

Max Planck FORSCHUNG



Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft I.2017

Big Data

IT-SICHERHEIT
Hackerangriff auf
die Wahlfreiheit

BILDGEBUNG
Liveschaltung zum
Krankheitsherd

GRUPPENVERHALTEN
Warum Tiere auf
Schwärme fliegen

ÄSTHETIK
Die Kraft
der Kunst

ZUKUNFT

PASSIERT NICHT EINFACH.

ICH BIN

EIN TEIL

VON IHR.

SIE IST DAS

MÖGLICHE,

DAS NOCH

NICHT GEMACHT

UND

ERFUNDENE-

UND

**GESTALTE
ICH
SIE.**



Foto: Astrid Eckert / München

Operation Dunkelheit

Wer in einer klaren Nacht zu funkelnden Sternen, leuchtenden Planeten oder zum nebeligen Band der Milchstraße aufblickt, sieht nur die halbe Wahrheit, genauer: einen winzigen Bruchteil davon. Denn mit unseren Teleskopen können wir in allen möglichen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums lediglich etwa ein Prozent des Universums wahrnehmen, der Rest bleibt unsichtbar. Er verteilt sich auf die Dunkle Energie und die Dunkle Materie. Letztere macht mehr als 20 Prozent des Weltalls aus. Und auf diesen geheimnisvollen Stoff haben es die Wissenschaftler abgesehen, die an CRESST arbeiten. Hinter dem einfachen Namen verbirgt sich ein kompliziertes Experiment, nämlich die „Tiefemperatur-Suche nach seltenen Ereignissen mittels supraleitenden Thermometern“.

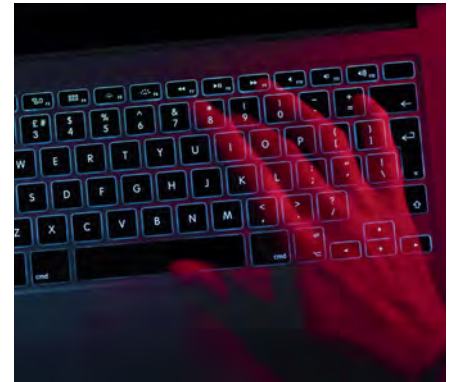
Schauplatz der ungewöhnlichen Kampagne ist das in den italienischen Abruzzen gelegene Untergrundlabor im Gran-Sasso-Massiv. Rundum abgeschirmt durch eine 1400 Meter dicke Felschicht haben die Forscher – unter anderem aus dem Max-Planck-Institut für Physik – dort eine besondere Spürnase installiert. Sie soll die Teilchen der Dunklen Materie nachweisen. Diese Partikel reagieren der Theorie zufolge kaum mit ihrer Umwelt. Problemlos können sie die unterschiedlichen Schichten aus Blei, Kupfer oder Polyethylen durchdringen, die CRESST vor der Untergrundstrahlung schützen.

Der Detektor kann aus bis zu 33 einzelnen Modulen bestehen, in denen jeweils ein 300 Gramm schwerer Kristall aus Calciumwolframat sitzt; die Forscher auf dem Bild bestücken das Messinstrument gerade damit. Dringt ein Teilchen ein, erzeugt es Wärme. Aber auch Licht entsteht, das im Gehäuse gehalten und von einer Siliciumscheibe aufgenommen wird, die sich dabei ebenfalls erwärmt. Damit die Thermometer diese unvorstellbar geringen Temperaturerhöhungen fühlen können, arbeitet CRESST nahe dem absoluten Nullpunkt bei minus 273,15 Grad Celsius.

Seit Sommer 2016 läuft CRESST-III mit 13 Modulen und gesteigerter Empfindlichkeit. Doch die Dunkle Materie macht ihrem Namen alle Ehre: Bisher gibt es keine überzeugenden Resultate, die ihre Existenz zweifelsfrei belegen.



Inhalt



18 BIG DATA

18 Gravitationswellen aus dem Heimcomputer

Das Projekt Einstein@Home ermöglicht es jedermann, am eigenen PC, Laptop oder Smartphone nach Gravitationswellen zu suchen und damit selbst zum Entdecker zu werden. Die Software spürt außerdem Pulsare auf. Maßgeblich beteiligt an diesem Citizen-Science-Projekt ist das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik. Und auch Forscher des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie fahnden in den Daten.

26 Daten zum Stapeln

Für Historiker ist Big Data kein neues Phänomen. Auch im 18. und 19. Jahrhundert sammelten Wissenschaft und staatliche Stellen enorme Datenmengen. Und schon damals war es eine Herausforderung, sie sinnvoll auszuwerten. Eine Gruppe am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte untersucht, mit welchen – teils überraschenden – Methoden in der Vergangenheit gearbeitet wurde und wie der geänderte Umgang mit Daten auch Forschung und Gesellschaft veränderte.

34 Schatzsuche im Datenschungel

Normalerweise formulieren Forscher eine Hypothese, bevor sie mit einem Experiment beginnen und Daten sammeln. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Informatik stellen diesen Grundsatz auf den Kopf. Ihre Software kann schon vorhandene Datensätze analysieren und daraus nachträglich Hypothesen und unerwartete Korrelationen extrahieren, die Wissenschaftlern wiederum wichtige Anhaltspunkte für neue Fragestellungen liefern.

ZUM TITEL Wir leben im Zeitalter der Information. Die Menge an Daten, die durch die Netze strömen, nimmt exponentiell zu. Diese Big Data – so der Fachbegriff – sinnvoll zu strukturieren und zu nutzen, stellt eine immer größere Herausforderung dar. Um die Flut zu bewältigen, sind neue Techniken notwendig.

10 Im Netz: Hacker versuchen, Einfluss auf Wahlen in demokratischen Staaten zu nehmen.

PERSPEKTIVEN

- 06 Vergangenheitsbewältigung zum Jubiläum
- 06 Rückenwind für Open Access
- 07 „Exzellenzdenken zu etablieren, war ein Meilenstein“
- 08 Neue Bande zu den Niederlanden und China
- 08 Technologietransfer über den Atlantik
- 09 Das Dilemma beim Tierversuch
- 09 Ins Netz gegangen

ZUR SACHE

- 10 **Hackerangriff auf die Wahlfreiheit**
Wäre es nicht viel einfacher und bequemer, am heimischen PC oder via Smartphone abzustimmen? Lieber nicht, denn es drohen viele Manipulationsmöglichkeiten – selbst ohne Internetwahlen.

FOKUS

- 18 Gravitationswellen aus dem Heimcomputer
- 26 Daten zum Stapeln
- 34 Schatzsuche im Datenschungel



54 Im Magnetfeld: Der Tomograf liefert Livebilder der Zungenbewegungen einer Hornistin.



62 Im Ring: Auf dieser Bahn untersuchen Forscher das Schwarmverhalten von Heuschrecken.



70 Im Bann: Wissenschaftler messen erstmals die Wirkung von Kunst auf Körper und Geist.

SPEKTRUM

- 40** Radioblitz aus einer Zwerggalaxie
- 40** Virtuelle Leber könnte Zahl der Tierversuche verringern
- 41** Speeddating unter Vögeln
- 41** Frühe Forstwirtschaft im Amazonaswald
- 42** 50 000 Jahre heimatverbunden
- 42** Grüne Chemie im Muschelfuß
- 43** Hologramme für die Biomedizin
- 43** Marker für die richtige Darmkrebstherapie
- 43** Stahl mit Knochenstruktur
- 44** Persönliche Prognosen unerwünscht
- 44** Dunkle Materie – Fehlanzeige
- 45** Eine Verbindung zu fremden Gedanken
- 45** Wachsen trotz Fasten
- 45** Alter schützt vor Kühnheit nicht

BIOLOGIE & MEDIZIN

- 46** **Unterwegs im Kosmos der Mikroben**
Zur Person: Ruth Ley

MATERIAL & TECHNIK

- 54** **Liveschaltung zum Krankheitsherd**
Dass Ärzte heute viele Krankheiten besser diagnostizieren können als vor 30 Jahren, verdanken sie und ihre Patienten der Magnetresonanztomografie – und nicht zuletzt einem Max-Planck-Forscher. Der bringt den Bildern jetzt sogar das Laufen bei.

UMWELT & KLIMA

- 62** **Warum Tiere auf Schwärme fliegen**
Heute spricht jeder von der Schwarmintelligenz. Aber sind Schwärme wirklich schlauer als der Einzelne? Und nach welchen Regeln funktionieren sie, gibt es überhaupt Regeln? Wissenschaftler bringen mithilfe des Computers Ordnung in das vermeintliche Chaos der Schwärme.

KULTUR & GESELLSCHAFT

- 70** **Die Kraft der Kunst**
Wie reagieren Menschen mental und körperlich auf Dichtung und Prosa? Forschern gelingt es tatsächlich, poetische und rhetorische Sprache in ihrer Wirkung erstmals zu messen – auch schwer greifbare Kategorien wie Eleganz oder kuriose Phänomene wie den Trashfilm-Kult.

RUBRIKEN

- 03** **Orte der Forschung**
- 16** **Post nach – Kalifornien, USA**
Ich versuche, eine gute Balance zu finden
- 78** **Rückblende**
Ein Quantum Energie
- 80** **Neu erschienen**
80 Bernd Heinrich, Der Heimatinstinkt
81 Susanne Kiewitz, Treffpunkt der Nobelpreisträger
82 Peter Berthold, Mein Leben für die Vögel
- 83** **Standorte**
- 83** **Impressum**

Vergangenheitsbewältigung zum Jubiläum

Max-Planck-Institut für Psychiatrie stellt sich seiner Geschichte

100 Jahre sind Grund zum Feiern, aber auch zum Nachdenken. In dieser Zeit sind an der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie und ihren Nachfolgeeinrichtungen, dem Max-Planck-Institut für Psychiatrie und dem Max-

Planck-Institut für Neurobiologie, bedeutende Erkenntnisse gewonnen worden. Während des Nationalsozialismus beteiligten sich Wissenschaftler der Forschungsanstalt jedoch auch an der Planung der systematischen Ermordung

von Menschen mit körperlichen, geistigen und psychischen Beeinträchtigungen. Sie nutzten auch Hirnschnitte der Opfer für ihre Forschung – selbst noch nach dem Krieg. Wie im März 2016 ans Licht kam, befinden sich weiterhin Präparate aus dieser Zeit im Archiv des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie. Daraufhin initiierten die Direktoren umgehend eine Inventarisierung durch externe Experten. Zudem soll ein Forschungsprogramm die Identität der NS-Opfer rekonstruieren.

Bei seiner Rede zur 100-Jahr-Feier betonte Max-Planck-Präsident Martin Stratmann, dass Transparenz und Offenheit im Umgang mit der Vergangenheit oberste Priorität hätten. Mit Blick auf die Gegenwart mahnte er: „Dem Drang nach Erkenntnis sind Grenzen gesetzt. Wissenschaftlichen Vorteil zu ziehen aus menschlichem Leid ist unverantwortbar und absolut unentschuldig.“

Lehren aus der Historie: Zur 100-Jahr-Feier am Max-Planck-Institut für Psychiatrie betonte Max-Planck-Präsident Stratmann die ethische Verantwortung der Wissenschaft.



Rückenwind für Open Access

Wissenschaftsorganisationen bündeln Kräfte für Umstellung des Publikationsmarkts

Ein Jahr nach dem Start erhält die global angelegte Initiative Open Access 2020 weitere Unterstützung. Bei der 13. Berlin-Konferenz im März 2017 kamen rund 220 Fachvertreter von Forschungs- und Forschungsförderorganisationen aus 34 Ländern zusammen. Im Mittelpunkt standen ihre Erfahrungen mit dem grundlegenden Wandel im Publikationsmarkt: So sollen die Fachzeitschriften, für welche die Bibliotheken aktuell hohe Abonnementpreise zahlen müssen, für jedermann frei zugänglich werden. „Vor einem Jahr haben wir als gemeinsames Ziel formuliert, Open Access zum Regelfall des Publizierens zu machen. Nun liegen erste wegweisende Vertragsabschlüsse mit großen Verlagen vor“, sagte Max-Planck-Präsident Martin Stratmann und betonte, der Wandel solle mit den Verlegern gemeinsam gestaltet werden. So nahmen auch Verlagsmanager an der Konferenz teil, bei der die Roadmap für die konkrete Umsetzung weiterentwickelt wurde. In Europa ist auch die politische Unterstützung für Open Access in jüngster Zeit gewachsen. Die zuständigen EU-Minister haben beschlossen, dass bis 2020 alle aus EU-Mitteln finanzierte Forschung frei zugänglich publiziert werden muss.



Gemeinsam für den Wandel: Zur Berlin-Konferenz im März reisten Teilnehmer aus aller Welt an wie Louise Page vom US-amerikanischen Open-Access-Projekt Public Library of Science (PLOS).

„Exzellenzdenken zu etablieren, war ein Meilenstein“

Max-Planck-Nobelpreisträger Erwin Neher über die Beratungen rund um die Gründung des Europäischen Forschungsrats ERC

Der Nobelpreisträger Erwin Neher vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie ist einer der Wegbereiter des Europäischen Forschungsrats ERC. Die Institution gilt im zehnten Jahr ihres Bestehens als internationales Aushängeschild für eine funktionierende Förderung herausragender Forschung. Im Interview spricht Neher über wichtige Weichenstellungen in der Gründungszeit. Dazu gehört eine Unterschriftenaktion, ohne die vielleicht alles anders gekommen wäre.

Herr Neher, Sie sind Vollblutforscher – wie kamen Sie in das völlig anders gelagerte Feld der Forschungspolitik?

Erwin Neher: Den Impuls gab indirekt der damalige EU-Kommissionspräsident Romano Prodi, der im Jahr 2000 erklärte, die Europäische Union solle die größte wissenschaftsbasierte Gesellschaft weltweit werden. Meine Einschätzung war dabei klar: Eine solche Wissensbasis wird durch Grundlagenforschung geschaffen. Die Max-Planck-Gesellschaft hat mich als Mitglied des EURAB, des European Research Advisory Board, vorgeschlagen. Dort war ich von 2001 bis 2004 direkt beteiligt, als mit dem damaligen EU-Forschungskommissar Philippe Busquin beraten wurde, wie die dazugehörige Förderung gestaltet werden soll. So bin ich in die ganze Mühle hineingeraten.

Es ging also darum, dicke Bretter zu bohren ...

Ja, das ist richtig. Meine Erfahrung nach zwei Jahren Arbeit im EURAB war, dass eine Reparatur bestehender Instrumente nicht möglich ist, sondern dass man auf etwas ganz Neues setzen muss. Das klassische Muster war ausgerichtet auf die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie, nicht aber auf die Ermöglichung völlig neuartiger Durchbrüche. Die kommen nicht, wenn eine Behörde vorgibt, was für die europäische Wissenschaft und Wirtschaft wichtig ist, und daraus Projekte formuliert, um die sich dann Wissenschaftler bewerben können. Das hieße Forschung genauso durchzuführen, wie wenn ein Bauunternehmen darangeht, eine Brücke in Spanien zu bauen. Vielmehr muss es,

wie ja auf nationaler Ebene etwa bei der DFG, genau andersherum gemacht werden: Die Idee muss das Entscheidende sein. Die beste Idee, ermittelt im wettbewerblichen Gutachterverfahren nach Exzellenzkriterien, ist der Türöffner für neue Erkenntnisse. Dass wir dieses Denken auf EU-Ebene etablieren konnten, war in der Tat ein Meilenstein.

War es schwer, diesen Perspektivenwechsel zu vermitteln?

Es gab Unterstützer wie Kritiker. Der Knackpunkt war: Gelingt es, die reine Fokussierung auf wissenschaftliche Exzellenz durchzuhalten, also zu vermeiden, dass sich der Proporzgedanke durchsetzt? Die Scientific Community war sich einig: Der ERC soll Projekte fördern, die aus der Wissenschaft kommen, die gewagt, also *high-risk* sind, und bei der Auswahl dieser Projekte soll allein das Exzellenzkriterium gelten. Was heute allseits als Erfolgsrezept gesehen wird, war damals umstritten.

