfahren, hat jede Jahreszeit ihre eigenen Schmetterlinge, und während die Larven auf bestimmte Pflanzenarten spezialisiert sind, bevorzugen die entpuppten (erwachsenen) Tiere als »Allrounder« keine bestimmte Spezies. Die Raupe des Tagpfauenauges (*Aglais io*) etwa befällt

Brennnesseln. Sie weidet in Gruppen, wodurch benachbarte Brennnesselpflanzen die beim kollektiven Fressen entstehenden Vibrationen registrieren und Abwehrstoffe bilden, die sie von der Fressinvasion schützen.

Schmetterlinge geben über Signalflecken in ihrem Muster Leuchtsignale im ultravioletten Bereich des Lichts ab. Diese sind für uns unsichtbar, nicht aber für Vögel, die im UV-Bereich wahrnehmen können. Federtiere sind deshalb eine große Gefahr für die Insekten. Generell haben es Schmetterlinge, die im Gebirge heimisch sind, etwas leichter, da sich ihr Lebensraum nicht so extrem verändert wie der in bewaldeten Ebenen, auf Lichtungen oder Feuchtwiesen. Auf das letztere Biotop sind zahlreiche Arten angewiesen, beispielsweise der beliebte Zitronenfalter (*Gonepteryx rhamni*). Mehr als eine Million Hektar Wiesen sind zu Maisfeldern umgewandelt worden, und die verbleibenden werden häufig gemäht und gedüngt. Das lässt die Artenvielfalt immer weiter schrumpfen.

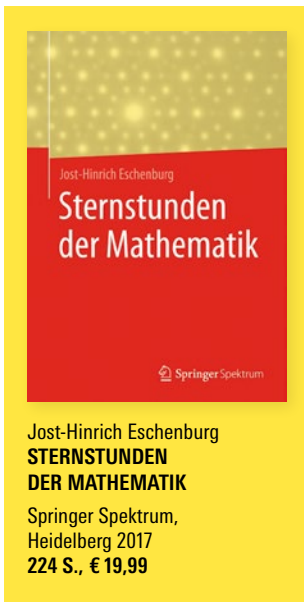
»Wildbienen und Schmetterlinge« macht einmal mehr deutlich, wie wichtig es ist, die Natur zu schützen und sich die weitreichenden Folgen ihrer Umstrukturierung klarzumachen. Der Regisseur schafft dies, ohne zu belehren. Vielmehr gelingt es ihm, die Zuschauer für die Tiere zu faszinieren. Der Film ist sehenswert für alle, die sich für Natur interessieren.

Julia Schulz ist Veterinärmedizinerin und Journalistin.



## MATHEMATIK GIPFELPUNKTE DER ERKENNTNIS

Ein emeritierter Professor für Differentialgeometrie beleuchtet 18 bedeutende mathematische Einsichten.



► Jost-Hinrich Eschenburg war bis zu seiner Emeritierung im Jahr 2015 Professor für Differentialgeometrie am Institut für Mathematik an der Universität Augsburg. Das Ende seiner Laufbahn krönte er mit einer Vorlesungsreihe namens »Sternstunden der Mathematik« (auf Youtube zu finden), deren Titel er an den eines Buchs von Stefan Zweig anlehnte. Aus diesen Lehrveranstaltungen ist das vorliegende Werk entstanden.

Zweig hatte sich in seinen »Sternstunden der Menschheit« mit herausragenden historischen Ereignissen befasst, etwa der Entdeckung des Pazifiks Anfang des 16. Jahrhunderts. Eschenburg hingegen stellt dar, wie bedeutende mathematische Einsichten zum ersten Mal formuliert und dann weiterentwickelt wurden. Die Entdeckung des Pazifiks beispielsweise könne man durchaus mit

jener der komplexen Zahlen durch Rafael Bombelli (1526–1572) vergleichen, schreibt der Autor. Er macht deutlich, dass es zu jeder dieser mathematischen Einsichten eine Vorgeschichte gab – gemäß der berühmten Metapher von Isaac Newton: »Wenn ich weiter geblickt habe, so deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand.«

Eschenburg räumt ein, seine Auswahl an Entdeckungen sei subjektiv und könne an vielen Stellen ergänzt werden. Das stimmt zwar, gleichwohl ist ihm mit den 18 behandelten Höhepunkten der Mathematikgeschichte eine wunderbare Zusammenstellung gelungen. Schön wäre es, wenn weitere Autoren die Sammlung ergänzen würden, die noch andere Forschungsschwerpunkte als Differentialgeometrie haben – etwa Analysis oder Algebra.

Laut Umschlagstext möchte das Buch »gleichermaßen mathematisch interessierte Laien und Fachleute ansprechen«. Für fachlich vorgebildete Leser(innen) ist die Lektüre in der Tat ein Genuss. Mathematisch interessierte Laien hingegen dürften spätestens in Kapitel 9 aufgeben, in dem es um die Galoistheorie geht. Trotz aller Bemühungen des Autors, die behandelten Themen möglichst elementar und anschaulich darzustellen, übersteigt die Menge der benötigten Vorkenntnisse zunehmend das Niveau von Nichtfachleuten.

Anders als Eric Temple Bells Klassiker »Men of Mathematics« (1937) geht das vorliegende Buch weit darüber hinaus, die Geschichte der Mathematik anhand wichtiger Stationen zu erzählen. Insbesondere in der zweiten Hälfte (von Riemann über Einstein und

## WISSENSCHAFTSKULTUR VERGNÜGLICHER AKADEMIKERSTREIT

In der Auseinandersetzung zwischen Geistes- und Naturwissenschaften zeigt sich, dass beide nicht scharf voneinander getrennt sind.

► Eine Historikerin und Germanistin und ein Physiker wagen als Trainer den ultimativen Boxkampf: Die eine schiebt die Geisteswissenschaften in den Ring, der andere die Naturwissenschaften. Über zehn Runden hinweg bieten die Autoren in lockerem Ton abwechselnd Anekdoten über verschiedene Protagonisten ihrer Zunft feil, garniert mit Anspielungen auf Tages-



Annika Brockschmidt,  
Dennis Schulz  
**GOETHE'S FAUST &  
EINSTEIN'S HAKEN**  
Der Kampf  
der Wissenschaften  
Rowohlt, Reinbeck 2017  
224 S., € 9,99

politik und Popkultur. Unter anderem duellieren sich Paul Dirac und Oscar Wilde darum, welche Disziplin den größten Exzentriker zu bieten habe. Daneben liefern die Autoren wissenschaftliches Hintergrundwissen, von der Vertrauenswürdigkeit historischer Quellen bis hin zur Funktionsweise von Motoren mit verbleitem Benzin. Das macht das Buch sowohl für geistes- als auch für naturwissenschaftlich Interessierte zu einer unterhaltsamen Möglichkeit, über den eigenen Tellerrand hinauszublicken und am Ende als Ringrichter ihre jeweiligen persönlichen Sieger zu küren. Die Autoren zeigen auf, dass die Grenze zwischen Geistes- und Naturwissenschaften nicht so trennscharf gezogen ist wie oft behauptet und beide Fraktionen viel voneinander lernen können. Katrin Hochberg

Gödel bis hin zu Perelmann) ähnelt es zunehmend einer anspruchsvollen Mathematikvorlesung für höhere Semester. Zu Beginn jedes Kapitels fasst der Autor gekonnt zusammen, um welches Thema es geht und worin jeweils der mathematische Fortschritt bestand, bevor er in die Details einsteigt.