Gab es einen bestimmten Moment, der den Ausschlag gab?

Die Diskussion um den ERC war ständiges Thema im EURAB, der alle paar Monate in Brüssel direkt den EU-Forschungskommissar beriet. Es gab da eine Situation, als damals Philippe Busquin etwas verschlüsselt durchblicken ließ, dass der ERC nicht mehr auf der Liste derjenigen Projekte stehe, die er in seiner Amtszeit durchsetzen wollte. Da habe ich die Initiative ergriffen zu einer Unterschriftensammlung mit 45 Nobelpreisträgern. Mit dieser Liste sind wir im Oktober 2003 nach Brüssel gereist, haben sie Busquin übermittelt und hatten ein sehr gutes Gespräch. Das haben wir wiederholt im Folgejahr, als der Slowene Janez Potočnik das Amt übernommen hatte. Ich glaube, das hat dazu beigetragen, dass die Idee am Leben blieb. Und Potočnik hat sich dann für die Einrichtung des ERC eingesetzt.

Als Max-Planck-Präsident hat sich auch Peter Gruss starkgemacht für den ERC ...

Peter Gruss war sehr engagiert. Er hat sich vor allem um die Frage gekümmert, welche Struktur der ERC haben soll, um mög-



Erwin Neher

lichst unabhängig zu sein. Es gab zwei Modelle mit verschiedenen EU-Regularien. Ausgesucht wurde ein Modell unter der Ägide der Kommission, bei dem aber doch zumindest in den wissenschaftlichen Entscheidungen der ERC im Endeffekt das Sagen hat. Wichtig für das Gelingen war sicher das Wirken von Ernst-Ludwig Winnacker, dem ersten Generalsekretär, und von Fotis Kafatos, dem ersten Vorsitzenden des Scientific Council. Auch die ersten 26 Mitglieder dieses Gremiums stellten wichtige Weichen. Also hat der ERC viele Väter, wie das meistens bei erfolgreichen Unternehmungen der Fall ist.

Wie beurteilen Sie den ERC heute?

Angesichts der früheren EU-Forschungsförderung ist der ERC gerade für die Grundlagenforschung ein sehr großer Fortschritt. Indem der Scientific Council in den ersten Jahren die Förderlinien festgezurr hat, beginnend mit den Starting Grants, dann mit der Einführung der Advanced und der Consolidator Grants, wird ein breites Spektrum innerhalb einer Wissenschaftskarriere abgedeckt. Natürlich gibt es Kritik wegen der Bürokratie, das höre ich von Kollegen, die ERC Grants haben. Aber im Großen und Ganzen ist es ein sehr gutes Programm, das wirklich Topwissenschaft fördert. Und natürlich bin ich froh, einen Anteil daran zu haben.

Interview: Jens Eschert

Neue Bande zu den Niederlanden und China

Zwei Max Planck Center auf den Gebieten Fluidodynamik und regenerative Medizin gegründet

Mit Partnern in Guangzhou, China, und im niederländischen Enschede hat die Max-Planck-Gesellschaft zwei neue Max Planck Center gegründet. In dem Center an der Universität Twente kooperieren die Max-Planck-Institute für Polymerforschung und für Dynamik und Selbstorganisation mit zwei Gruppen der Universität. Dadurch entsteht ein wegweisendes Zentrum für die Erforschung der komplexen Fluidodynamik, also der Bewegung in Flüssigkeiten und Gasen, die in vielen natürlichen und industriellen Prozessen eine wichtige Rolle spielt. Das Center verbessert die Zusammenarbeit der Partner und ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Forschungsinfrastruktur. Die Resultate sollen Fortschritte beispielsweise in der medizinischen Diagnostik oder beim Betrieb von Windkraftanlagen ermöglichen.

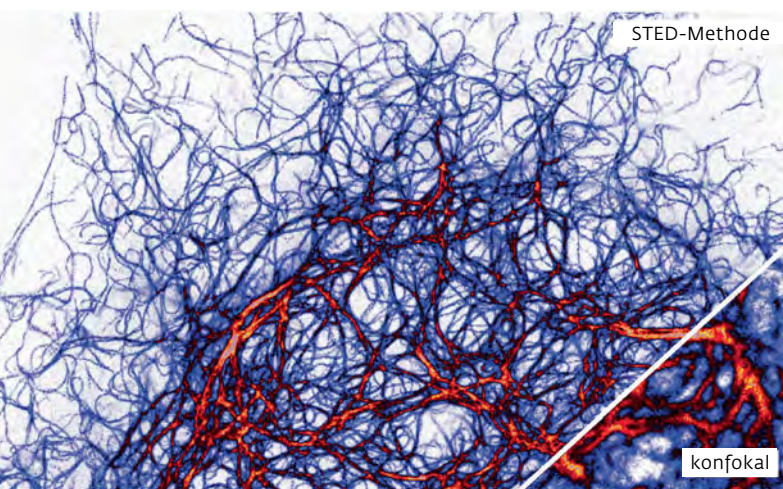
Ein weiteres Center entsteht im chinesischen Guangzhou. Dort schließen sich die Max-Planck-Institute für molekulare Biomedizin und für Herz- und Lungenforschung mit dem Guangzhou Institute of Biomedicine and Health der Chinesischen Akademie der Wissenschaften zusammen. Ziel ist, die Forschung an reprogrammierten Stammzellen voranzutreiben und der regenerativen Medizin neue Impulse zu geben. Über beide Center wird zudem der internationale Austausch talentierter junger Wissenschaftler gefördert.

Voll des Lobes: Bei der Eröffnung des Max Planck Center an der Universität Twente würdigte Max-Planck-Präsident Stratmann das hohe Niveau der niederländischen Forschung und wertete das gemeinsame Vorhaben als Meilenstein für die europäische Wissenschaft.



Technologietransfer über den Atlantik

Florida wird amerikanischer Standort für preisgekrönte Mikroskopietechnik



Klares Bild: Mit der STED-Methode lassen sich Vorgänge in lebenden Zellen wesentlich detaillierter beobachten als mit den in der Forschung häufig genutzten Konfokalmikroskopen (rechts unten).

Abberior Instruments, das Unternehmen von Max-Planck-Nobelpreisträger Stefan Hell mit Sitz in Göttingen, hat in den USA eine Tochterfirma gegründet. Abberior stellt Mikroskope nach der von Hell entwickelten STED-Methode her, mit der sich hochauflösende Fluoreszenzbilder weit unterhalb der Beugungsgrenze erzeugen lassen. Die Wahl für den Standort der US-Zentrale fiel auf den Campus des Max Planck Florida Institute for Neuroscience. David Fitzpatrick, CEO und wissenschaftlicher Direktor des Instituts, erhofft sich davon auch einen Schub für die Forschung. „Die neuesten Verbesserungen dieser ultra-hochauflösenden Mikroskopietechnik sind der Schlüssel für aufschlussreiche Entdeckungen in der Hirnforschung und darüber hinaus“, sagt Fitzpatrick. „Die gesamte amerikanische Life-Science-Industrie wird davon profitieren, dass sie jetzt einen besseren Zugang zu dieser Technologie hat.“ Stefan Hell betont das wissenschaftliche Renommee des Campus in Jupiter. Dort befinden sich neben dem Max-Planck-Institut auch die Florida Atlantic University und eine Zweigstelle des Scripps Research Institute.

Das Dilemma beim Tierversuch

Forum im Max-Planck-Haus diskutiert über Tierethik in Wissenschaft und Gesellschaft

In einer Grundsatzklärung zu Tierversuchen in der Grundlagenforschung hat sich die Max-Planck-Gesellschaft verpflichtet, Transparenz und Kommunikation bei diesem kontroversen Thema zu stärken. Im Januar fand dazu eine Podiumsdiskussion im Münchner Max-Planck-Haus statt. Vor 100 Gästen debattierten zwei Max-Planck-Direktoren – der Hirnforscher Wolf Singer und die Juristin Anne Peters – sowie der Philosoph Dieter Birnbacher von der Universität Düsseldorf über Fragen der Tierethik. Ausgangspunkt war die Besonderheit der Grundlagenforschung: Sie sei ein Grundwert an sich, konstitutiv für das Menschsein, betonte Singer. Birnbacher bestärkte das, betonte aber zusätzlich den Anwendungsbezug. Wissenschaftler müssten den Erkenntnisgewinn und den möglichen Nutzen ihrer Projekte gegen das Tierwohl abwägen. Peters wies darauf hin, wie wichtig definierte Kriterien sind. So lege die EU-Richtlinie zum Tierschutz fest, wie stark ein einzelnes Tier belastet werden darf und dass im Nachhinein diese Belastungen im Verhältnis zum Erkenntnisgewinn bewertet werden müssen. Singer ergänzte, wegen der äußert fachspezifischen Begründungen für Tierversuche sei Vertrauen in die Wissenschaftler nötig. Dieses sei nur mit Transparenz zu gewinnen.



Sorgfältiges Abwägen: Moderiert von der Wissenschaftsjournalistin Christina Berndt (Mitte), diskutierten Dieter Birnbacher, Wolf Singer und Anne Peters Tierexperimente unter ethischen Gesichtspunkten (von links).

Ins Netz gegangen



Historische Vorbilder

Caroline Herschel, Ada Lovelace und Sofja Kovalevskaja: In einer Artikelserie sprechen Max-Planck-Wissenschaftlerinnen über ihre historischen Vorbilder – Pionierinnen, die Außergewöhnliches für ihre Disziplin geleistet haben, allen Widerständen zum Trotz. Was verbindet die Frauen heute und gestern? Wie haben sich die Arbeitsbedingungen seitdem verändert? Was gibt es noch zu tun? Die Reihe, die zum Nachdenken über Chancengleichheit einlädt, soll regelmäßig um weitere Porträts von Frauen in der Forschung ergänzt werden.

www.mpg.de/frauen-in-der-forschung

Wie sich Krankheiten ausbreiten

Richard Neher vom Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie hat gemeinsam mit Trevor Bedford vom Fred Hutchinson Cancer Research Center in Seattle den Open-Science-Preis gewonnen. Die beiden erhalten die Auszeichnung für ihr Online-Tool nextstrain.org, mit dem sich die Evolution und Ausbreitung von Krankheitserregern wie Ebola oder Zika in Echtzeit überwachen lässt. „Die Ebola-Epidemie hat uns die Nützlichkeit einer Plattform, mit der sich die Ausbreitungswege live verfolgen lassen, deutlich gemacht“, sagt Richard Neher, der vor Kurzem an das Biozentrum der Universität Basel gewechselt ist.

www.nextstrain.org

Schutz für Schimpansen

Um den Westlichen Schimpansen vor der Ausrottung zu retten, hat Max-Planck-Direktor Christophe Boesch vor 16 Jahren die Wild Chimpanzee Foundation ins Leben gerufen. Die Non-Profit-Organisation setzt sich für den Schutz der Schimpansen an der Elfenbeinküste, in Guinea und Liberia ein. Auch die Projekte der Verhaltensforscher vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie helfen, optimale Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Wir sprachen mit Boesch über die politische Lage vor Ort, die Rolle von Ökotourismus und die Zusammenarbeit mit Schulen.

www.mpg.de/wild-chimpanzee-foundation

Hackerangriff auf die Wahlfreiheit

Politische Wahlen finden bei uns nach wie vor auf Papier statt. Eigentlich erstaunlich in Zeiten, in denen wir uns im Internet informieren und einkaufen, die Heizung daheim per App steuern und sogar der Personalausweis eine Onlinefunktion hat. Wäre es nicht viel einfacher und bequemer, am heimischen PC oder via Smartphone die Bundestagsabgeordneten zu voten? Lieber nicht, meint unser Autor. Und er warnt, dass auch ohne Internetwahlen viele Manipulationsmöglichkeiten auf elektronischem Wege drohen.

TEXT **RAINER W. GERLING**

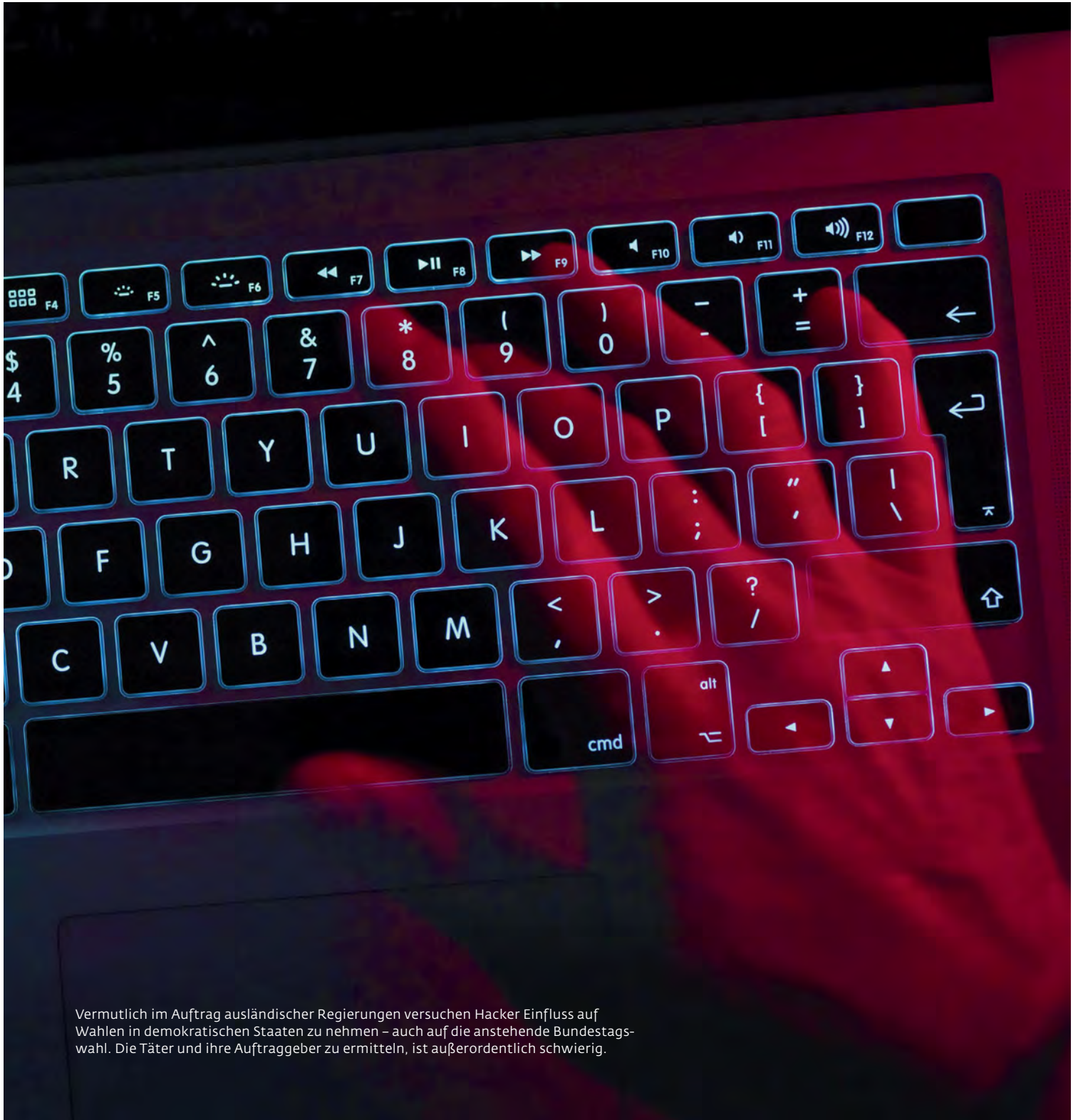
Um es gleich vorwegzunehmen: Politische Wahlen im Internet wird es in absehbarer Zeit zumindest in Deutschland nicht geben. Und das ist gut so. Sicher wäre das Wählen im Internet einfach und komfortabel, vielleicht würden sogar mehr Bürger online ihre Stimme abgeben – trotzdem mag man sich einen Wahlvorgang komplett im Internet für politische Wahlen lieber nicht vorstellen. Ein Angriff auf die

Wahlen müssen geheim, frei und sicher sein. Geheim heißt, dass niemand mitbekommt, wie eine Wählerin oder ein Wähler abstimmt. Damit eine Wahl wirklich frei ist, dürfen Wähler auch keinen Beleg für eine konkrete Stimmabgabe erhalten. Ein Handyfoto aus der Wahlkabine, um die eigene Stimmabgabe zu dokumentieren, ist auch keine gute Idee. Es muss sichergestellt werden, dass eine Stimme für eine bestimmte Kandidatin oder einen bestimmten Kandidaten nicht erpresst oder gekauft werden kann. Sicher bedeutet, dass die Stimmen unmanipuliert ausgezählt werden können. Und da kommen schon bei Wahlmaschinen, wie sie in den USA weitverbreitet sind, gewisse Zweifel auf.

In den Vereinigten Staaten setzen nur noch 18 der 50 Staaten auf eine ausschließlich papierbasierte Stimmabgabe. Zehn Staaten verwenden zumindest teilweise Wahlmaschinen ohne Kontrollausdrucke auf Papier (zum potenziellen manuellen Nachzählen). Bei diesen Geräten ist eine nachträgliche Kontrolle der digitalen Stimmauszählung kaum möglich. Und selbst wenn die Wähler zur Kontrolle einen Papierbeleg erhalten, den sie in eine Wahlurne legen – für Laien ist dann auch weiterhin nicht nachvollziehbar, ob die Maschine die identische Stimmabgabe speichert. >

Die Stimmabgabe auf Papier findet nur noch in 18 US-Bundesstaaten statt

Computer der Wähler könnte von jedem Ort der Welt vorgenommen werden, Manipulationen von den verschiedensten Seiten wären Tür und Tor geöffnet. Ronald L. Rivest hat dafür ein treffendes Bild geprägt: Im Jahr 2016 beantwortete er in einem Vortrag die Frage nach den Best Practices für eine Internetwahl mit der Gegenfrage nach den Best Practices für das Spielen auf einer verkehrsreichen Straße.



Vermutlich im Auftrag ausländischer Regierungen versuchen Hacker Einfluss auf Wahlen in demokratischen Staaten zu nehmen – auch auf die anstehende Bundestagswahl. Die Täter und ihre Auftraggeber zu ermitteln, ist außerordentlich schwierig.

Grundsätzlich ist Misstrauen gegenüber Wahlmaschinen angebracht: So gab es in der Vergangenheit Probleme mit der Software der Geräte. Im Jahr 2008 wurde etwa bekannt, dass Wahlcomputer der Firma Premier Election Solutions beim Zusammenführen von Ergebnissen mehrerer Wahlcomputer einen Teil der Stimmen „vergaßen“. Da ein erneuter Zulassungsprozess Jahre dauert, veröffentlichte die Firma einen Workaround in Form einer geänderten Bedienungsanleitung. Die Fehlbedienung wird nicht technisch verhindert, vielmehr wird dem Anwender nur gezeigt, wie er sie vermeidet. So werden Fehler nicht ausgeschlossen.

Auch die Sicherheitssysteme von Wahlmaschinen sind äußerst zweifelhaft. Der Experte Jeremy Epstein schreibt in seinem Blogbeitrag *Decertifying the worst voting machine in the US* des Princeton Center for Information Technology Policy über unglaubliche Si-

Manipulierte Software bringt den Wahlcomputer zum Schachspielen

cherheitslücken bei Wahlcomputern. So wird beispielsweise für die WEP-Verschlüsselung im WLAN der Code „abcde“ verwendet. Dieser Schlüssel ist „fest verdrahtet“ und nicht änderbar. Einige Systeme haben seit 2004 keine Sicherheitspatches erhalten. USB-Ports und andere physische Zugänge sind nicht immer abgesichert. Wer ein USB-Gerät in einen ungesicherten USB-Port stecken kann, kann wahrscheinlich Manipulationen vornehmen. Bruce Schneier, ein international anerkannter US-amerikanischer IT-Sicherheitsexperte, berichtete, Wahlcomputer hätten die Default-Passworte „abcde“ oder „admin“ gehabt. Da Wahlcomputer durchaus auch WLAN zur Kommunikation benutzen, ist ein Einbruch selbst aus einiger Distanz denkbar.

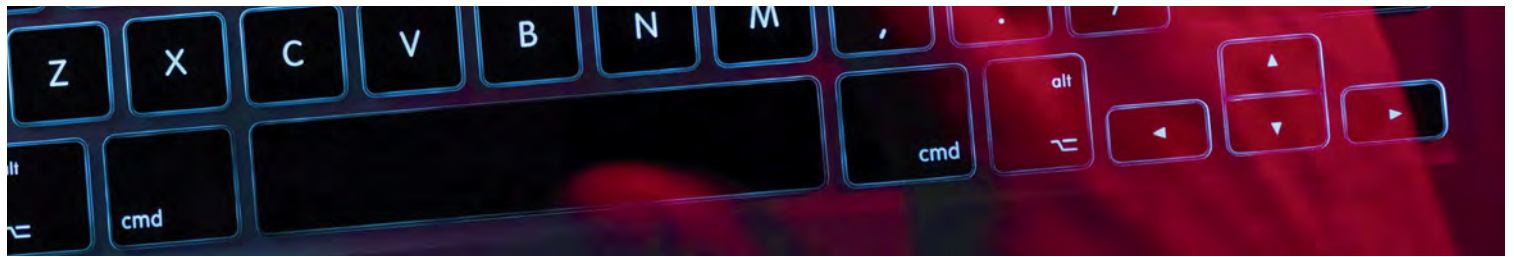
Im Jahr 2007 demonstrierten niederländische und deutsche Hacker, dass man einem Nedap-Wahlcomputer durch Verändern der Software das Schachspielen beibringen kann. Damit zeigten sie, dass beliebige Veränderungen der Software unbefugt möglich sind. Es ist sicher ein großer Aufwand, Wahlmaschinen zu

hacken. Aber die im Erfolgsfall großen Auswirkungen rechtfertigen aus Sicht des Angreifers durchaus den Aufwand. Dazu kommt: Während etwa Unternehmen ein starkes eigenes Interesse daran haben, dass ihre Computersysteme sicher sind und Sicherheitssysteme wie eine Firewall haben, um sich gegen Angriffe von außen zu schützen, ist bei Wahlmaschinen auch der Betreiber ein möglicher Angreifer. So kann der Betreiber, ohne sich verdächtig zu machen, flächendeckend Updates in die Wahlmaschinen einbringen. Eine Überprüfung durch Wählerinnen und Wähler oder auch Wahlhelfer vor Ort ist nicht möglich. Das Gerät auch vor potenziellen Manipulationen durch den Betreiber zu schützen, ist eine weit größere Herausforderung.

Wahlcomputer technisch komplett abzuschotten, ist keine Option, da zumindest die aktuellen Stimmzettel vor der Wahl eingespielt werden müssen. Dies geschieht in der Regel durch das Einstecken von Speicherkarten, die häufig auf Windows-Rechnern beschrieben werden. Die gleichen Speicherkarten dienen auch dem Update der Software: Ist eine Datei mit einem bestimmten Namen vorhanden, sieht das Gerät den Inhalt der Datei als Software-Update an und installiert sie. Jeder, der kurze Zeit Zugriff auf die Wahlmaschine hat, kann eine Speicherkarte einschieben und beliebige Software einspielen.

Die Sicherheit von Wahlmaschinen gilt mit Recht als zweifelhaft. Trotzdem sind flächendeckende Manipulationen eher unwahrscheinlich. Wenn Wahlcomputer gehackt werden, ist davon auszugehen, dass nicht pauschal alle Modelle davon betroffen sind, sondern nur einige. Auch bei normalen Computern erleben wir, dass ein Hack eines Windows-Rechners nicht unbedingt auf einem Apple- oder Linux-Rechner funktioniert. In den Vereinigten Staaten sind immerhin 53 unterschiedliche Wahlgeräte von 17 Herstellern im Einsatz.

Zudem gibt es bis jetzt keine Beweise für die Manipulation von Wahlcomputern. Eine Gruppe, zu der auch der Leiter des Center for Computer Security and Society der University of Michigan, J. Alex Halderman, gehört, hat zwar behauptet, dass Hillary Clinton in Wisconsin in Stimmbezirken mit Wahlcomputern etwa sieben Prozent weniger Stimmen erhielt als in Stimmbezirken mit Papierstimmzetteln. Die Unterschiede lassen sich jedoch auch durch systematische Fehler oder durch zufällige Korrelationen zwischen



dem Typus der Wahlmaschine und demografischen Faktoren erklären. Man kann also nur spekulieren, ob die Präsidentschaftswahlen in den USA manipuliert wurden, aber ein fader Beigeschmack und ein un gutes Gefühl bleiben.

Auch in Deutschland wurden in der Vergangenheit bei verschiedenen Wahlen bereits Wahlcomputer verwendet. Zwei Beschwerden gegen „den Einsatz von rechnergesteuerten Wahlgeräten“ führten dazu, dass 2009 die Bundeswahlgeräteverordnung vom Bundesverfassungsgericht für verfassungswidrig erklärt wurde, „weil sie nicht sicherstellt, dass nur solche Wahlgeräte zugelassen und verwendet werden, die den verfassungsrechtlichen Voraussetzungen des Grundsatzes der Öffentlichkeit genügen“. Voraussetzung sei, „dass die wesentlichen Schritte der Wahlhandlung und der Ergebnisermittlung vom Bürger zuverlässig und ohne besondere Sachkenntnis überprüft werden können“. Dies ist bei den derzeitigen Wahlcomputern nicht gewährleistet. So kamen seither in Deutschland keine Wahlcomputer mehr zum Einsatz.

Bleibt die Frage, welche Gründe überhaupt für die Geräte sprechen. Der einzige Vorteil ist, dass sie das Auszählen vereinfachen, schneller und billiger machen. Für die Wählerin oder den Wähler wird der Wahlvorgang dadurch nicht erleichtert. Wahlcomputer können lediglich ungültige Stimmzettel technisch verhindern. Eine ungültige Stimme abzugeben, kann aber auch eine bewusste Wahlentscheidung sein.

Es gibt also viele gute Gründe, die klassischen papierenen Stimmzettel bei politischen Wahlen beizubehalten. Nur wenn wir unser Kreuz mit einem normalen Stift auf normales Papier machen können, ist sichergestellt, dass die Auszählung zeitnah und öffentlich – unter Wahrung eines Mehraugenprinzips – erfolgt. Auch während der Stimmabgabe ist das Mehraugenprinzip zur Beobachtung der Wahl sichergestellt.

Allerdings sind Wahlmaschinen wohl nicht dauerhaft aus deutschen Wahllokalen verbannt. Hersteller und Kommunen, die aufs Geld schauen, werden versuchen, wieder elektronische Systeme für die Stimmabgabe und -auszählung einzuführen. Wenn Wahlmaschinen eingesetzt werden, darf dies nicht geschehen mit dem Argument: „Vertrau uns, wir machen das schon richtig.“ Und das „wir“ kann dabei sowohl den Hersteller der Wahlmaschinen als auch den Staat meinen. Die Grundeinstellung muss sein: „Es werden Pannen geschehen, wir müssen sie feststellen und

korrigieren.“ Die Möglichkeiten zu einem Audit müssen in die elektronischen Wahlverfahren eingebaut sein, und ein Audit der Wahlergebnisse muss zwingend auch durchgeführt werden.

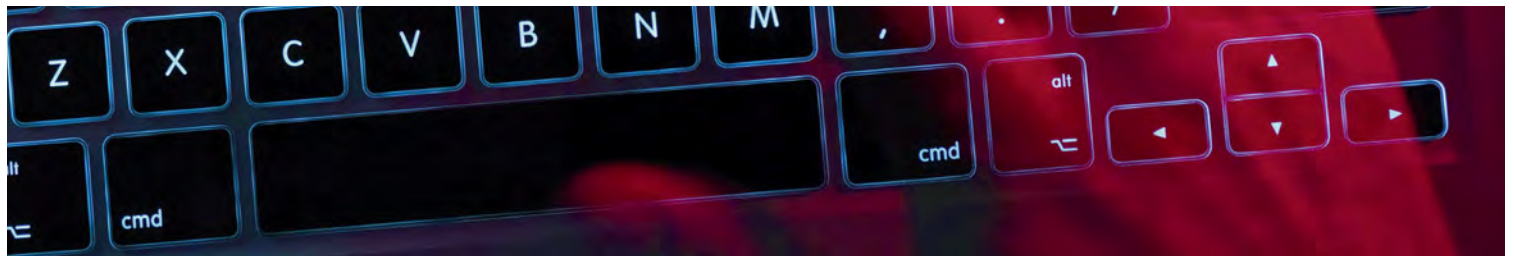
Bei der Bundestagswahl 2017 wird es keine manipulierten Wahlmaschinen geben, aber damit ist die Gefahr digitaler Manipulationen keineswegs gebannt: So müssen die Wahlergebnisse aus den Wahllokalen eingesammelt werden, was über digitale Netze geschieht. Der Bundeswahlleiter Dieter Sarreither rechnet mit Hackerangriffen und hat deshalb vorsorglich

Digitale Verbrecher hinterlassen Spuren, aber handfeste Beweise gibt es kaum

das verwendete Verwaltungsnetz besonders sichern lassen. Notfalls kann auf Telefon- und Faxkommunikation zurückgegriffen werden. In den Niederlanden wurde bei der Wahl am 15. März 2017 mit der Hand ausgezählt, da die sonst verwendete Software als anfällig für Hacks gilt. Kurierbrachten die Ergebnisse aus den Wahllokalen in die regionalen Wahlbüros. Erst dort wurden dann Computer eingesetzt.

Die Wahlen selbst können bei uns also als sicher gelten, aber es ist zu befürchten, dass Hacker versuchen, im Vorfeld Einfluss auf das Ergebnis zu nehmen. In den USA war das offensichtlich der Fall: Am 6. Januar 2017 veröffentlichten CIA, FBI und NSA einen gemeinsamen Bericht, dass russische Dienste die Präsidentschaftswahlen in den USA beeinflusst hätten. Danach wurde das Computernetz des Democratic National Committee im Juli 2015 gehackt. Bis Mai 2016 wurden im großen Stil Dokumente gestohlen. Später wurden diese Dokumente unter dem (möglicherweise russischen) Pseudonym Guccifer 2.0 von DC Leaks und Wikileaks veröffentlicht. Da mit diesen Dokumenten im Wesentlichen die Demokraten und ihre Kandidatin Hillary Clinton diskreditiert werden sollten, kann dies als – zumindest versuchte – Wahlbeeinflussung gesehen werden. Die russische Regierung weist diesen Verdacht weit von sich.

Öffentlich verfügbare Beweise, dass russische Dienste hinter den Vorgängen stecken, gibt es nicht.



Aber mehr oder weniger starke Hinweise. Solche Indizien für digitale Vergehen lassen sich natürlich nicht so leicht dingfest machen wie Beweismittel in der realen Welt: Bei einem klassischen Tatort findet die Polizei Fingerabdrücke, Fasern und DNA-Spuren, die sie letztendlich einer oder mehreren Personen zuordnen kann. An einem digitalen Tatort finden Ermittler Schadsoftware und in der Analyse der Kommunikation etwa IP- oder E-Mail-Adressen. Diese Bits und Bytes jemandem zuzuordnen, ist jedoch wesentlich schwieriger als bei klassischen Indizien.