Das erste Kapitel beispielsweise (Pythagoras: Verhältnis und Unendlichkeit) behandelt den historisch bedeutsamen Übergang vom Zählen zum Messen und beschreibt, wie über die Methode der Wechselwegnahme des euklidischen Algorithmus »die erste bewusst durchgeführte Zahlenbereichserweiterung der Mathematikgeschichte« eingeleitet wurde. Im zweiten Kapitel (Theodoros: Wurzeln und Selbstähnlichkeit) wiederum stellt Eschenburg dar, wie beim Beweis, dass Wurzeln aus Primzahlen irrational sind, bereits 400 Jahre vor Christus Kettenbruchentwicklungen eine Rolle spielten.

Zum besseren Verständnis enthält das Buch 100 Grafiken, die in den laufenden Text eingefügt sind. Zahlreiche Fußnoten bieten zusätzliche Erläuterungen und weisen auf Download-Möglichkeiten von Originaltexten hin, erschweren aber die Lektüre insofern, dass man den Lesevorgang automatisch unterbricht, um die Vermerke lesen – aus Sorge, eine wichtige Information zu verpassen. Das Literaturverzeichnis am Ende des Buchs ist knapp gehalten und verweist im Wesentlichen auf die Standardwerke zur Mathematikgeschichte. Das sechs

Seiten umfassende Stichwortverzeichnis dagegen fällt detailliert aus und versammelt alle relevanten Namen und Begriffe.

Zu jedem Kapitel gibt es Übungen, die teils sehr umfangreich sind und oft zusätzliche Informationen vermitteln. Vermutlich konnte der Autor diese Inhalte in seinen Vorlesungen nicht mehr unterbringen. Leider bietet das Werk den Lesern nicht die Möglichkeit, ihre Lösungsvorschläge zu den Übungen zu kontrollieren, was durchaus problematisch ist. Wünschenswert wäre es daher, die Übungen in späteren Auflagen eingehender zu behandeln.

Heinz Klaus Strick ist Mathematiker und ehemaliger Leiter des Landrat-Lucas-Gymnasiums in Leverkusen-Opladen.

## BELLETRISTIK »GOTTESMÖRDER« UND REVOLUTIONÄR

**Evolutionstheorie und Kommunismus vertreten beide materialistische Positionen. Was sich deren Urheber wohl zu sagen gehabt hätten?**

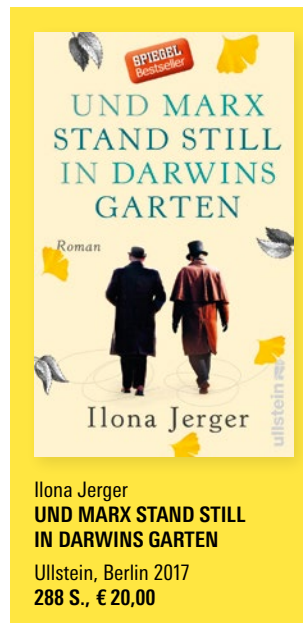
► Für Reverend Thomas Goodwill wird das Dinner, dem er am 8. Oktober 1881 am Tisch der Darwins beiwohnt, zur Tortur. Der Geistliche hat als enger Freund der Familie nicht nur seit Jahren miterleben müssen, wie Charles Darwin (1809–1882) vom Gläubigen zum Agnostiker wurde. Darwins Frau Emma leidet auch noch unter der Angst, ihren

geliebten Charles nach dem Tod nicht im Paradies wiederzusehen, da sie für ihn die Hölle befürchtet.

Mit an der Dinnertafel sitzt der englische Zoologe und Sozialist Edward Aveling (1849–1898), ferner der für seinen radikalen Materialismus bekannte deutsche Arzt und Philosoph Ludwig Büchner (1824–1899) sowie der in schlechtem Englisch polternde Karl Marx (1818–1883). An Darwins Ausführungen zur Biologie des Regenwurms – seinem letzten großen Forschungsthema – ist niemand interessiert; schnell kommt man auf Gott, Gerechtigkeit, Reformen und Revolution zu sprechen. Im Eifer der weltanschaulichen Debatte schaukelt sich die Stimmung auf und endet in einem Eklat, als Reverend

Obwohl die Teilnehmer dieses Treffens reale historische Personen sind, hat das Dinner selbst nie stattgefunden. Die Journalistin Ilona Jerger, die es mit viel Witz und Sachkenntnis beschreibt, hat es für ihren Roman erfunden. Der echte Darwin und der echte Marx kannten sich zwar, sind sich aber persönlich nie begegnet. Marx war von Darwins »On the Origin of Species« (1859) begeistert, in dem dieser die Grundlagen der Evolutionsbiologie legte. Denn der von Darwin vorgeschlagene Mechanismus kam ohne göttlichen Eingriff aus und schien Marx' eigene materialistische Weltansicht zu untermauern. Von der menschlichen Gesellschaft nahm der Philosoph und Ökonom an, auch diese entwickle sich quasi naturgesetzlich – wenn auch nicht evolutionär, sondern revolutionär im Rahmen des Klassenkampfes. Marx befand sich seit 1849 im Londoner Exil und schickte Darwin sein »Kapital« (1867) zu. Allerdings las dieser nur die ersten paar Seiten.

In dem Roman erschafft Jerger zunächst die fiktive Figur des Arztes Dr. Beckett – als Bindeglied zwischen Darwin und Marx, welche uns im Jahr 1881 der Erzählung alt und krank entgegentreten. Darwin greift schon seit Jahren auf Becketts Dienste zurück, während Marx durch Vermittlung seines Freundes Friedrich Engels (1820–1895) an den Arzt kommt. In dem Buch führt Beckett zahlreiche Gespräche mit den beiden Protagonisten sowie mit Personen ihres Umfelds, wobei die Leser viel über deren Familienver-



Goodwill ohnmächtig vom Stuhl fällt. Um sich und die Situation zu beruhigen, gehen Darwin und Marx in den Garten, wo sie einen persönlichen, eher melancholischen Dialog führen.



hältnisse erfahren – etwa über Marx' unehelichen Sohn mit seiner Haushälterin Helena »Lenchen« Demuth (1820–1890). Diesen gab es tatsächlich.

Beckett tendiert ebenfalls zum Materialismus und versucht, ein Treffen zwischen Darwin und Marx zu arrangieren. Als Leser fragt man sich hier, ob ein realer Beckett das wirklich gewagt hätte, da er an seine ärztliche Schweigepflicht gebunden gewesen wäre. Jerger lässt es ihm auch nicht gelingen. Stattdessen bahnt ein Telegramm Edward Avelings das Dinner an, in dem der Zoologe gemeinsam mit Ludwig Büchner um ein Treffen mit Darwin ersucht. Der Naturforscher stimmt zu und kommt dabei auch Avelings Bitte nach, einen gewissen Bewunderer des darwinschen Werks mit einzuladen. Dieser ist niemand anderes als Marx.