So suchen digitale Forensiker in der Schadsoftware beispielsweise nach russischen oder chinesischen Textfragmenten. Sie sind kein Beweis, da genauso gut Hacker aus einem anderen Land eine falsche Fährte gelegt haben können. Wenn der Forensiker Glück hat, ist die Schadsoftware eine Optimierung oder Weiterentwicklung einer bekannten Schadsoftware, von der man weiß, dass etwa russische oder chinesische staatliche Stellen sie schon lange einsetzen. Dann gibt es bereits zwei Indizien. Die ausspionierten Daten werden bei einem Server abgeliefert. Der steht irgendwo in Europa oder Amerika bei einem Provider. Hierzu mieten die Angreifer einfach Rechner bei Dienstleistern und melden Domains an. Wenn der Domainname jedoch über eine E-Mail-Adresse registriert wurde, die schon länger russischen oder chinesischen staatlichen Stellen zugeordnet werden konnte, hat man einen weiteren Hinweis in der Hand. Auch kann den Ermittlern etwa die spezielle Technik der Datenübertragung bereits länger bekannt sein, und sie können sie mit älteren Vorfällen vergleichen. Die genauen technischen Details dieser Analysen sind jedoch ein gut gehütetes Betriebsgeheimnis der ermittelnden Geheimdienste.

Ein weiteres Indiz kann die Interessenlage sein: Bei einem Angriff auf die IT-Infrastruktur des Uigurischen Weltkongresses ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich um chinesische staatliche Stellen handelt, da der Uigurische Weltkongress zu den sogenannten Fünf Giften, den Hauptbedrohungen des chinesischen Staates, gehören. Wenn dagegen – wie am 23. Dezember 2016 – in der Westukraine ein großer Stromausfall für Probleme sorgt, der auf einen Cyberangriff zurückgeht, dann ist es höchst unwahrscheinlich, dass chinesische staatliche Stellen die Urheber waren. Hier spricht eher einiges für einen russischen Ursprung.

Umfangreiches gesammeltes Wissen bei Sicherheitsfirmen und -behörden vermag in der Gesamtschau ein plausibles Bild zu ergeben. Die endgültigen Erkenntnisse werden veröffentlicht, sie sind aber von außen nicht ohne Weiteres nachvollziehbar. Und klar ist auch: Ein plausibles Bild ist noch lange kein gerichtsfester Beweis. Parallel zu den Fällen in den Vereinigten

Angreifer könnten versuchen, vor der Bundestagswahl die öffentliche Meinung zu manipulieren

Staaten stellt sich die Frage, ob die Bundestagswahl ähnlich gefährdet ist wie die US-amerikanische Präsidentschaftswahl. Zumindest gab es in den vergangenen 24 Monaten bereits mehrere Hackerangriffe auf deutsche Parteien und Regierungsstrukturen.

Im Frühjahr 2015 brachen Hacker in das Parlakom-Netz des Deutschen Bundestags ein und kopierten etwa 16 Gigabyte Daten. Deutsche Sicherheitsbehörden gehen davon aus, dass dafür eine staatsnahe russische Hackergruppe verantwortlich war, die unter anderem unter dem Namen APT28 bekannt ist. Diese Gruppe ist seit etwa 2004 aktiv. APT28 wird auch der Angriff auf den französischen Fernsehsender TV5 Monde im April 2015 zugeschrieben, wie Hans-Georg Maaßen, Präsident des Bundesamts für Verfassungsschutz, in einer Podiumsdiskussion während der IT-Sicherheitstagung 2015 der Max-Planck-Gesellschaft sagte. Die Attacke gilt übrigens als *false flag operation*, da es ein wohl gefälschtes Bekenner-schreiben einer bis dahin unbekanntem islamischen Gruppe namens Cyber Caliphate gab.

Das Sicherheitsunternehmen Trend Micro berichtete im Mai 2016, dass die Gruppe APT28 einen Angriff gegen die CDU gestartet habe. Dazu wurde ein nachgebauter CDU-Webmail-Server in Litauen betrieben, um dann mit Phishing-E-Mails Benutzerkonten und Passwörter abzugreifen.

Im August 2016 schickte ein Heinrich Krammer eine Mail, die vermeintlich aus dem Nato-Hauptquartier (E-Mail-Adresse endet auf @hq.nato.int) kam. Die E-Mail versprach Hintergrundinformationen unter anderem über den Militärputsch in der Türkei. Wer

auf den Link in der Mail klickte, installierte eine Schadsoftware auf seinem Rechner. Adressaten der E-Mail waren Sahra Wagenknecht und die Bundesgeschäftsstelle der Linken sowie die Junge Union und die CDU im Saarland. Auch hier vermuten Sicherheitskreise die Gruppe APT28 als Urheber.

Im November 2016 veröffentlichte Wikileaks 90 Gigabyte Daten (2420 Dokumente) aus dem NSA-Untersuchungsausschuss des Deutschen Bundestages. Diese Daten scheinen nicht aus dem Bundestags-Hack vom Frühjahr 2015 zu stammen. Die Parallelen zu dem Vorgehen der Hacker in den USA sind auffällig. Insofern muss damit gerechnet werden, dass in der heißen Phase des Wahlkampfs in Deutschland Informationen aus diesen Hacks auf Wikileaks oder vergleichbaren Plattformen auftauchen.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) beschäftigt sich als die deutsche nationale Cyber-Sicherheitsbehörde intensiv mit dem Thema. BSI-Präsident Arne Schönbohm warnte im Herbst 2016 die Parteien persönlich vor Ausspähung durch staatliche Hacker. Der Verdacht, der dabei im Raum steht: Vor der Bundestagswahl könnten Angreifer versuchen, die öffentliche Meinung zu manipulieren. Im Fokus stehen auch automatisierte Meinungsplatzierungen im Internet oder in sozialen Netzen. Im März 2017 warnte das BSI die politischen Parteien in Deutschland nochmals deutlich vor zu erwartenden Cyberangriffen während des Wahlkampfs.

Anfang Februar 2017 gab es Medienberichte, wonach deutsche Geheimdienste keine Beweise für gezielte russische Desinformation gefunden haben. Trotzdem nennt der 50-seitige Bericht laut Recherchen von NDR, WDR und SÜDDEUTSCHER ZEITUNG die Berichterstattung russischer Propagandamedien wie der deutschsprachigen Ausgabe von RUSSIA TODAY oder SPUTNIK NEWS geradezu „feindselig“. Wo ist die Grenze zwischen überspitzter Berichterstattung und Desinformation?

Dass Staaten versuchen, durch Desinformation, Propaganda, Fake-News und alternative Fakten (altmodisch auch Lügen genannt) die öffentliche Meinung in ihrem Sinn zu beeinflussen, ist nichts Neues. Das Internet, soziale Medien und Plattformen wie Wikileaks haben die Zahl der Informationsanbieter jedoch dramatisch steigen lassen. Klassische journalistische Ethik und Wahrhaftigkeit sind dabei vielfach auf der Strecke geblieben. Eine Richtigstellung und



DER AUTOR

Rainer W. Gerling, Jahrgang 1954, ist IT-Sicherheitsbeauftragter der Max-Planck-Gesellschaft sowie Honorarprofessor für das Fachgebiet IT-Sicherheit an der Fakultät für Informatik und Mathematik der Hochschule München. Dort ist der habilitierte Physiker für die Zusatzausbildung „Betrieblicher Datenschutz“ im Fachbereich Informatik verantwortlich. Gerling hat zahlreiche Aufsätze in Fachzeitschriften und Büchern publiziert und gehört dem Herausgeberbeirat der Zeitschriften DATENSCHUTZ UND DATENSICHERHEIT SOWIE IT-SICHERHEIT an. Seit 2012 ist er stellvertretender Vorsitzender der Gesellschaft für Datenschutz und Datensicherheit e.V.

Bewertung durch klassische Medien und Experten oder gar staatliche Stellen ist schwierig. Die Lebenserfahrung zeigt uns, dass doch immer irgendetwas hängen bleibt. Letztendlich müssen jede Bürgerin und jeder Bürger für sich entscheiden, was sie glauben und was nicht. Dabei hilft nur eines: Bildung. Insofern sollten wir in Europa ein bisschen weniger anfällig für alternative Fakten sein als die US-Bürgerinnen und -Bürger, da das Bildungsniveau in Europa im Mittel höher ist. ◀



Ich versuche, eine gute Balance zu finden

An den Max-Planck-Instituten arbeiten Wissenschaftler aus 94 Ländern dieser Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Gabriel Antonio Guerrero aus Kalifornien promoviert am Kölner Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns. Der 29-Jährige will nach seiner Promotion in die USA zurückkehren, zunächst an eine Medical School. Danach möchte er sich um eine Stelle als Assistenzprofessor für Biomedizin bemühen.



Ich bin in Kalifornien geboren und aufgewachsen und beendete gerade mein erstes Jahr als Doktorand, als ich in Erwägung zog, mich für eine andere Doktorandenstelle am Max-Planck-Institut für Alternsforschung zu bewerben. Während meines ersten Besuchs in Europa habe ich mich einfach in die Idee verliebt, in Deutschland zu leben – einem Land, in dem ich nicht mal die einheimische Sprache spreche.

In den USA glauben wir, dass San Francisco die europäischste aller amerikanischen Städte ist. Also dachte ich, dass Köln so wie San Francisco sei. Aber das stimmt natürlich überhaupt nicht. Es hat einige Zeit gedauert, bis ich mich an das Leben in Köln gewöhnt hatte. Zu Hause würde ich ab 7 Uhr morgens surfen und um 9 Uhr im Labor sein, wohingegen ich in Deutschland dafür ungefähr 500 Kilometer weit reisen müsste: zu den Wellenreitern am Münchner Eisbach. Also habe ich als Ausgleich mit Klettern angefangen – im Moment noch in der Halle, aber hoffentlich bald auch an Outdoor-Kletterfelsen.

Beim ersten Gespräch mit meinem Chef am Institut wusste ich, dass Max-Planck ein Ort für Spitzenforschung ist – einfach weil ich hier nur durch zwei Dinge limitiert werde: Arbeitsmoral und Kreativität. Molekularbiologen verbringen viel Zeit im Labor, aber ich mag die deutsche Art der Work-Life-Balance. Freizeit ist hier sehr wichtig. Und selten nimmt man



Gabriel Antonio Guerrero, 29, studierte Biologie und Wirtschaft an der San Diego State University, während er bereits an der University of California in San Diego Forschungen betrieb. Zunächst schrieb er sich für ein Promotionsstudium am Sanford Burnham Prebys Medical Discovery Institute in La Jolla im Bereich der Proteostase ein. Seit Januar 2015 promoviert Guerrero am Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns in Köln. Als Genetiker untersucht er am Fadenwurm *Caenorhabditis elegans*, wie Neuronen Schutzmechanismen im Rest des Körpers auslösen und welche Rolle diese Signale im Alterungsprozess spielen.

Arbeit mit nach Hause, wenn man bereits einen anstrengenden 12- bis 14-Stunden-Tag hatte. So ist die Forschung vielleicht ein kleines bisschen langsamer, macht aber viel mehr Spaß – deswegen versuche ich, eine gute Balance zwischen der deutschen und der wesentlich stressigeren amerikanischen Wissenschaftskultur zu finden.

Ich würde gern in der Forschung bleiben – trotz der großen Konkurrenz. Nach meiner Promotion am Max-Planck-Institut plane ich vier weitere Jahre an einer Medical School in den USA. Dann versuche ich, eine Stelle als Assistenzprofessor für Biomedizin zu finden. Die Vorstellung, Studenten zu unterrichten, fasziniert mich. Denn ich weiß, dass ich zunächst selber geforscht haben muss, bevor ich das anderen beibringen kann.

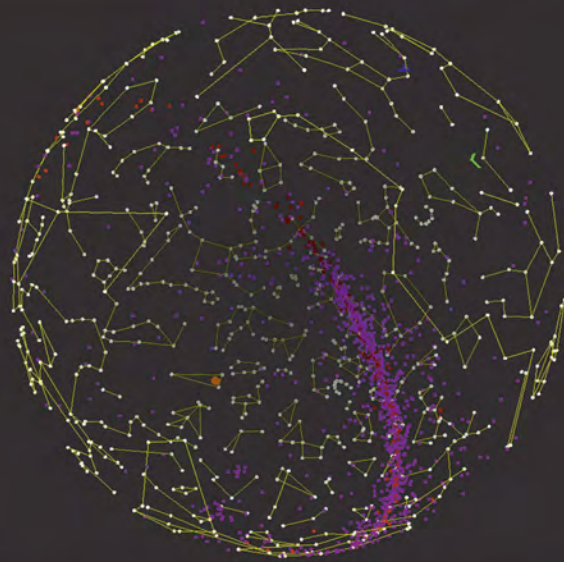
Bis ich dieses Ziel erreiche, vergeht zwar noch eine Weile, aber es ist sinnvoll, Zeit in Bildung zu investieren. Mein Vater ist Vizedekan und Medizinprofessor. Und meine Eltern bekamen mich zu der Zeit, als er seine Promotion begann. Sie trafen sich an der Uni, stammen aber beide aus Einwandererfamilien der ersten und zweiten Generation: Meine Vorfahren waren Mexikaner und amerikanische Ureinwohner. Der akademische Bildungsgrad meiner Eltern war ungewöhnlich hoch – selbst heute sind nur fünf Prozent aller Promovierten in den USA mexikanischer Herkunft.

In meinem vorherigen Promovierenden-Programm an der University of California waren wir Hispanos nur zu zweit. Und es wurde mir klar, dass ich Teil einer Minderheit bin. Allerdings bin ich persönlich schon sehr amerikanisiert und habe nie offenen Rassismus in Kalifornien erlebt: Es ist der Bundesstaat mit dem höchsten Anteil an Hispanos, rund 40 Prozent. Meine Eltern allerdings, die sich damals die Uni überhaupt nur dank vollständiger Stipendien leisten konnten, haben sich oft diskriminiert gefühlt.

Noch heute ist gleichberechtigte Bildung ein Problem für Jugendliche in den USA. Ein breitflächiges Schulsystem, das den Zugang zu Bildung für alle Schüler und Studenten, unabhängig von ihrem ethnischen oder sozialen Hintergrund, ermöglicht, ist darum wichtiger denn je. Es ist noch ein weiter Weg, bis alle denselben Zugang zu einer Ausbildung haben wie ich.

Einstein@Home
World Year of Physics 2005

14:26:38



User: Amber L. Skiver
Total credit: 272724
Host credit: 77895
Team: Einstein@Penn State

Search information:
RA: 353.80
Dec: -34.79
Percent done: 34.00%



Gravitationswellen aus dem Heimcomputer

Das Projekt Einstein@Home ermöglicht es jedermann, am eigenen PC, Laptop oder Smartphone nach Gravitationswellen zu suchen und damit selbst zum Entdecker zu werden.

Bruce Allen, Direktor am **Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik** in Hannover, hat dieses Citizen-Science-Projekt begründet. Mittlerweile spürt die Software in den Big Data außerdem Pulsare auf. An dieser Fahndung sind auch Forscher des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn beteiligt.

TEXT **THOMAS BÜHRKE**

Die Entdeckung einer Gravitationswelle am 14. September 2015 mit den LIGO-Detektoren in den USA gilt als wissenschaftliche Sensation. Eine der letzten Vorhersagen von Albert Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie war damit bestätigt. Maßgeblich an dem Fund beteiligt waren Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Golm und Hannover (MAXPLANCKFORSCHUNG 1/2016, Seite 78ff.).

Die erste nachgewiesene Gravitationswelle war unerwartet stark, ihr Signal selbst mit bloßem Auge in dem Datenstrom zu erkennen, den der in Hannover stehende Supercomputer Atlas unentwegt analysierte. Dort be-

merkte ein Forscher des Max-Planck-Instituts das Signal als Erster. Doch es ginge auch anders. Seit dem Beginn der LIGO-Messungen suchen die Wissenschaftler nach schwachen periodischen Gravitationswellen, wie sie vermutlich schnell rotierende Neutronensterne aussenden. Atlas ist hierfür der weltweit größte Cluster zur Datenanalyse, doch bei dieser Aufgabe stößt selbst er an seine Grenzen.

Dieses Problem war den Konstrukteuren der Gravitationswellendetektoren von Anfang an bewusst, und so kamen zwei von ihnen auf eine Idee. „Es war der 19. August 1999“, erinnert sich Bruce Allen noch ganz genau. Am California Institute of Technology (Caltech) traf er sich mit seinem Kollegen Stuart Anderson zum Essen. Allen hatte in der LOS ANGELES TIMES einen Artikel über das Projekt SETI@Home gelesen. Die Suche nach Signalen einer außerirdischen Intelligenz in den Daten großer Radiote-

leskope stellt die Forscher vor dieselben Probleme wie Allen und Kollegen: Wie kann man in dem riesigen Datenwust periodische Signale finden?

EIN NETZWERK MIT GIGANTISCHER RECHENKAPAZITÄT

SETI@Home basiert auf einer dezentralen Analyse der Daten, die paketweise auf Tausende von Privatrechnern verteilt werden. Und das geht so: Man meldet sich mit seinem heimischen PC an und erhält daraufhin eine Software, die immer dann die Daten durchforstet, wenn der Bildschirmschoner anspringt. Das Ergebnis wird automatisch zurückgeschickt. Auf diese Weise lässt sich die Suche nach Signalen auf ein Netzwerk mit einer enormen Rechenkapazität verteilen. SETI@Home stieß von Beginn an auf sehr großen Zuspruch. Allerdings: Die Fahndung nach Aliens blieb bisher vergeblich. >

Sinnvoller Bildschirmschoner: Das Programm Einstein@Home sucht in den Daten von Gravitationswellen-Detektoren, Gamma-satelliten und Radioteleskopen automatisch nach schnell rotierenden Neutronensternen.



Links Schüssel im Grünen: Das Radioteleskop Arecibo in Puerto Rico besitzt einen Durchmesser von 305 Metern und lauscht nach Signalen von Pulsaren. Einstein@Home kann sie aufspüren und verwandelt damit den heimischen PC, das Smartphone oder das Tablet in ein wertvolles Werkzeug für die Wissenschaft.

Rechte Seite Idee in der Kantine: Bruce Allen, Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover, diskutierte im Jahr 1999 beim Essen mit einem Kollegen über die Möglichkeit, Daten von Gravitationswellendetektoren durchforsten zu lassen. Daraus entstand schließlich Einstein@Home, an dem bisher mehrere Hunderttausend Menschen weltweit teilgenommen haben. Der Atlas-Cluster, neben dem Allen hier steht, spielt in dem Netzwerk eine zentrale Rolle.

„Ich diskutierte mit Stuart über die Möglichkeit, die Gravitationswellendaten der beiden LIGO-Instrumente auf dieselbe Weise durchsuchen zu lassen“, sagt Bruce Allen. „Aber dann dachten wir: Alle interessieren sich für Aliens, aber wen kümmern schon Gravitationswellen?“ Damit war die Idee gestorben; vorerst jedenfalls. Vier Jahre später kam der Stein dann doch ins Rollen. Allen erhielt den Anruf eines SETI@Home-Pioniers, der nach Aktionen für das anstehende internationale Einstein-Jahr 2005 suchte.

Sofort fiel Allen wieder das Gespräch in der Caltech-Kantine ein – und er sah plötzlich eine Chance für die damals diskutierte Idee. Umgehend stellte der Forscher bei der National Science Foundation einen Antrag auf finanzielle Förderung von zwei Millionen Dollar über drei Jahre, in den er die Universität Berkeley sowie das Max-Planck-Institut miteinbezog. Doch die vergleichsweise kleine Summe wurde nicht bewilligt. Mittlerweile war es Juni 2004, das Einstein-Jahr nicht mehr weit.

Kurzerhand beschloss Bruce Allen, zusammen mit seinen Mitarbeitern auf

eigene Faust die entsprechende Software zu entwickeln. Den letzten Schliff erhielt das Projekt durch David Anderson von der Universität Berkeley, der auch schon die Software für SETI@Home geschrieben hatte. „Wir übertrugen sie auf unser Projekt, was einen großen Fortschritt brachte“, sagt Allen. So gelang es den Wissenschaftlern, bis Februar 2005 eine erste Version fertigzustellen, die sie auf einer Pressekonferenz auf der Jahrestagung der American Association for the Advancement of Science vorführten.

Begeistert griffen damals die Medien das Projekt auf. Es bekam den Namen Einstein@Home und war maßgeschneidert für das Einstein-Jahr. Die Neuigkeit verbreitete sich schnell: Innerhalb weniger Tage hatten sich laut Allen um die 20000 Teilnehmer angemeldet. Dies wiederum rief auch die National Science Foundation auf den Plan, die nun ohne große Umschweife finanzielle Unterstützung zusagte.

Das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, an das Allen im Jahr 2007 als Direktor berufen wurde, war von Beginn an bei Einstein@Home dabei. Bis heute haben mehrere Hunderttausend

Menschen weltweit an dem Projekt teilgenommen, wobei immer wieder welche abspringen, sodass zu einem bestimmten Zeitpunkt stets um die 40000 Hobbyforscher – teils mit mehreren Geräten gleichzeitig – aktiv sind.

SIGNALE WERDEN IN KLEINE PAKETE ZERHACKT

Es gibt rund 100 andere Projekte, in denen Daten im verteilten Rechnen gesichtet werden. Die Spanne reicht von der Medikamentenentwicklung gegen Malaria und Molekularsimulationen von Proteinen bis hin zur Suche nach der größten bekannten Primzahl. Unter ihnen ist Einstein@Home eines der größten. Es erreicht heute eine gesamte Rechenleistung von 1,7 Petaflops pro Sekunde, also von 1,7 Billionen Rechenschritten. Damit gehört dieses Rechnernetz zu den 60 leistungsfähigsten Supercomputern weltweit.

„In dem Netzwerk nimmt unser Atlas-Cluster eine zentrale Rolle ein“, erklärt Bruce Allen. Er bereitet die von den LIGO-Detektoren kommenden Signale auf und zerhackt sie in kleine Pakete.



Die sind so gewählt, dass jeder teilnehmende Rechner pro Stunde nicht mehr als ein Megabyte an Daten bekommt. Für diese Verwaltungstätigkeit benötigt Atlas nur ein Prozent seiner Leistung. Die von den PCs und Laptops durchforsteten Daten werden an Atlas zurückgeschickt und für die Wissenschaftler, etwa in Form von Diagrammen, aufbereitet. Wurde eine verdächtige Stelle im Datenstrom gemeldet, nimmt sie Atlas detailliert unter die Lupe.

Trotz jahrelanger Anstrengungen ist die Suche nach Gravitationswellen erfolglos geblieben. Das ist zwar etwas frustrierend, aber findige Forscher können selbst aus diesem Nullsignal astrophysikalische Schlüsse ziehen. Und zwar hinsichtlich von Neutronensternen – rund 20 Kilometer große Überreste von explodierten Sonnen.

Diese Neutronensterne besitzen extreme Eigenschaften: So ist in ihnen die Materie so stark komprimiert, dass ein Teelöffel davon auf der Erde so viel wöge wie eine Million Fernverkehrszüge. Zudem rotieren sie sehr schnell um die eigene Achse. Das ist eine gute Voraussetzung zum Abstrahlen von Gra-

vitationswellen, wobei die Frequenz einer solchen Welle der Rotationsfrequenz des Körpers entspricht. Aber Neutronensterne senden diese Raumzeitwellen nur dann aus, wenn sie nicht perfekt symmetrisch sind.

Allerdings zählen Neutronensterne wohl zu den rundesten Körpern im Universum und sind damit schlechte Sender. Aus der Tatsache, dass bisher kein periodisches Signal von ihnen gefunden wurde, lässt sich etwas über ihre Symmetrie aussagen. Die auf der Erde empfangene Intensität einer Gravitationswelle sinkt mit der wachsenden Entfernung des Neutronensterns, außerdem sind die LIGO-Detektoren in dem Frequenzbereich von einigen Dutzend bis einigen Hundert Hertz am empfindlichsten. Deshalb lassen sich lediglich statistische Aussagen über die Form von Neutronensternen treffen.

Demnach gibt es im Umkreis von etwa 1000 Lichtjahren keinen Neutronenstern mit einer Umdrehungsfrequenz von 100 Hertz oder mehr, dessen Oberfläche um mehr als zehn Zentimeter von der Kugelform abweicht. Ein äußerst bemerkenswertes Ergebnis.

„Im Bereich der elektromagnetischen Wellen haben wir bis heute einige Tausend Neutronensterne nachgewiesen – von insgesamt vielleicht 100 Millionen, die in unserer Milchstraße existieren“, sagt Maria Alessandra Papa vom Max-Planck-Institut in Hannover. „Gravitationswellen-Astronomie bietet künftig eine ganz neue Möglichkeit, mehr Informationen über diese unsichtbare Population zu bekommen.“

RADIOBÜNDEL ÜBERSTREICHEN DIE ERDE WIE SCHEINWERFER

Diese Erkenntnisse sind für Astrophysiker wichtig. Dennoch lässt die Begeisterung selbst des größten Einstein@Home-Enthusiasten nach, wenn über Jahre hinweg kein Signal ins Netz geht. Das bereitete Bruce Allen Sorgen, weswegen er nach einem weiteren Anwendungsgebiet suchte. Das fand er, nachdem er Ende 2007 den Vortrag eines Radioastronomen über die Suche nach Pulsaren gehört hatte.

Hinter diesen Objekten verbergen sich Neutronensterne, die zwei gebündelte Radiostrahlen entlang der Magnet-

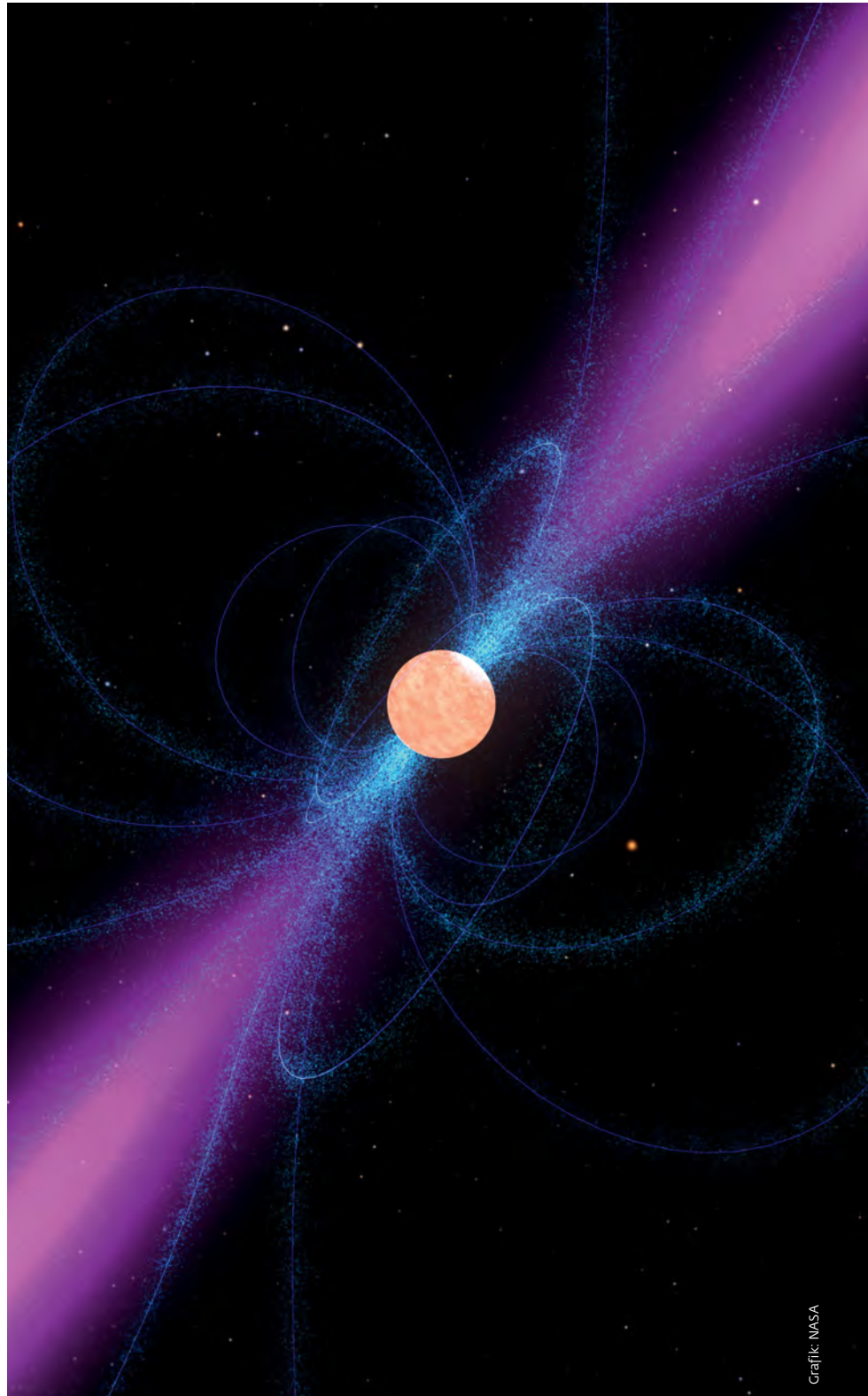
feldachse in entgegengesetzte Richtungen ins All aussenden. Sind Rotationsachse und Magnetfeldachse gegeneinander geneigt, dann streichen die beiden Radiobündel wie die Scheinwerfer eines Leuchtturms durchs All. Überqueren sie dabei zufällig die Erde, so empfangen die Teleskope ein periodisches Signal mit der Rotationsfrequenz des Pulsars.

Bruce Allen wurde sofort klar, dass sich Einstein@Home auf dieses Gebiet übertragen lassen sollte. Insbesondere für Doppelsysteme, in denen sich ein Neutronenstern und ein Begleiter umrunden, müsste Einstein@Home wesentlich zur Entdeckung solcher Systeme beitragen. „Die Radioastronomen können mit ihren Analysemethoden nur Paare finden, deren Umlaufperiode mehr als etwa eine Stunde dauert“, sagt Allen. „Wir müssten aber auch engere Paare bis herab zu einer Umlaufperiode von zehn Minuten aufspüren können.“

Die Analyse der Messdaten von Radioteleskopen hat zwar mit derjenigen von Gravitationswellendetektoren Ähnlichkeit, dennoch erforderte diese Erweiterung erheblichen Aufwand. Allens damaliger Doktorand Benjamin Knispel fand die Aufgabe spannend und setzte sich daran. Es wurde seine Doktorarbeit. „Die Software musste erheblich umgeschrieben werden“, erinnert sich Knispel. „Die Daten von Radioteleskopen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von denen der LIGO-Detektoren.“

Die größte Herausforderung besteht darin, dass die Physiker nicht wissen, ob sich in dem jeweiligen Datensatz ein Pulsarsignal verbirgt. Und wenn ja, bei welcher Frequenz. Befindet sich ein Pulsar in einem Doppelsystem, tritt eine weitere Erschwernis auf: Bewegt er sich auf seiner Bahn auf uns zu, kommen die Pulse in kürzerer Folge an; läuft er von uns fort, wird die Pulsfolge langsamer. Die Pulsfrequenz ändert sich also periodisch mit der Umlaufdauer des Pulsars.

„Diese Blindsuche nach Signalen, deren Parameter überhaupt nicht bekannt sind, ist sehr aufwendig“, erklärt Knispel: „Wir wollen unsere begrenzte Rechenkapazität optimal nutzen, so als wollte man in einem Casino aus einem



Grafik: NASA

Linke Seite Kosmischer Leuchtturm: Das starke Magnetfeld eines Neutronensterns bündelt Strahlung an den Polen zu zwei Kegeln, die im günstigsten Fall die Erde überstreichen und sich als Pulsar zeigen – als Objekt, das rhythmisch blinkt.

Rechts Die Daten im Blick: Maria Alessandra Papa vom Hannoveraner Max-Planck-Institut koordiniert die Suche nach einem kontinuierlichen Signal von Gravitationswellen, wie es Neutronensterne erzeugen sollten. Die Forscherin hofft, im Erfolgsfall künftig mehr über eine große, bisher unsichtbare Population dieser Objekte zu erfahren.



bestimmten Einsatz den größten Gewinn rausholen.“ Einstein@Home eignet sich hervorragend für diese Blindsuche, weil es besonders effizient kleine Datenpakete mit großer Rechenpower analysiert. Wegen der vielen dezentralen Privatcomputer bekommt man sie fast zum Nulltarif.