Der Roman spielt zu einer Zeit, in der die Entfremdung zwischen Naturwissenschaft und Theologie bereits fortgeschritten war, und thematisiert den daraus resultierenden Konflikt. Ist für eine Evolution, die ungerichtet verläuft, aber durch natürliche Auslese geprägt wird, überhaupt noch ein Gott nötig? Ist nicht wenigstens der Mensch durch göttlichen Eingriff erschaffen? Verläuft die Menschheitsgeschichte ebenfalls naturgesetzlich? Ist Religion nur »Opium für das Volk«, um den unterdrückten Klassen die Hoffnung auf ein jenseitiges Paradies zu geben und sie davon abzuhalten, dieses schon im Diesseits zu verwirklichen? Es gelingt der Autorin, diese Fragen stimmig in den Erzählstrang einzuarbeiten.

Ihren Protagonisten widmet sich Jerger mit großem Einfühlungsvermögen. Zwar zeichnet sie Darwin und Marx gegen Ende deren Lebens als hinfällig, aber zugleich sehr lebendig – dank der vielen recherchierten Details, des feinen Humors, der geschilderten persönlichen Marotten sowie des flüssigen Schreibstils. Zudem wird die Zerrissenheit der Protagonisten deutlich, die sie auch im realen Leben begleitete. Dem studierten Theologen Darwin machte der Vorwurf des »Gottesmörders« zu schaffen. Marx wiederum, der unter dem Exil litt, stammte aus einer jüdischen, später zum Christentum konvertierten Familie, womit die Religion auch in seinem Leben eine ambivalente Rolle spielte. Auch wird im Buch die Frage gestellt, ob er nicht versuchte, die eschatologische Erwartung eines Paradieses ins Diesseits zu übertragen. Von beiden ist bekannt, dass sie sich mit ihren Theorien missverstanden fühlten: Während sich Darwin gegen seine politische Vereinnahmung wehrte, sträubte sich Marx gegen Sozialdemokraten und Reformen.

Das Buch richtet sich an Leser, die den Menschen hinter den großen Namen Darwin und Marx näherkommen möchten und als Zugang dazu der Form des historischen Romans nicht abgeneigt sind. Es regt dazu an, sich mit dem im Grunde bis heute ungelösten Konflikt zwischen Naturwissenschaft und Religion auseinanderzusetzen.

Martin Schneider ist Wissenschaftshistoriker und Dozent in der Erwachsenenbildung.

## MEDIZIN ZU VIEL DES GUTEN

**Der exzessive Einsatz von Antibiotika gefährdet nachhaltig unsere Gesundheit, warnt ein Mediziner in diesem Buch.**

▶ Von der wachsenden Bedrohung durch multiresistente Bakterien hat sicher jeder schon gehört. Dass der übermäßige Einsatz von Antibiotika aber auch mit der rasanten Verbreitung von Asthma, Adipositas und Typ-1-Diabetes zusammenhängen könnte, belegt der Autor dieses Buchs, indem er zahlreiche Studien überzeugend aufarbeitet. Martin J. Blaser ist Arzt und Wissenschaftler, der auf Ansteckungskrankheiten spezialisiert ist und an der New York University jahrzehntelang über Bakterien geforscht hat, die den menschlichen Körper besiedeln.

Blaser warnt vor der möglichen Verbreitung neuer pandemischer Mikroben (Keimen, die länderübergreifende Infektionswellen verursachen) und benennt die Gefahr, dass der Antibiotikagebrauch unsere Körperabwehr schwächen könnte. Das wirkt zunächst etwas alarmistisch, doch in späteren Kapiteln liefert der Autor solide Belege dafür. Dem allgemeinen Faktenwissen rund um Bakterien, das er präsentiert, fehlt anfangs ein wenig der rote Faden; erst im vierten Kapitel beginnt die eigentliche Argumentation, die dann aber sehr spannend ausfällt.



Martin J. Blaser  
**ANTIBIOTIKA-OVERKILL**

So entstehen  
die modernen Seuchen  
Aus dem Englischen  
von Ulrich Magin  
Herder, Freiburg im Breisgau  
2017  
**352 S., € 24,99**

Kritisch sieht Blaser die weit verbreitete vorbeugende Gabe von Antibiotika, bei der Mediziner »Millionen behandeln, um wenige Hundert zu schützen, die tatsächlich ein hohes Infektionsrisiko haben«. Diese Praxis ignoriere die Nebenwirkungen der Arzneistoffe – wohl, weil diese oft indirekt oder verspätet einträten und deshalb schwer zuzuordnen seien. Zu viele Verschreibungen von Antibiotika begünstigten das Entstehen resistenter Keime und die Zerstörung des körpereigenen Mikrobioms (das gilt auch für den übermäßigen Gebrauch in der Landwirtschaft als so genannte Leistungsförderer). Mit oft ungeahnten Folgen wie Sodbrennen, Fettleibigkeit oder Zuckerkrankheit. In einzelnen Kapiteln schlüsselt der Autor auf, welche Indizien und Studien jeweils für einen Zusammenhang mit anti-

mikrobiellen Wirkstoffen sprechen.

Sodbrennen und Speiseröhrenkarzinome betreffen laut Blaser insbesondere Menschen, die nur eingeschränkt vom Magenbakterium *Helicobacter pylori* besiedelt sind. Bei Kindern führe die überbordende Antibiotikagabe zu einem gehäuften Auftreten von Asthma, denn sie greife nicht nur punktuell, sondern umfassend ins Immunsystem ein. Außerdem beeinflusse sie den Spiegel von Hormonen, die Hunger- und Sättigungsgefühle vermitteln, und trage zusammen mit fett- und zuckerreicher Ernährung zur Adipositasepidemie und steigenden Diabetesprävalenz bei.

Durch die antibiotikavermittelte Vernichtung darmbewohnender Mikroben schwindet die Vielfalt unseres Mikrobioms, was bei

vielen Menschen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektionen herabsetzt. Gerade weil sich resistente Keime verbreiten, sieht der Autor hier die größte Gefahr: »So sehr ich mich wegen Gesundheitsproblemen wie Diabetes oder Adipositas Sorge – der wichtigste Grund dafür, dass ich nun Alarm schla-ge, besteht in meiner Angst vor dem antibiotischen Winter.« Er spielt hier auf das Szenario an, dass auf Grund zunehmender Arzneistoffresistenz für Erkrankungen, die sich derzeit noch problemlos behandeln lassen, bald keine wirksamen Medikamente mehr zur Verfügung stehen könnten.

Blaser differenziert erfreulich klar zwischen gesicherten, allgemein anerkannten Erkenntnissen und eigenen Theorien und Annahmen. Mehrfach warnt er vor dem

Fehldeuten von Korrelationen als Kausalitäten. Doch selbst bei solch vorsichtiger Interpretation verdichten sich die Indizien deutlich, dass zu viele Antibiotika zur Verbreitung vieler Volkskrankheiten beitragen.

Ein besonderer Schwerpunkt des Buchs liegt auf *Helicobacter pylori* als warnendes Beispiel dafür, wie die Ausrottung eines körperbesiedelnden Bakteriums die Gesundheit negativ beeinflusst. In den entsprechenden Abschnitten merkt man deutlich, dass dies das Spezialgebiet und Herzthema des Autors ist – auch weil der Exkurs hier stellenweise zu lang und zu detailliert gerät. Im Gegensatz dazu fallen die Lösungsansätze am Schluss des Buchs etwas kurz aus. Blaser schlägt einerseits Veränderungen im Gesundheitssystem und der Tierzucht vor, zeigt aber auch

individuelle Handlungsmöglichkeiten und neue Forschungsansätze auf.