ERFOLGREICHE SUCHE NACH UNBEKANNTEM PIEPSE

Seit März 2009 sucht Einstein@Home auch nach Radiopulsaren. Die Daten stammen aus dem Projekt PALFA (Pulsar Surveys with the Arecibo L-Feed Array), das an der 305-Meter-Antenne des Observatoriums von Arecibo läuft. Es dauerte nur etwa ein Jahr bis zur ersten Entdeckung. Die PCs von zwei Teilnehmern hatten in demselben Datensatz ein auffälliges Signal entdeckt. Eine Nachanalyse mit Atlas bestätigte den Fund. Jetzt wurden die Profis aktiv. Im Juli 2010 suchten Astronomen mit dem Radioteleskop in Green Bank (USA) nach dem bisher unbekanntem Piepser. Und sie

waren erfolgreich: Es handelte sich um einen Pulsar, der 41-mal pro Sekunde um seine Achse wirbelt.

Die Astronomen richteten weitere Radioteleskope auf den neu entdeckten Himmelskörper, auch die Effelsberger 100-Meter-Antenne des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie. Diese Nachbeobachtungen förderten zutage, dass der Pulsar ein etwa 17 000 Lichtjahre entfernter Einzelgänger ist, mit einem Magnetfeld, das rund 20 Milliarden Mal stärker ist als jenes der Erde.

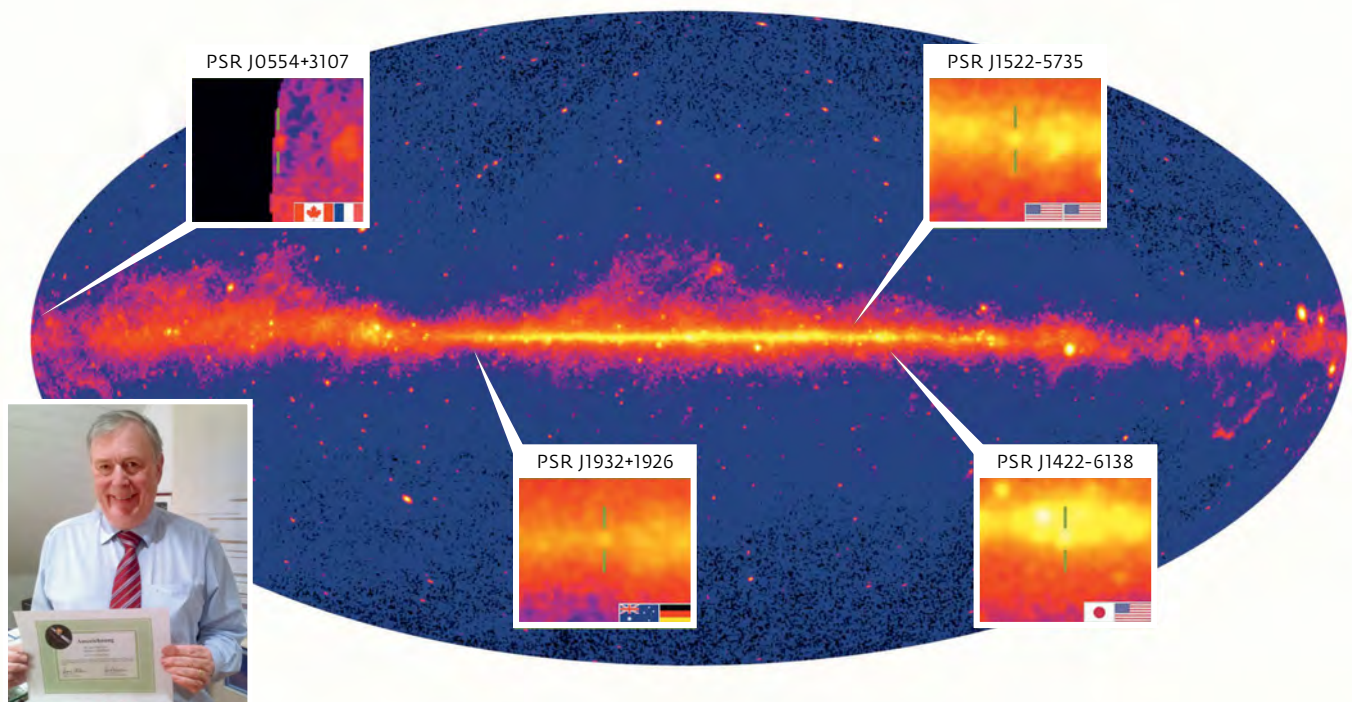
Bis heute hat Einstein@Home insgesamt 55 Radiopulsare entdeckt, darunter einige Raritäten, wie ein 25 000 Lichtjahre entferntes Objekt namens PSR J1913+1102. Das ist ein Paar, bestehend aus einem Pulsar und einem Neutronenstern; die beiden kreisen mit einer Periode von fünf Stunden umeinander. Der Neutronenstern lässt sich jedoch nicht als Pulsar nachweisen – vermutlich, weil sein Radiostrahl nicht über die Erde streicht.

„Mit insgesamt 2,88 Sonnenmassen haben wir einen neuen Rekord für die

Gesamtmasse eines Systems aus zwei Neutronensternen“, sagt Paulo Freire vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie, das intensiv an Einstein@Home beteiligt ist. Diese seltenen Doppelneutronensterne sind einzigartige Laboratorien, um die Relativitätstheorie in starker Gravitation zu überprüfen – eine Spezialität der Gruppe von Michael Kramer, Direktor am Institut.

Die meisten der bisher 2500 bekannten Radiopulsare am Himmel stehen isoliert und rotieren als Einzelsterne. Nur 255 von ihnen befinden sich in Doppelsystemen und davon nur eine Handvoll im Umlauf mit einem weiteren Neutronenstern. Hier hat Einstein@Home also einen Volltreffer gelandet.

Damit endet die Erfolgsgeschichte aber noch lange nicht. Seit August 2011 durchwühlen die Rechner von Einstein@Home auch Daten des Weltraumteleskops Fermi. Dieses empfängt kosmische Gammastrahlung, die wesentlich energiereicher ist als Radiostrahlung oder sichtbares Licht. Pulsare in diesem Licht nachzuweisen, gilt



Entdeckerfreuden: Der Hobbyastronom Hans Peter Tobler aus Rellingen gehört zu jenen Glücklichen, deren Rechner die Signale der ersten vier Gammapulsare aufspürten. Im Hintergrund ein Bild der Milchstraße mit den Positionen der Pulsare. Die Flaggen in den Vergrößerungen verweisen auf die Nationalitäten der an dem Fund beteiligten Einstein@Home-Nutzer.

als enorme Herausforderung, weil die empfangene Gammastrahlung extrem schwach ist: Im Schnitt weist Fermi von einem typischen Pulsar nämlich nur etwa zehn Gammaphotonen pro Tag nach! Es müssen deshalb die Daten von Jahren gesammelt werden, um ein pulsierendes Signal aufzuspüren – und das ohne Vorkenntnisse von Pulsfrequenz und Phase, also der Positionen der Pulse im Datenstrom.

Gerade bei diesem diffizilen Analyseproblem zeigt Einstein@Home seine Stärke. Nochmals musste die Software umgeschrieben und effizienter werden. Der Aufwand wurde umgehend belohnt: Binnen eines Jahres spürten die Teilnehmer mehr als ein Dutzend Pulsare in den Fermi-Daten auf, seitdem sind weitere Entdeckungen ausschließlich mit Einstein@Home gelungen.

Jüngst veröffentlichten Astrophysiker einen Katalog mit 13 neu entdeckten Gammapulsaren. Mit einem einzelnen Heim-PC hätte die Suche mehr als 1000 Jahre gedauert. Einstein@Home schaffte es binnen eines Jahres,

obwohl nur ein Teil der Rechenleistung des Projekts dafür eingesetzt wurde. Insgesamt geht ein Drittel aller gefundenen Objekte auf das Konto der dezentralen Rechner.

HOBBYASTRONOMEN SPÜREN VIER GAMMAPULSARE AUF

Für die Forschung sind die neuen Daten von großer Bedeutung, denn auf welche Weise ein Pulsar seine Strahlung erzeugt, ist keineswegs geklärt. Gamma- und Radiostrahlung entstehen wahrscheinlich in unterschiedlichen Bereichen über der Oberfläche, weswegen erst Informationen über die verschiedenen Strahlungsarten ein Gesamtbild dieser faszinierenden Himmelskörper zeichnen können.

Die erfolgreichen Hobbyforscher von Einstein@Home werden per E-Mail informiert, erhalten eine Urkunde und werden in der wissenschaftlichen Veröffentlichung explizit gewürdigt. Einer von ihnen ist Hans Peter Tobler aus Rellingen, ein Urgestein gewissermaßen.

Er war schon bei SETI@Home dabei und meldete sich gleich in der Anfangsphase bei Einstein@Home an. Vor knapp vier Jahren erhielt er die Nachricht, dass er zu den Entdeckern der ersten vier Gammapulsare gehörte.

„Ich habe mich natürlich riesig gefreut und konnte es erst gar nicht glauben, als Bruce Allen mich damals kontaktierte“, erinnert er sich. „Die Urkunde, die etwas später kam, steht gerahmt auf meinem Schreibtisch“, so der ehemalige Wirtschaftswissenschaftler, dessen Herz schon seit den Kindertagen für die Astronomie schlägt.

Einstein@Home blickt auf eine beeindruckende Entdeckungsgeschichte zurück, auch wenn die eigentliche Intention – der Nachweis von Gravitationswellen – noch nicht gelungen ist. Und Allen schaut nicht ganz so optimistisch in die Zukunft. „In den vergangenen Jahren sind immer mehr Menschen von Laptop und PC auf Tablets und Smartphones umgestiegen, und diese Geräte werden auf eine möglichst lange Akkulaufzeit hin getrimmt.“

Sprich: Leerlaufzeiten mit Bildschirm-schoner gehören der Vergangenheit an. Doch die Max-Planck-Forscher haben sich etwas einfallen lassen.

Seit Juli 2013 bieten sie die Software für Android-Smartphones und Tablets an. Um die Batterielebensdauer zu erhalten, Ladezeiten zu minimieren und den Verbrauch von Download-Kontingenten zu vermeiden, rechnet die Software nur, wenn das Gerät mit einem WLAN-Netz verbunden ist, geladen wird und die Batterieladung bei mehr als 90 Prozent liegt. Derzeit sind rund 4000 aktive Teilnehmer angemeldet – das macht Mut. „Ich hoffe, dass wir in den Daten der technisch verbesserten LIGO-Detektoren auch endlich das erste Gravitationswellensignal aufspüren werden“, sagt Allen. Damit wären Laien erstmals an einer nobelpreiswürdigen Entdeckung beteiligt. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Seit 2005 arbeitet das Projekt für verteiltes Rechnen namens Einstein@Home. Mit ihm suchen mehrere Zehntausend Nutzer weltweit in den Daten der LIGO-Detektoren nach Signalen von Gravitationswellen.
- Eine Erweiterung der Software ermöglicht es seit 2009, in Radioteleskopdaten und seit 2011 auch in denen eines Gammastrahlen-Satelliten nach Pulsaren zu fahnden. Auf diese Weise wurden 55 Radio- und 19 Gammapulsare entdeckt.
- Seit 2013 ist die Suche auch mit Android-Smartphones und Tablets möglich.

GLOSSAR

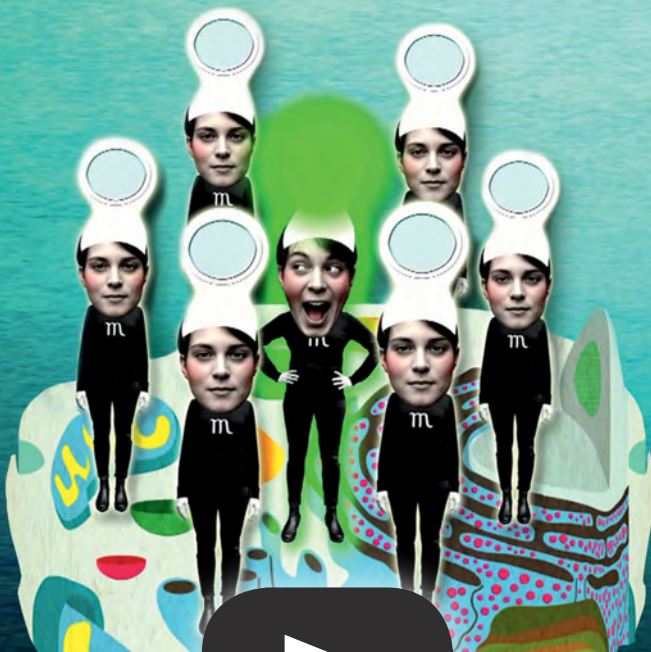
Gravitationswellen: Krümmungen der Raumzeit, erzeugt von beschleunigt bewegten Himmelskörpern. Die Wellen eilen mit Lichtgeschwindigkeit durchs All und wurden am 14. September 2015 nachgewiesen.

LIGO: Das Observatorium besteht aus zwei Detektoren mit jeweils vier Kilometer langen Laserarmen, die in Hanford (US-Bundesstaat Washington) und Livingston (Louisiana) stehen. Nach einer Aufrüstung wurde die Empfindlichkeit deutlich gesteigert, und die Anlage arbeitet seit 2015 unter der Bezeichnung Advanced LIGO.

Verteiltes Rechnen: Unter verteiltem Rechnen versteht man einen Zusammenschluss unabhängiger Computer, die sich als ein einziges System präsentieren und große Datenmengen analysieren. Bei Einstein@Home koordiniert der Supercomputer Atlas die unabhängigen Rechner.



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Forschung voll abgedreht

Als DVD oder auch auf www.max-wissen.de/videos



Analoge Informationsflut: Volkszählungen führten im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts zu Bergen an Papier, die meist händisch sortiert werden mussten.

Daten zum Stapeln

Für Wissenschaftshistoriker ist Big Data kein neues Phänomen. Auch im 18. und 19. Jahrhundert sammelten Wissenschaft und staatliche Stellen enorme Datenmengen. Und schon damals war es eine Herausforderung, sie sinnvoll auszuwerten. Die Gruppe um **Elena Aronova**, **Christine von Oertzen** und **David Sepkoski** vom **Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte** in Berlin untersucht, mit welchen – teils überraschenden – Methoden in der Vergangenheit gearbeitet wurde und wie der geänderte Umgang mit Daten auch Wissenschaft und Gesellschaft veränderte.

TEXT **TINA HEIDBORN**

Preußen, Mitte des 19. Jahrhunderts: In der Berliner Zensusbehörde liest ein Angestellter die Erhebungslisten der aktuellen Volkszählung laut vor. An einem großen Tisch hören die Auszähler aufmerksam zu, jeder ist für eine eigene Rubrik zuständig. Die Striche, die jeder dabei in seinem Abschnitt macht, werden am Ende zusammengezählt, so entsteht eine neue riesige Liste, die als Statistik veröffentlicht wird. Dieses sogenannte Ausstricheln ist ein langwieriges, teures und fehleranfälliges Verfahren.

Rund zwanzig Jahre später: In einer privaten Wohnung im Prenzlauer Berg sortiert und erfasst die Ehefrau eines Statistikangestellten die Zählkarten der

aktuellen Volkszählung. Die Karten hat das preußische Statistikbüro in großen Holzkisten mit 5000 oder 10000 Stück angeliefert, jetzt werden sie in der bürgerlichen guten Stube nach einem genau festgelegten Plan sorgfältig in Häufchen sortiert. Die Frau des Hauses hat sich eine Dienstbotin genommen, um diese Heimarbeit übernehmen zu können. Gemeinsam mit ihr verdienen sich ihre beiden Schwestern und ein Schwager, ein arbeitsloser Kaufmann, sowie zwei Witwen und zwei unverheiratete Fräulein aus der Nachbarschaft bei der Auswertung der Volkszählung zusätzliches Geld. Sie arbeiten mehr als zehn Stunden pro Tag, sieben Tage die Woche. Für die Wissenschaftshistorikerin Christine von Oertzen liegt zwischen



» Die Daten wurden aus den starren Listen gelöst, sie lernten sozusagen laufen. Das war der Beginn der modernen Datenverarbeitung.

den beiden Szenen ein entscheidender Sprung in der Geschichte des Umgangs mit Massendaten.

„Unter dem Begriff Daten kann man sehr Unterschiedliches fassen, damals wie heute. Auffallend ist, dass die preußische Verwaltung in den 1860er-Jahren ihr Volkszählungsverfahren umstellte. Und dabei benutzte sie erstmals einen speziellen Datenbegriff, er taucht

hier in den Quellen auf“, erklärt von Oertzen. „Die Verwaltung entwickelte eine Definition, was sie unter Daten versteht.“ Es war Ernst Engel, ab 1860 Direktor des Königlich Preußischen Statistischen Bureaus, der in dieser Zeit eine wichtige konzeptionelle Unterscheidung aufmachte: Er differenzierte zwischen dem „Urmaterial“, das bei den Volkszählungen in sogenannten Erfas-

sungslisten gesammelt wurde, und der Weiterverarbeitung in „Tabellen“. Eine Tabelle, so schrieb der Direktor, „enthält schon ein concentrirtes Resultat, eine Zusammenfassung und Gruppierungen der Angaben aus den Listen“. Engel war einer der führenden Köpfe der entstehenden wissenschaftlichen Statistik in Europa und führte 1867 in Preußen nach italienischem Beispiel das „Zählblättchen“ ein. Dieses erleichterte die Weiterverarbeitung des Urmaterials in Tabellen wesentlich: Von den Erhebungslisten wurden die gesammelten Informationen jetzt auf diese handlichen kleinen Karten übertragen, die entfernt an Spielkarten erinnerten.

Das Zählblättchen ermöglichte im Wortsinn einen neuartigen Zugriff auf die Informationen der Erhebungslisten: Die Blättchen waren beweglich. Sie konnten leicht aus- und nachgezählt oder nach verschiedenen Kriterien neu gestapelt und erfasst werden. Damit konnten unterschiedliche Informationen von den Erhebungslisten in Bezug zueinander gesetzt werden. Gerade das war ein Problem des Ausstrichelns gewesen: Für jedes Kriterium, das man aus den Erhebungslisten auswerten wollte, musste man eine neue Riesenliste erstellen. Mit dem Zählblättchen wurde es möglich, Daten zu korrelieren. Das sei, schrieb Engel 1868, „ja eben der Vorzug der Methode der Zählblättchen, dass sie unzählige Combinationen der einzelnen Daten des Inhalts der Blättchen gestattet“.

Und Ernst Engel optimierte weiter. Wenig später ersetzte er das Zählblättchen durch persönliche Zählkarten, die

A. Volkszählung am 1. December 1871. 202

Serzogthum Rauenburg.

Ort, Gemeinde _____
 Straße oder Platz _____ Haus Nr. _____
 Zählbezirk Nr. _____ Zählbrief Nr. _____ Zählkarte Nr. _____

Man wolle vor Beantwortung der angelegten Fragen die Anleitung D. verlesen.

1. Vor- und Familiennamen: _____
2. Geschlecht: _____
3. Geburtsort: _____
 Kreis: _____ Staat: _____
4. Geburtstag und Geburtsjahr: _____
5. Familienstand: _____
6. Religionsbekenntniß: _____
7. Stand, Rang, Beruf, Erwerbszweig; Arbeits- oder Dienstverhältniß.
 Hauptbeschäftigung: _____
 Etwaige, mit Erwerb verbundene Nebenbeschäftigung: _____
8. Staatsangehörigkeit (Name des Staats): _____
9. Wohnort (der Personen, die für gewöhnlich nicht an der Haushaltung theilnehmen): _____
 Kreis: _____ Staat: _____
10. Schulbildung, d. h. kann lesen und schreiben? _____
11. Besondere, die Bildungs- oder Erwerbsfähigkeit beeinträchtigende Mängel:
 blind? _____ taubstumm? _____ blödsinnig? _____ irrsinnig? _____

Unscheinbare Revolution: Die preußische Zählkarte veränderte die Datenverarbeitung im 19. Jahrhundert grundlegend. Ihre Premiere hatte sie 1871 bei der ersten Volkszählung im Deutschen Reich.



Drangvolle Enge: Das Bevölkerungswachstum im 19. Jahrhundert führte vor allem in großen Städten zu elenden Verhältnissen. Die verbesserte Datenauswertung bei Volkszählungen brachte ans Licht, wo die Probleme besonders groß waren.

jeder Befragte selbst auszufüllen hatte: Sie hatten etwa DIN-A5-Format und waren damit knapp viermal größer als das Zählblättchen, aber ähnlich handlich. Auf ihnen mussten die Einwohner Preußens zahlreiche Angaben zu sich selbst (Alter, Geburtsort, Familienstand, Lesefähigkeit) machen. Damit sparte Engel die Erhebungslisten und den Zwischenschritt der manuellen Datenübertragung auf das Zählblättchen ein.

ZUM ERSTEN MAL WURDEN MISSTÄNDE SICHTBAR

„Die preußischen Statistiker waren ganz begeistert von der neuen Möglichkeit, unterschiedliche Kriterien zu kombinieren“, sagt die Historikerin Christine von Oertzen. Sie gingen dazu über, die Kärtchen in drei Auszahlungsdurchgängen auszuwerten, jeweils nach mehreren Kriterien. Jetzt konnte man etwa gezielt verwitwete katholische Frauen auf

dem Land erfassen oder alleinstehende evangelische Arbeiter in Kleinstädten. Genau das war das Ziel des ambitionierten Statistikers Engel gewesen: Er wollte ein Verfahren, das nicht nur das Auszählen verbesserte, sondern das Material für eine weiterführende Lesbarkeit aufbereitete. „Heutzutage ist es schwierig, sich bewusst zu machen, was für ein Entwicklungsschritt das war“, sagt von Oertzen. Ein Durchbruch, der eine bis dahin unerreichbare Differenzierung der Datenauswertung ermöglichte. „Die preußische Volkszählung sollte eine Momentaufnahme sein und als Gegenwartsbeschreibung dienen.“ Jetzt wurden zum ersten Mal Missstände wie die hohe Kindersterblichkeit in der gesammelten Materialmasse sichtbar. Oder man schlüsselte die Angaben danach auf, wo besonders viele Menschen, die nicht miteinander verwandt waren, unter einem Dach lebten – auch dies ein Armutsindikator.

Als Wissenschaftshistorikerin interessiert sich Christine von Oertzen besonders für die Entwicklung von Technologien und für deren konkrete Anwendungen. In der Umstellung von Listen auf bewegliche Papierdatenträger wie Zählblättchen und Zählkarte in Preußen nach 1860 sieht sie eine bisher wenig beachtete Revolution im Umgang mit Daten: „Die Daten wurden aus den starren Listen gelöst, sie lernten sozusagen laufen. Das ist der Beginn der modernen Datenverarbeitung, nicht die Einführung von Hollerith-Maschinen und die Mechanisierung.“ Die vermeintlich bahnbrechende Bedeutung des Hollerith-Verfahrens hält sie für überschätzt.

Im Jahr 1889 hatte der Ingenieur Herman Hollerith seine Erfindung auf der Pariser Weltausstellung vorgestellt: ein maschinelles Auszählverfahren mit Lochkarten, Sortier- und Tabulationsmaschinen. 1890 wurde es erstmals bei

SCIENTIFIC AMERICAN

[Published at the Post Office of New York, N. Y., as Second Class Matter. Copyrighted, 1890, by Munroe & Co.]

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

Vol. LXIII, No. 35.
ESTABLISHED 1845.

NEW YORK, AUGUST 30, 1890.

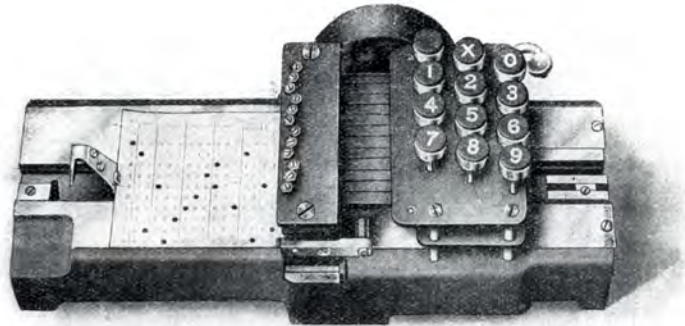
\$3.00 A YEAR.
WEEKLY.



THE NEW CENSUS OF THE UNITED STATES—THE ELECTRICAL ENUMERATING MECHANISM.—[See page 132.]

Links Bei der US-amerikanischen Volkszählung 1890 kamen erstmals die sogenannten Hollerith-Maschinen, Tabelliermaschinen auf der Basis von Lochkarten, zum Einsatz. Das bedurfte damals noch mühsamer Vorarbeiten, denn die handgeschriebenen Informationen mussten manuell in Lochkarten gestanzt werden.

Rechts Erst in der Folgezeit wurden die Kartenlocher so weiterentwickelt, dass sie mit Tasten schnell bedient werden konnten – wie dieses Modell aus den 1920er-Jahren.



einer amerikanischen Volkszählung eingesetzt. Hollerith war auf die Idee gekommen, als er sah, dass Eisenbahnschaffner in Amerika beim Lochen der Fahrkarten Informationen mittransportierten: Je nachdem, wer die Fahrkarte vorzeigte, lochten sie diese an unterschiedlichen Stellen (etwa für Einstiegsort, Fahrtziel, Reiseklasse und Preis). Der Verfahrensvorteil der Hollerith-Karten bestand zu Anfang nur darin, dass sie maschinell – und damit schnell – auszulesen waren. Aber die Informationen mussten bei der Volkszählung 1890 noch manuell in die 63 Millionen Lochkarten eingestanzt werden.

DATENAUSWERTUNG WAR WIE DAS EINBRINGEN DER ERNTE

Auch einige europäische Staaten wie Österreich-Ungarn und das Russische Reich führten Holleriths System umgehend ein. Es gilt gemeinhin als entscheidender Entwicklungsschritt moderner Datenverarbeitung.

Doch im Preußen der Jahrhundertwende hielt man das eigene, manuelle Verfahren für mindestens gleichwertig. In der Tat stand eine preußische Zählkarte der ursprünglichen Hollerith-Karte als Technologie nicht wesentlich nach, lautet die Analyse Christine von Oertzens. Immerhin hatten die preußi-

schen Statistiker mit dem Prinzip der Kartenauszahlung schon 20 Jahre zuvor eine wesentliche Grundlage des Informationszeitalters geschaffen.

Die Einführung von Zählblättchen und Zählkarte eröffnete der preußischen Verwaltung außerdem die Möglichkeit, die Datenauswertung im Wortsinne auszulagern: Sie wurde zu einer typisch weiblichen Heimarbeit. Der Staat übertrug sie den Ehefrauen seiner Zensusbediensteten, die er dafür in Haftung nahm. Bei Schlampigkeit musste nachgearbeitet werden, Lohnkürzungen drohten. Bei ihrer Archivrecherche ist die Max-Planck-Forscherin auf das Beispiel des oben erwähnten, ungewöhnlich großen Zählteams im Prenzlauer Berg gestoßen. „Die Daten mussten schnell ausgewertet werden, es war wie Saisonarbeit, wie das Einbringen der Ernte“, erklärt sie. „Daten kommen uns ja oft unphysisch vor.“ Doch als sich von Oertzen in die preußische Datenverarbeitungsgeschichte um 1900 vergrub, bekamen die Daten „Hände und Füße“, wie sie es nennt, und wurden fassbar: als Millionen von Kärtchen, die in Berlin zwischen dem Zensusbüro und ausgewählten Privatwohnungen hin- und hergeschickt wurden.

Sozialpolitisch führten die preußischen Statistiker um 1900 übrigens gern an, dass die neuartigen Hollerith-

Maschinen Menschen die Arbeit wegzunehmen drohten. Emil Blenck, der Amtsnachfolger von Ernst Engel, betonte stets eine Fürsorgepflicht gegenüber Kriegsveteranen, die traditionell mit Hilfsarbeiten für das Zensusbüro versorgt worden waren – und ließ dabei unter den Tisch fallen, dass mittlerweile nicht mehr verarmte Veteranen, sondern mittelständische Ehefrauen die Hauptarbeit erledigten.

ES GALT, DIE MEHRDEUTIGE WIRKLICHKEIT ZU ORDNEN

Beim Sortieren, Stapeln und Auszählen in ihren guten Stuben standen die Frauen vor einem Grunddilemma jeglicher Datenverarbeitung: die vielgestaltige, oft mehrdeutige Wirklichkeit in vermeintlich trennscharfe Statistik-kategorien zu pressen. So sollte zum Beispiel bei der preußischen Volkszählung am 1. Dezember 1890 angegeben werden: „Verwandtschaft oder sonstige Stellung zum Haushaltungs-Vorstand“. Die Antworten kamen nicht nur in Millionen unterschiedlichen, teils schwer lesbaren Handschriften an, sondern auch in einer riesigen Bandbreite. Schließlich musste hier jeder Befragte in eigener Einschätzung und Formulierung etwas eintragen. Die Frauen sollten die eingehenden



Frauen erledigten oft die Datenerfassung, wie hier im US-amerikanischen Zensusbüro 1908. Klavierspielerinnen wurden bevorzugt, weil sie die Stanztastatur schnell und fehlerfrei bedienen konnten.

Antworten für die preußische Statistik in sieben Rubriken klassifizieren. So wollte das Zensusbüro etwa Pflinglinge und Pensionäre in einer Kategorie ausgezählt haben ebenso wie „einquartierte Soldaten“ oder die damals nicht seltenen „Schlafgänger“ – Nachtarbeiter, die sich tagsüber ein dann ungenutztes privates Bett mieteten. „Die Frauen mussten zum Zählen sortieren, und das war alles andere als stumpfes Abarbeiten“, schildert Christine von Oertzen diesen elementaren Arbeitsgang. „Da steckte jede Menge Interpretation und Analyse drin. Fleiß und Zuverlässigkeit reichten nicht, die Frauen mussten auch relativ gut gebildet sein, um die Informationen richtig zuzuordnen zu können.“

BIG DATA BRAUCHT EBENFALLS MENSCHLICHE ARBEIT

Die Zensusbehörde legte ein Hilfsblatt mit Antwortbeispielen bei. Das macht deutlich, wie schwierig es war, die Angaben in Rubriken einzupassen. Bei der Stellung zum Haushalts-Vorstand sollte die Statistik „Rubrik 2: Dienstboten des Haushalts-Vorstands“ und „Rubrik 3: Gewerbs- und Arbeits-helfen des Haushalts-Vorstands“ voneinander getrennt ausweisen. Die

Beispiele in der Anleitung informierten die Auswerterinnen, dass unter Rubrik 2 etwa das Arbeitsmädchen auf dem Land, die Erzieherin, Gesellschafterin, „Gehülfin des Haushalts“, Haushälterin, Haushaltsstütze und Magd, außerdem Knecht und Kutscher erfasst werden sollten. Während unter Rubrik 3 etwa aufzuführen waren: „Arbeiter, Hofmeister, Lehrmädchen, Mamsell“, aber auch eine so allgemeine Angabe wie „in Arbeit“. Wieso kam, wer sich als „Haushälterin“ bezeichnete, in Rubrik 2; wer angab, „Mamsell“ zu sein, in Rubrik 3?