Insgesamt präsentiert der Autor ein eingängiges Werk, das den Spagat zwischen Fachsprache und Allgemeinverständlichkeit bewältigt. Dazu trägt der ausführliche Anhang bei, in dem Blaser Fachartikel zitiert und für interessierte Laien einordnet, was den insgesamt sehr fundierten Eindruck des Bands untermauert. Die Endnoten geben zudem einen interessanten Einblick in den Forschungsalltag – angefangen bei der schwierigen Finanzierung von Studien über den langen Weg bis zur Publikation neuer Ergebnisse bis hin zur fruchtbaren Kooperation mit anderen Wissenschaftlern.

Fenja de-Silva Schmidt ist freie Journalistin und Kommunikationswissenschaftlerin in Hamburg.

## FOTOGRAFIE INVASION DER PFLANZEN

**Wie die Natur sich zurückholt, was der Mensch ihr einmal abgerungen hat.**

Was passiert, wenn der Mensch verschwindet und die Natur zurückkehrt? Fotograf Sven Fennema nimmt uns mit zu ehemaligen Wohn- und Arbeitsstätten, die sich selbst überlassen wurden und nun allmählich unter wuchernder Vegetation verschwinden. Stück für Stück verschmelzen sie mit der Wildnis, bis sie irgendwann ganz von dieser verschluckt werden.

Auf den großformatigen Fotos dominieren satte Grüntöne von Nadel- und Laubbäumen, Efeu und allerlei Sträuchern, deren Triebe bröckelndes Mauerwerk durchdringen. Dabei lösen sich die menschlichen



Sven Fennema,  
Christoph Gunkel (Texte)  
**NEULAND**  
Eroberungen der Natur  
Frederking & Thaler,  
München 2017  
240 S., € 50,-

Bauwerke langsam auf, verbinden sich Zweige und Blätter mit prachtvollen Deckenfresken alter Villen, schlingen sich Wurzeln um Stahlkonstruktionen, Ziegelsteine und Beton. Neben Grün bestimmen warme Rot- und Brauntöne den Anblick, etwa von rostenden Autos und Baumrinden. Gekonnt spielt Fennema mit dem Licht, das in die Ruinen einfällt.

In begleitenden Texten berichtet Journalist Christoph Gunkel, was auf den Fotos jeweils zu sehen ist und welche Geschichten sich mit den dargestellten Objekten verbinden. Zitate berühmter Persönlichkeiten, die sich mit der Vergänglichkeit des Menschen und seinem Platz in der Natur befassen,

runden das Ganze ab. Passend zu den Bildern lesen wir vom Philosophen Jean-Jaques Rousseau (1712–1778) beispielsweise: »Alles was gegen die Natur ist, hat auf Dauer keinen Bestand.« Lena Baunacke



## GESCHICHTE EPOCHALES REGELWERK

**Anschaulich, umfassend und verständlich präsentiert Historiker Heiner Lück das berühmteste deutsche Rechtsbuch des Mittelalters.**

Der »Sachsenspiegel« fasziniert bis heute Germanisten, Historiker und Juristen. Das bedeutendste mittelalterliche Rechtsbuch und zugleich älteste Prosawerk in deutscher Sprache stammt aus der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts und entstand vermutlich im östlichen Harzvorland. Abgefasst von dem Rechtskundigen Eike von Repgow (um 1180–zirka 1235), ist es bekannt für seine detaillierten Regelungen zum täglichen Zusammenleben. Es enthält breit gefächerte und bis ins Kleinste beschriebene Bestimmungen, die in vier erhaltenen Bilderhandschriften eindrücklich illustriert werden.

Rechtshistoriker Heiner Lück stellt den Sachsenspiegel überaus eingängig in diesem ausgezeichnet bebilderten Band vor, der mit ganzseitigen Abbildungen der Handschriften aufwartet. Sein Werk erfüllt wissenschaftliche Ansprüche, ist aber auch für ein breites Publikum verständlich geschrieben. Lück spannt in acht Kapiteln einen Bogen, angefangen bei den ersten Rechtsbüchern im 13. Jahrhundert, weiter über Rezeption und Verbreitung des Sachsenspiegels zusammen mit dem Magdeburger Stadt-



recht bis hin zur politischen Instrumentalisierung im 20. Jahrhundert und dem aktuellen Forschungsstand.

Der Historiker, der an der Universität Halle-Wittenberg lehrt, beleuchtet eingangs den geschichtlichen Kontext des Sachsenspiegels. Das Werk entstand vor dem Hintergrund eines allgemeinen Trends im 13. Jahrhundert, Rechtsvorgaben schriftlich niederzulegen. Interessant sind die Darstellungen des Verfassers dazu, wie sich diese Rechtsbücher zum spätantiken römischen Recht verhielten, das im 12. Jahrhundert wiederentdeckt wurde, sowie zum Kirchenrecht. Lück erläutert, wie sich mittelalterliches Land-, Lehen- und Stadtrecht unterschieden; stellt Autor, Auftraggeber und Entstehungsgeschichte des Sachsenspiegels näher vor und macht seine Leser mit dem mittelalterlichen Weltbild vertraut, das in dem Rechtsbuch zum Ausdruck kommt.

Eines wird klar: Einen Text niederzuschreiben, der primär geltendes Gewohn-

heitsrecht enthält, und das auch noch in deutscher Sprache, war im 13. Jahrhundert etwas bahnbrechend Neues. Denn die mittelalterliche Rechtskultur prägten mündliche Überlieferungen. In der Vorrede zum Sachsenspiegel finden sich denn auch viele Argumente, um die Niederschrift zu legitimieren. Eike von Repgow stellt sich seiner tief religiösen Leserschaft gegenüber als Werkzeug Gottes vor und leitet aus seiner vermeintlich direkten Verbindung zum Schöpfer immerwährende Regeln für das rechtlich bewertbare Verhalten der Menschen ab. Der Frage, ob es eine lateinische Urfassung gegeben hat, geht Lück ebenfalls nach.

Ergänzt durch die hervorragenden Illustrationen zeigt der Autor die detaillierten Regelungen des Sachsenspiegels zum täglichen Zusammenleben beispielhaft auf. Man ist erstaunt zu lesen, dass sich Repgow bereits darum bemühte, große Rechtsbereiche möglichst vollständig zu erfassen. Das gilt eigentlich als typisches Merkmal der modernen Kodifikationspraxis. Das mittelalterliche Rechtswerk schreibt unter anderem vor, das Bewegliche habe dem Unbeweglichen auszuweichen – also etwa das nicht beladene dem beladenen Fuhrwerk oder der Fußgänger dem Reiter. In einer Erbrechtsbestimmung heißt es, Psalter und Bücher sollten den Frauen zufallen, da diese (mehr als Männer) lesen würden. Regelungen zu Nachbarschaftstreits, etwa wem die Früchte des Baums gehören, der über den Zaun in den Garten

nebenan wächst, erscheinen schon fast zeitlos.

Kein anderer deutscher Rechtstext hatte eine so lange Geltungsdauer und einen so erheblichen Einfluss wie der Sachsenspiegel. Als ausschlaggebend dafür hebt Lück den Juristen Johann von Buch (um 1290–1356) heraus, dessen erklärtes Ziel es war, das Sachsenrecht mit dem geltenden römischen und kanonischen Recht zu harmonisieren. Sprachlich modernisierte Ausgaben des 16. Jahrhunderts sorgten für eine weite Verbreitung des Rechtsbuchs, das in Teilen bis zum Inkrafttreten des Bürgerlichen Gesetzbuchs 1900 in Deutschland Geltung hatte.

Anschaulich beschreibt Lück, wie das Sachsenspiegelnrecht erfolgreich mit dem Magdeburger Stadtrecht vermergt und das entstehende Mischrecht vor allem in Ostmitteleuropa aufgenommen wurde. Im vorletzten Kapitel schildert er die Instrumentalisierung des »sächsisch-magdeburgischen Rechts« durch die Nazis Anfang des 20. Jahrhunderts, um die Blut- und Boden-Ideologie zu untermauern. Das Buch schließt mit einem Abriss der aktuellen rechtshistorischen Forschung zum Sachsenspiegel und einem sinnvoll angelegten Glossar.

Lück hat mit seinem überaus interessanten und optisch ansprechenden Bildband ein sehr lesenswertes Buch geschaffen, das den heutigen Wissensstand zu einem bedeutenden Werk europäischer Rechtsgeschichte umfassend darlegt.

Bernadett Fischer ist Historikerin und arbeitet in Bonn.

# KOMPAKT THEMEN AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ob A wie Astronomie oder Z wie Zellbiologie: Unsere **Spektrum KOMPAKT**-Digitalpublikationen stellen Ihnen alle wichtigen Fakten zu ausgesuchten Themen als PDF-Download zur Verfügung – schnell, verständlich und informativ!

€ 4,99  
je Ausgabe



Bestellmöglichkeit und weitere Ausgaben:

[www.spektrum.de/kompakt](http://www.spektrum.de/kompakt)



## UMSTRITTENE WAHRHEITSSUCHE

**Der Naturphilosoph Michael Esfeld begründet in der Titelgeschichte des Augusthefts, warum der Realismus das beste epistemologische Konzept für unsere Erkundung des Universums ist** (»Wissenschaft, Erkenntnis und ihre Grenzen«, *Spektrum* August 2017, S. 12).

Zu diesem Artikel sind zahlreiche ausführliche Leserbriefe eingegangen (nachzulesen unter [www.spektrum.de/artikel/1478201](http://www.spektrum.de/artikel/1478201)). Die nachfolgenden Antworten des Autors behandeln deren Gesamtheit, nicht nur die hier beispielhaft und auszugsweise wiedergegebenen Äußerungen.

### KONSTRUKTIVISMUS

**Sebastian Dilcher, Freiburg:** Dass die Modelle, mit denen wir die Natur beschreiben, zunächst Konstruktionen unseres Geistes sind, wird wohl niemand bestreiten. Wenn man darüber hinaus glauben will, dass die Welt wirklich so ist, kann man das ja – aber dies als »Realismus« und als eine dem Konstruktivismus überlegene Haltung zu bezeichnen, erscheint mir abenteuerlich.

Auch dass es durchaus nicht einfach ist, die Quantenmechanik auf eine reine Teilchenontologie zu gründen, hätte man erwähnen können. Allgemein scheint mir die Haltung des Strukturrealismus eher zur Vernebelung als zur Erkenntnis beizutragen.

**Michael Esfeld:** In dem Artikel konnte ich nur kurz und pauschal auf den Konstruktivismus eingehen. Man muss unterscheiden zwischen der trivialen Tatsache, dass unsere wissenschaftlichen Theorien von uns geschaffen (konstruiert) sind und der durch nichts begründeten Behauptung, dass die Gegenstände, auf welche sich diese Theorien beziehen, von uns geschaffen sind. Die Galaxien im Universum gibt es unabhängig davon, ob jemand von uns sie beobachtet. Im Übrigen würde dann auch der Ausdruck »uns« keinen Sinn mehr ergeben, weil die Autoren der Leserbriefe dann ja mein Konstrukt wären. Die Hirnforschung stützt den Konstruktivismus nicht: Die Neurowissenschaft ist, was die verwendeten Theorien betrifft, angewandte klassische Physik (Mechanik, Elektrodynamik). Man kann nicht Realist in Bezug auf die Hirnforschung und Konstruktivist in Bezug auf die Physik sein.

### FREIER WILLE UND NATURGESETZE

**Stephan Sandhaeger, Germering:** Esfeld nennt mit Objektivität, Einfachheit und Überprüfbarkeit drei wichtige Eigenschaften von Wissenschaft, idealerweise gehört auch Ergebnisoffenheit dazu, also Ergebnisse mutig zu ertragen und nicht in eine erwünschte Richtung schönzudeuten. Dagegen verstößt Esfeld leider selbst beim Ver-

## Leserbriefe sind willkommen!

Schicken Sie uns Ihren Kommentar unter Angabe, auf welches Heft und welchen Artikel Sie sich beziehen, einfach per E-Mail an [leserbriefe@spektrum.de](mailto:leserbriefe@spektrum.de). Oder kommentieren Sie im Internet auf [Spektrum.de](http://Spektrum.de) direkt unter dem zugehörigen Artikel. Die individuelle Webadresse finden Sie im Heft jeweils auf der ersten Artikelseite abgedruckt. Kürzungen innerhalb der Leserbriefe werden nicht kenntlich gemacht.

such, den »freien Willen« zu retten: Seine Behauptung, aus einer komplett deterministischen (unitär zeitentwickelnden) atomaren Welt folge keine Determiniertheit unserer Handlungen, ist unbegründet und nicht nachvollziehbar. Aber natürlich kann man sich den Begriff freier Wille so zurechtdefinieren, dass er unwiderlegbar wird, etwa als die Tatsache, dass wir zuweilen gemäß unseren Präferenzen handeln oder dass Entscheidungsprozesse im Individuum ablaufen. Wissenschaftlich ehrlicher wäre jedoch, einen weniger narzisstischen oder pastoral verschleiernenden Begriff zu verwenden.

**Esfeld:** Ich bin in dem Artikel nur auf den Determinismus eingegangen. Es ist völlig richtig – würde die bloße Tatsache von Naturgesetzen ein Problem für den freien Willen darstellen, ergäbe sich dieses Problem aus probabilistischen genauso wie aus deterministischen Gesetzen. In dem Artikel wollte ich nur den Punkt herausstellen, dass die Gesetze Vorgänge in der Natur repräsentieren (beschreiben), aber nicht diese Vorgänge bestimmen. Kurz gesagt, erst kommen die Prozesse in der Natur, dann die Naturgesetze formuliert in unseren Theorien. Im Übrigen setzt die experimentelle Überprüfung einer naturwissenschaftlichen Theorie voraus, dass der Experimentator frei wählen kann, was er misst (seine Fragen an die Natur frei wählen kann) und diese Wahl nicht durch die Vergangenheit des beobachteten Systems bestimmt ist.



### PHYSIK ALS GRUNDLEGENDE NATURWISSENSCHAFT

**James H. Klein, Potsdam:** Der Artikel verniedlicht das Dilemma der heutigen Physik: Der materialistische Reduktionismus, so erfolgreich er auch über Jahrhunderte hinweg war, ist an seine Grenzen gekommen. Er kann immer weniger erklären, je weiter man ihn treibt, und hat alle Eigenschaften dieser Welt hinter sich gelassen bis auf Masse, Spin und Ladung. Ist das unsere Welt?

Die Welt ist offensichtlich mehr als die Summe ihrer Teilchen, mit oder ohne Relationen zueinander. Wenn man den Weg zu den komplizierteren Systemen geht, zu Molekülen und zu Organismen, wird dies deutlich. Auf jeder Stufe zunehmender Komplexität entstehen neue Eigenschaften, die sich aus den Bestandteilen einer einfacheren Komplexität nicht erklären lassen, da sie dort noch nicht existieren. Es sind emergente Eigenschaften.

Das bedeutet aber auch: Die Physik kann nicht die emergenten Phänomene beschreiben und erklären, wie sie in der

Chemie auftreten. Die Chemie kann das nicht für die Biologie leisten, und diese wiederum kann nicht die emergenten Phänomene erklären, wie sie in der Soziologie auftreten.

Es gibt offenbar keine Wissenschaft, die grundlegender ist als jede andere. Jede deckt einen Teil der Wirklichkeit ab: die Physik den Bereich der elementarsten Teilchen, die Chemie die einfachen Moleküle, die Biologie die komplizierten organischen Molekülketten, die Soziologie und alle Geisteswissenschaften die menschlichen Systeme noch größerer Komplexität. Ist das nicht tröstlich? Die Physik hat uns so viele Neuerungen und Produkte beschert, aber alles, was sie erklären kann, ist Masse, Spin und Ladung. Was tun sich da für zukünftige Möglichkeiten auf für Wissenschaftler jeder Couleur! In Wirklichkeit stehen wir erst am Anfang unserer Erkenntnismöglichkeiten. Und immer noch gilt das Wort von Du Bois-Reymond von 1872: »Ignoramus et ignorabimus.«

**Esfeld:** Die Physik ist deshalb die grundlegende Naturwissenschaft, weil ihre Gesetze für alles Materielle im Universum gelten. Seit Demokrit (siehe »Was die Dinge sind«, **Spektrum** August 2017, S. 14) ist der Anspruch des Atomismus, die Dinge in der Welt dadurch zu erklären, wie sie aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sind und wie sich diese Zusammensetzung durch die Bewegung der kleinsten Teilchen ändert.

Dieser Anspruch ist heute bestens bestätigt: Man denke nur an den Siegeszug der Molekularbiologie (mit aus Molekülen – das heißt letztlich Atomen – zusammengesetzten Genen) oder der Neurowissenschaft (um das Gehirn durch

die Interaktion von Neuronen zu verstehen, die letztlich aus Atomen bestehen). Daraus folgt aber nicht, dass es nur Atome und ihre Bewegungen gibt. Natürlich gibt es komplexe Systeme und ihre neuen Eigenschaften genauso wie Elementarteilchen.

Es geht darum, die komplexen Systeme und ihre Eigenschaften von den einfachen Systemen und ihren Bewegungen aus zu verstehen. Hieran zeigt sich die Erklärungsleistung der Physik. Die Physik kann ja letztlich nicht begründen, wieso die Dinge sich gravitationell anziehen, sondern das nur durch das Gravitationsgesetz und den Parameter der Masse beschreiben. Man stößt an eine Grenze, wenn man bei den fundamentalen Objekten und ihren Verhaltensformen angelangt ist. Aber mit Hilfe unter anderem des Gravitationsgesetzes kann man dann die charakteristischen Eigenschaften höherstufiger Systeme erklären.

## ERRATUM

»Bedrohliche Unentscheidbarkeit«, **Spektrum** September 2017, S. 72

In der Definition des fleißigen Bibers mit zwei Zuständen (Kasten S. 76) muss es in der dritten Zeile [B 0 -> 1 links A] heißen (nicht ... links B). Weiter unten in der Definition des fleißigen Bibers mit vier Zuständen muss die dritte Zeile lauten [B 0 -> 1 links A] (nicht rechts). Robert Krell aus Erlangen hat uns auf die Fehler aufmerksam gemacht.

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**Chefredakteur:** Prof. Dr. phil. Dipl.-Phys. Carsten Könneker M.A. (v.i.S.d.P.)

**Redaktionsleiter:** Dr. Hartwig Hanser

**Redaktion:** Mike Beckers (stellv. Redaktionsleiter), Robert Gast, Dr. Tim Kalvelage, Dr. Klaus-Dieter Linsmeier (Koordinator Archäologie/Geschichte), Dr. Christoph Pöppe, Dr. Frank Schubert, Dr. Adelheid Stahnke, E-Mail: redaktion@spektrum.de

**Freie Mitarbeit:** Dr. Gerd Trageser

**Art Direction:** Karsten Kramarczik

**Layout:** Sibylle Franz, Oliver Gabriel, Anke Heinzelmann, Claus Schäfer, Natalie Schäfer

**Schlussredaktion:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

**Bildredaktion:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**Redaktionsassistent:** Barbara Kuhn

**Assistenz des Chefredakteurs:** Lena Baunacke

**Verlag:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg

**Hausanschrift:** Tiergartenstraße 15-17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax -751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114

**Redaktionsanschrift:** Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg, Tel. 06221 9126-711, Fax 06221 9126-729

**Geschäftsleitung:** Markus Bossle, Thomas Bleck

**Herstellung:** Natalie Schäfer

**Marketing:** Annette Baumbusch (Ltg.), Tel. 06221 9126-741, E-Mail: service@spektrum.de

**Einzelverkauf:** Anke Walter (Ltg.), Tel. 06221 9126-744

**Übersetzer:** An diesem Heft wirkten mit: Dr. Markus Fischer, Dr. Claudia Hecker, Dr. Ingrid Horn, Dr. Ursula Loos.

**Leser- und Bestellservice:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

**Vertrieb und Abonnementverwaltung:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, c/o ZENIT Pressevertrieb GmbH, Postfach 81 06 80, 70523 Stuttgart, Tel. 0711 7252-192, Fax 0711 7252-366, E-Mail: spektrum@zenit-presse.de

**Vertretungsberechtigter:** Uwe Bronn  
Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**Bezugspreise:** Einzelheft € 8,50 (D/A/L) sFr. 14,-; im Abonnement € 89,- für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) € 69,90. Abonnement Ausland: € 97,40, ermäßigt € 78,30. E-Paper € 60,- im Jahresabonnement (Vollpreis);

€ 48,- ermäßigter Preis auf Nachweis. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konto: Postbank Stuttgart, IBAN: DE52 6001 0070 0022 7067 08, BIC: PBNKDEFF

Die Mitglieder des Verbands Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBio) und von Mensa e. V. erhalten Spektrum der Wissenschaft zum Vorzugspreis.

**Anzeigen:** iq media marketing gmbh, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Gesamtbereichsleitung: Michael Zehntmaier, Tel. 040 3280-310, Fax 0211 887 97-8550; Anzeigenleitung: Anja Väterlein, Speersort 1, 20095 Hamburg, Tel. 040 3280-189

**Druckunterlagen an:** iq media marketing gmbh, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. 0211 887-2387, Fax 0211 887-2686

**Anzeigenpreise:** Gültig ist die Preislis- te Nr. 38 vom 1.1.2017.

**Gesamtherstellung:** L. N. Schaffrath Druckmedien GmbH & Co. KG, Marktweg 42-50, 47608 Geldern

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks ohne die Quellenangabe in der nachstehen-

den Form berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2017 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen. Auslassungen in Zitaten werden generell nicht kenntlich gemacht.

ISSN 0170-2971

**SCIENTIFIC AMERICAN**

1 New York Plaza, Suite 4500, New York, NY 10004-1562,  
Editor in Chief: Mariette DiChristina,  
President: Dean Sanderson,  
Executive Vice President: Michael Florek



Erhältlich im Zeitschriften- und Bahnhofsbuchhandel und beim Pressefachhändler mit diesem Zeichen.



# futur III

## Die gute und die schlechte Nachricht

Die Grenzen des Wachstums sind erreicht. **Eine Kurzgeschichte von Jack McDevitt**

Frank Broadwell schaute hinaus auf den bewölkten Himmel, als »Marine One« zur Landung auf der Insel Mazzorbo ansetzte, direkt neben der Kirche Santa Caterina. Ben Tyler, der zu seinem Stab gehörte, beugte sich vor. »Mr. President, was tun wir hier draußen? Ich hätte erwartet, dass uns der Papst in Rom empfängt, im Vatikan, im Petersdom oder so.«

Broadwell seufzte. Ihn beschäftigten wichtigere Probleme. »Schon gut, Ben. Seine Heiligkeit meidet öffentliches Aufsehen. Er steht ungern im Rampenlicht.«

Bens Handy meldete sich. Er lauschte ein paar Sekunden, nickte und lächelte. »Gute Nachrichten, Sir. MacIntyre gibt eine Pressekonferenz. Ihm ist wohl ein entscheidender Durchbruch gelungen.«

»Wer ist MacIntyre, Ben?«

»Der geniale Genetiker, er betreibt wichtige medizinische Forschungen. Das ist sicher eine gute Nachricht.«

»Schön. So etwas können wir wirklich brauchen.« Die globale Krise dauerte nun schon geschlagene sechs Monate: der Nahostkonflikt, in dem es um Landraub ging, die Handelskriege mit China und Indien und nicht zu vergessen die akuten Klimaprobleme. Da war Broadwell bereit, jede positive Meldung aufzugreifen, die er kriegen konnte.

»Es gibt noch keine Einzelheiten. Soll ich dranbleiben?«

»Aber sicher. Finden Sie heraus, um was es geht.« Er lehnte sich zurück und dachte an seine Familie, während sie landeten. Die Leibwächter öffneten die Tür und stiegen aus. »Das hier sollte nicht lange dauern.«

\*\*\*

Papst Leo XIV. saß hinter einem Schreibtisch. Er war der zweite Papst

englischer Herkunft in der gesamten Kirchengeschichte, nach Hadrian IV. im Mittelalter. Auf den ersten Blick sah er unscheinbar aus, mittelgroß und fast kahl, doch kräftige Gesichtszüge und Augen mit durchdringendem Laserblick ließen keinen Zweifel daran, wer hier das Sagen hatte. »Guten Abend, Eure Heiligkeit«, sagte der Präsident.

Der Geistliche erhob sich und lächelte. »Mr. President, willkommen in Santa Caterina.«

Beide Männer signalisierten ihren Leibwächtern, sich zu entfernen. Der Präsident schloss die Tür hinter ihnen und wandte sich dem Papst zu. »Barry«, sagte er, »es tut gut, dich wiederzusehen.«

»Ganz meinerseits, Frank. Ich wünschte, wir träfen uns unter glücklicheren Umständen. Bitte setz dich. Möchtest du etwas trinken?«

»Nein, danke.« Broadwell zog sein Jackett aus. »Barry, uns läuft die Zeit davon. Das Klima explodiert, die Polkappen schmelzen immer schneller, und jedes Jahr verlieren wir zwei Prozent unseres Artenreichtums. Wenn wir so weitermachen, werden wir am Ende des Jahrhunderts allein auf diesem Planeten sein.«

»Das weiß ich, Frank. Die Kirche hat sich immer laut und deutlich für erneuerbare Energien ausgesprochen.«

»Barry, wir verwandeln die letzten Naturschutzgebiete in Agrarflächen, und wir fischen die Ozeane leer. Eine wachsende Bevölkerung braucht mehr Nahrung, aber das bebaubare Land geht zu Ende. Es wird immer schwerer, sauberes Wasser zu bekommen. Große Waldgebiete werden gerodet und verbrannt. Das bläst noch mehr Kohlendioxid in die Atmosphäre. Die Weltbevölkerung beträgt inzwischen schon elf Milliarden und

wächst weiter. Wenn wir sie nicht stabilisieren, brauchen wir uns um gar nichts mehr Sorgen zu machen, dann ist es nämlich zu Ende mit der Menschheit. Die Kirche muss jetzt endlich ihre Haltung zur Empfängnisverhütung ändern.«

Barry sah bedrückt aus dem Fenster und starrte den abnehmenden Mond an. »Glaubst du denn wirklich, ich weiß das nicht?«, fragte er.

»Wir brauchen deine Hilfe.«

»Die menschliche Fortpflanzung ist ein Geschenk Gottes, Frank. Diese Lehrmeinung der Kirche geht bis auf Augustinus zurück. Jede künstliche Methode, die verhindert, dass ein Kind zur Welt kommt, ist ein schweres Vergehen gegen die Intentionen des Schöpfers.«

»Du meinst, es wäre Gott lieber, dass wir den Planeten einfach vor die Hunde gehen lassen?«

»Du lässt mich nicht ausreden, Frank. Ich habe nicht gesagt, dass das meine Meinung ist. Aber es ist die Position der Kirche. Und zwar seit 1700 Jahren.«

»Ich habe mich informiert. Papst Johannes XXIII. hat ein Konzil eingesetzt, um das Verbot der Verhütung zu überprüfen. Wenn er weitergelebt hätte ...«

»Ich weiß.« Barry nahm einen tiefen Atemzug. »Nach seinem Tod gab Paul VI. die Enzyklika »Humanae Vitae« heraus, und damit war die Debatte zu Ende.«

»Wir brauchen dich. Du musst das Wort ergreifen.«

»Das ist nicht so einfach, Frank. Ich habe hinter den Kulissen agiert und getan, was ich konnte. Ich stoße auf großen Widerstand. Es wird schwer, in dieser Sache einen Umschwung herbeizuführen. Aber ich stelle ein Konzil zusammen, das sich mit dem

Thema befassen soll. Zum Glück haben wir günstige Mehrheitsverhältnisse. Wir werden trotzdem auf dasselbe Problem stoßen wie Johannes: Der rechte Flügel wird tun, was er kann, um jede Veränderung zu blockieren. Aber diesmal wird es funktionieren. Ich werde dafür sorgen.«

»Wenn ich irgendetwas tun kann, um zu helfen, lass es mich wissen.«

»Wie gern möchte ich dein Angebot annehmen, Frank. Aber jede Initiative deinerseits würde als Einmischung aufgefasst werden und alles nur noch schwieriger machen. Vertrau mir in dieser Sache. Ich kümmere mich darum.«

\*\*\*

Leichter Regen fiel, als Broadwell zum Hubschrauber zurückkehrte. Ein Leibwächter hielt ihm die Tür auf. Broadwell kletterte hinein und sah, wie ein fröhliches Lächeln Bens Gesicht aufhellte. »Alles okay, Mr. President?«

»Ja. Es könnte nicht besser gelaufen sein.«

»Freut mich, das zu hören, Sir.«

Die Leibwächter stiegen zu, schlossen die Tür und gaben den Start frei. Die Pilotin warf die Maschine an.

»Ben, haben wir mehr über Bactra erfahren? Den Genforscher?«

»Ja, Sir. Wie wir vermuteten: eine gute Nachricht.«

»Das höre ich gern.« Sie hoben ab. Der Regen wurde heftiger. »Ein Heilmittel gegen Krebs?«

»Noch besser, Mr. President. Sie behaupten, sie haben das Altern besiegt.«

»Was?«

»Sie verkünden, sie haben herausgefunden, wie man etwas verlängert. Telomere sagten sie, glaube ich. Jedenfalls sagen sie, sie haben den Alterungsprozess vollständig gestoppt.« Er runzelte die Stirn.

»Mr. President, geht es Ihnen gut?«

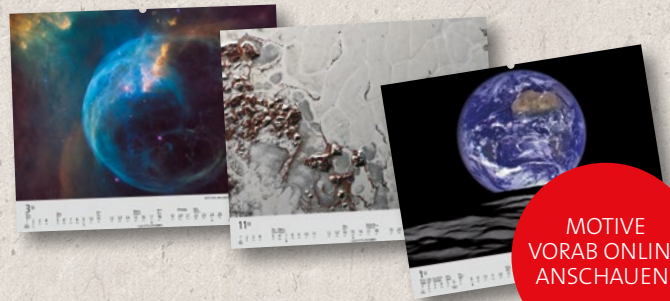
DER AUTOR

**Jack McDevitt** hat einen Nebula Award und zahlreiche weitere Sciencefiction-Preise gewonnen. Im Jahr 2016 benannte die Internationale Astronomische Union einen Asteroiden nach ihm.

© Nature Publishing Group

[www.nature.com](http://www.nature.com)

Nature 547, S. 486, 27. Juli 2017



MOTIVE  
VORAB ONLINE  
ANSCHAUEN!

**STERNE UND  
WELTRAUM**

## DER NEUE BILDKALENDER HIMMEL UND ERDE 2018

**Sterne und Weltraum** präsentiert im Bildkalender »Himmel und Erde« 13 herausragende Motive aus der astronomischen Forschung. Sie stammen aus verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums wie dem sichtbaren Licht oder dem Röntgenlicht. Die Aufnahmen stammen u. a. vom Weltraumteleskop Hubble und der Raumsonde New Horizons. Highlight ist diesmal der Vorbeiflug an Pluto und seinem Mond Charon.

**Zusätzlich** bietet der Kalender wichtige Hinweise auf die herausragenden Himmelsereignisse 2018 und erläutert ausführlich auf einer Extraseite alle auf den Monatsblättern des Kalenders abgebildeten Objekte.

*14 Seiten; 13 farbige Großfotos; Spiralbindung;  
Format: 55 x 46 cm; € 29,95 zzgl. Porto;  
als Standing Order € 27,- inkl. Inlandsversand*

**Hier können Sie bestellen:**

Telefon: 06221 9126-743

[sterne-und-weltraum.de/kalender](http://sterne-und-weltraum.de/kalender)

E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)



# VORSCHAU

## DER URSPRUNG DES LEBENS

Woher kommen wir? Seit jeher versuchen Menschen zu beantworten, wie das Leben auf der Erde entstanden ist. Bislang galten Hydrothermalquellen in der Tiefsee als wahrscheinlichste Kandidaten für den Geburtsort erster Einzeller. Neuere Studien deuten jedoch darauf hin, dass heiße Quellen in vulkanisch aktiven Gegenden ideale Bedingungen boten, um vor etwa vier Milliarden Jahren die Vorfahren aller Organismen hervorzu- bringen.



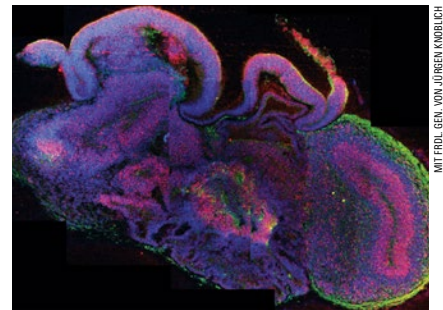
## NEUE SERIE: FRAUEN IN DER GESELLSCHAFT

In vielen Ländern verwehren soziale Normen Frauen den gleichberechtigten Zugang zur Arbeitswelt. Dabei würden alle Mitglieder der Gesellschaft davon profitieren. Groß angelegte Programme sollen vorhandene Barrieren beseitigen.



## JÄGER DER ANTIMATERIE

Wissenschaftler am Teilchenlabor CERN suchen mit mehreren Experimenten nach subtilen Unterschieden zwischen Antimaterie und gewöhnlicher Materie. Sie hoffen damit Indizien für eine Physik jenseits des Standardmodells zu finden.



## KOMPLEXE MINIGEHIRNE AUS DEM LABOR

Um die Entwicklung sowie Fehlfunktionen unseres Denkkorgans zu begreifen, züchten Forscher winzige »Gehirne« in Zellkultur. Der Aufbau diese Organoiden ähnelt verblüffend dem großen Vorbild.

## NEWSLETTER

Möchten Sie über Themen und Autoren des neuen Hefts informiert sein? Wir halten Sie gern auf dem Laufenden: per E-Mail – und natürlich kostenlos.

Registrierung unter:

[spektrum.de/newsletter](http://spektrum.de/newsletter)



Bald ist es wieder so weit ...  
Denken Sie schon jetzt an  
Weihnachten!

Verschenken Sie DIE WOCHE im Kombi-  
paket als App und PDF. Jeden Donnerstag  
neu! Mit News, Hintergründen, Kommen-  
taren und Bildern aus der Forschung sowie  
exklusiven Artikeln aus »nature« in deut-  
scher Übersetzung. Im Abonnement nur  
€ 0,92 pro Ausgabe (monatlich kündbar),  
für Schüler, Studenten und Abonnenten  
unserer Magazine sogar nur € 0,69.

(Angebotspreise nur für Privatkunden)



IMPIE / STOCK.ADOBE.COM







Sie möchten Lehrstühle oder Gremien besetzen? Sie suchen weibliche Experten, Gutachter oder Redner zum Thema?

Finden Sie die passende Kandidatin in unserer Datenbank mit über 2.500 Profilen herausragender Forscherinnen aller Disziplinen.

**AcademiaNet** – das internationale Rechercheportal hoch qualifizierter Wissenschaftlerinnen

Die Partner

Robert Bosch **Stiftung**

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**nature**