„Es gibt ja diese Vorstellung, dass sich das mit den Daten von allein macht, weil in ihnen schon alles drinsteckt. Dass man sie nur noch zählen muss und dass das leicht ist. Das halte ich für eine Illusion“, sagt Christine von Oertzen. Ihre Untersuchung zeigt plastisch, wie viel Analyse das Auswerten von gesammelten Daten vor mehr als 100 Jahren brauchte. Und heute im viel beschworenen Zeitalter von Big Data? „Natürlich interessiert uns die Frage nach Kontinuitäten beziehungsweise Brüchen“, sagt die Historikerin. Der Digitalisierung zum Trotz – auch bei Big Data heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, sei viel menschliche Arbeit im Spiel: Um die Datenmassen

kompatibel zu machen, zu pflegen und nutzbar zu halten. „Das sind Dinge, die wir heute so gern vergessen“, meint von Oertzen.

AUCH FRÜHER GLAUBTE MAN, DIE MASSE MACHT'S

Und die Annahme, dass Daten zum neuen Rohstoff werden? Dass in der digitalisierten Welt zukünftig Daten den Weg wissenschaftlicher Innovation weisen werden? „Manchmal ist ja die Behauptung zu hören, dass wissenschaftliche Forschung sehr viel stärker datengetrieben sein wird“, sagt die Forscherin. Statt Hypothesen aufzustellen und zu überprüfen, müsse man sich nur an die auflaufenden Daten halten. Da ist sie durch ihre Beschäftigung mit historischen Massendaten-Beispielen eher skeptisch geworden.

Auch die vermeintlichen Vollständigkeitsträume, die in Zeiten von Big Data wieder verstärkt geträumt werden, kommen Christine von Oertzen bekannt vor. „Im 19. Jahrhundert gab es eine große Begeisterung und den Glauben an die vollständige Erfassbarkeit der Wirklichkeit durch Daten“, sagt sie. Auch damals versuchten Wissenschaftler in den unterschiedlichsten Disziplinen, massenhaft Einzeler-

» Es gibt die Vorstellung, dass sich das mit den Daten von allein macht, weil in ihnen schon alles drinsteckt. Das ist eine Illusion.

eignisse zu erfassen, auf der Suche nach einem Gesamtbild in Astronomie, Sprachwissenschaft, Evolutionsbiologie oder auch in der Taxonomie. Für viele Forschungsprojekte galt schon damals: Die Masse macht's.

Allerdings machte die Masse häufig auch Probleme. Bibliotheken und Gelehrte benutzten Zettelkästen, um die massiv wachsenden Informationen handhabbar zu machen. David Sepkoski, Mitorganisator der Arbeitsgruppe, geht dieser historischen Entwicklung am Beispiel von Zoologie und Paläontologie nach. Er verfolgt darin zurück, wie die im 19. Jahrhundert entstehende Paläontologie über einen langen Zeitraum Klassifikationssysteme für Fossilien entwickelte und wie Wissenschaftler – lange vor dem Aufkommen von Computern – die Informationen über ausgestorbene Lebewesen vergangener Zeiten auf Papier ordneten und speicherten. Der Paläontologe Heinrich Georg Bronn (1800 bis 1862) etwa nutzte vorhandene Kataloge und Kompendien und bereitete deren Datenmasse neu auf: Er wertete sie quantitativ aus und strukturierte sie entsprechend den eigenen wissenschaftlichen Hypothesen neu. Für seine Bücher erstellte er Schaubilder und Diagramme, welche die Entstehung, Verbreitung und die Diversifizierung sowie das Aussterben von Gattungen auf einen Blick vermittelten. Das System seiner Aufbereitung auf Papier diente später als Modell für elektronische und digitale paläontologische Datenbanken.

Auch in Disziplinen wie der beobachtenden Astronomie, deren Kernbestandteil schon immer das Sammeln von Daten gewesen war, schwollen die

Datenmengen immer weiter an, etwa durch neue technische Möglichkeiten wie das Abfotografieren des Sternhimmels oder elektronische und schließlich digitale Superteleskope. Die eigentliche wissenschaftliche Arbeit verlagerte sich dabei immer mehr auf das schwierige Zusammenbringen unterschiedlicher Datenformate und die Analyse wie auch sinnvolle Korrelation der gesammelten Informationen. Daten zu teilen und zu zirkulieren, entwickelte sich so zum Kerngeschäft der Astronomie und veränderte die Kultur der gesamten Disziplin.

HEUTE LASSEN SICH DATEN AUS DEM KONTEXT LÖSEN

Regelrecht zur politischen Tauschewährung wurden geophysische Großdaten zu Zeiten des Kalten Kriegs, wie Elena Aronova in der Berliner Arbeitsgruppe herausgefunden hat. Amerikanische und sowjetische Datenzentren sammelten und archivierten Massen an Material in analoger Form. Die Vision, dieses Material Wissenschaftlern in Ost und West tatsächlich frei zur Verfügung zu stellen, ließ sich allerdings nur zum Teil verwirklichen. Sie scheiterte aber nicht nur an politischen Zwän-

gen, sondern auch an den technischen Grenzen analoger Speichermedien.

Historisch neu im Digitalzeitalter ist in den Augen der Wissenschaftshistoriker die Möglichkeit, Daten ganz aus ihrem ursprünglichen Kontext zu lösen. Einmal gesammelte und digitalisierte Informationen sind nicht mehr – wie noch in den Datenzentren des Kalten Krieges – lokal verortet und können heute, völlig aus ihrem ursprünglichen Zusammenhang gelöst, weiter genutzt werden. So wie beim Pima Data Set: Die medizinischen Daten von Angehörigen eines amerikanischen Indianerstamms waren ursprünglich mit Einverständnis der Betroffenen erfasst worden, um Übergewicht und Diabetesneigung in dieser Gruppe zu untersuchen. Mittlerweile ist die Datensammlung im Internet frei zugänglich und wird vorwiegend als Lerndatensatz zur Optimierung von computerbasiertem maschinellem Lernen genutzt.

Die Erfassung der Welt durch Daten wirft neue Probleme auf und hat durch die Digitalisierung heutzutage auch neue Dimensionen erreicht. Doch beim Rückblick auf die Datenpraktiken der Vergangenheit wird klar, wie alt die Fundamente sind, die unsere heutige Verdatung prägen. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Auch im 18. und 19. Jahrhundert sammelten Wissenschaftler große Datenmengen in der Erwartung, damit die Wirklichkeit zu erfassen. Die wissenschaftliche Arbeit verlagerte sich zunehmend auf die Analyse der Daten.
- Das preußische Statistikkamt revolutionierte Mitte des 19. Jahrhunderts mit Zählkarten die Datenauswertung. Damit konnten Daten nach unterschiedlichen Kriterien korreliert und unbekannte Zusammenhänge aufgedeckt werden.

Schatzsuche im Datendschungel

Normalerweise formulieren Forscher eine Hypothese, ehe sie mit einem Experiment beginnen und Daten sammeln. **Pauli Miettinen** vom **Max-Planck-Institut für Informatik** in Saarbrücken stellt diesen wissenschaftlichen Grundsatz mit einem neuen Verfahren zur Datenanalyse auf den Kopf – dem Redescription Mining. Die Software kann vorhandene Datensätze analysieren und daraus nachträglich Hypothesen und unerwartete Korrelationen extrahieren, die Wissenschaftlern wiederum wichtige Anhaltspunkte für neue Fragestellungen liefern – zum Beispiel, wenn es darum geht, die politische Stimmung in der Bevölkerung einzufangen.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Über die Jahrzehnte haben Computer gelernt, Aufgaben zu erfüllen, die man ihnen vorgibt. Sie können komplexe Gleichungen lösen, das Wetter vorhersagen und inzwischen sogar mit einer menschlichen Stimme auf Fragen wie „Wo finde ich in der Nähe ein gutes und preiswertes chinesisches Restaurant?“ antworten. Pauli Miettinen vom Saarbrücker Max-Planck-Institut für Informatik aber geht noch einen Schritt weiter. Er hat Computern beigebracht, auf Fragen zu antworten, die der Mensch ihnen noch gar nicht gestellt hat – und so Zusammenhänge zu erkennen, auf die der Mensch allein gar nicht gekommen wäre.

Pauli Miettinen ist damit dem Blick in die Kristallkugel schon recht nahe. Er selbst beschreibt seine Arbeit ein wenig nüchterner: „Im Grunde machen wir nichts anderes, als eine neue Hypothese aus vorhandenen Daten zu generieren.“ Das klingt bescheiden, ist aber

nicht weniger als eine kleine Revolution des wissenschaftlichen Arbeitens. Denn seit Jahrhunderten gehen Forscher, gleich welcher Disziplin, immer nach demselben Muster vor. Erst stellen sie eine Hypothese auf wie etwa: „Der Mensch stammt vom Affen ab.“ Dann überprüfen sie diese Hypothese, indem sie beobachten und Daten sammeln.

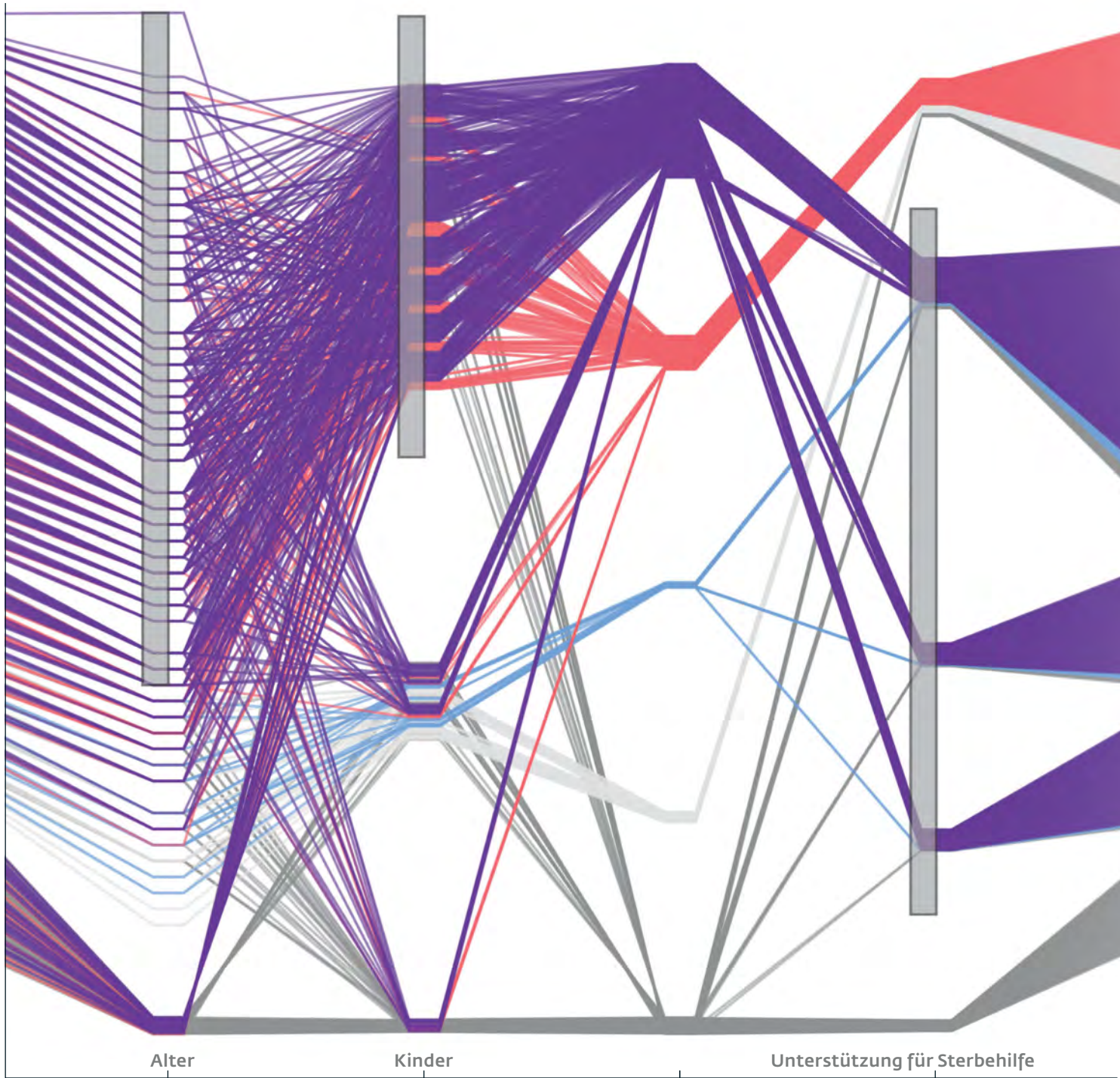
SINNVOLLE INFORMATIONEN AUS GROSSEN DATENMENGEN

Das Informatikwerkzeug, das Miettinen mit seinem Team entwickelt hat, stellt dieses Prinzip auf den Kopf. Es nutzt vorhandene Daten, analysiert diese und stellt ganz neue Bezüge her – die zum Teil verblüffend sind. Seine Methode ist so etwas wie der letzte Schrei in der Welt der Datenanalyse. Sie heißt Redescription Mining, was frei übersetzt in etwa „Alternativbeschreibung“ bedeutet. Soll heißen: Miettinen und seine Kollegen fahnden in bereits vorhandenen

Daten nach neuen Korrelationen, nach neuen Aussagen, die in den Daten stecken – nach neuen Wegen, die Daten zu beschreiben. So helfen sie, Schätze im Datendschungel aufzuspüren.

Dabei, und auch das sind Stärken des Redescription Mining, lassen sich mit der Methode beliebige Arten von Daten analysieren. Und die Datenmenge, die verarbeitet werden kann, ist schier unbegrenzt. So hilft das Verfahren, aus den großen Datenmengen, die heute allerorten gesammelt werden, sinnvolle Informationen zu gewinnen.

Was die Methode kann, hat Pauli Miettinen mit seinen Kollegen anhand von Daten aus seiner Heimat Finnland gezeigt: Informationen über finnische Politiker, die 2011 und 2015 für einen Platz im Parlament kandidiert hatten. Der Forscher hat für seine Analyse zwei Datensätze miteinander verknüpft. Der erste Datensatz enthielt die öffentlich verfügbaren Daten über den sozialen Hintergrund der Politiker, das Alter, die



Grafik: Pauli Miettinen/MPI für Informatik

Eine Linie für jeden Politiker: Diese Grafik hat die Software Siren bei der Analyse der soziodemografischen Daten und der politischen Einstellungen, hier speziell zur Sterbehilfe, von Kandidaten für die finnische Parlamentswahl ergeben. Eine Erkenntnis daraus: Kandidaten über 34 und solche, die Kinder haben, lehnen Sterbehilfe eher ab.



Herkunft, den Bildungs- oder den Familienstand. Der zweite Datensatz enthielt Antworten auf Fragen, welche die Politiker für ein Webportal beantwortet hatten.

Solche Webportale sind schon seit einigen Jahren außerordentlich beliebt, in Deutschland ist unter anderem der Wahl-O-Mat angesagt. Politiker und Wähler antworten unabhängig voneinander auf dieselben Fragen. Das Webportal nennt dem Wähler dann jene Partei, mit der er die größten Übereinstimmungen aufweist. Mietтинен speiste in die in seinem Team entwickelte Redescription-Mining-Software namens Siren die Informationen zum sozialen Hintergrund von 675 Politikern ein, außerdem deren Antworten auf 31 Fragen – etwa: „Sind Sie dafür, dass Sterbehilfe legalisiert wird?“

POLITIKERDATEN ALS TEST FÜRS REDESCRIPTION MINING

Pauli Mietтинен ging es nicht darum aufzudecken, was welcher Politiker im Einzelnen denkt. Und dass er Politikerdaten verwendet hat, war eher ein Zufall und lag daran, dass er ganz einfach nach frei verfügbaren Daten über Men-

schen gesucht hatte, mit denen er Sirentesten konnte. Die Politikerdaten sind frei verfügbar. Auf andere Personen-daten hätte er aus Gründen des Datenschutzes gar nicht zugreifen können. Letztlich wollte er beweisen, dass es möglich ist, die Meinungen und Stimmungen in einer Gesellschaft anhand der Herkunft und der Aussagen der Menschen zu ermitteln.

„Unsere Datensätze sind weder riesig noch repräsentativ, doch machen sie das Prinzip klar“, sagt Mietтинен. „Außerdem hat unsere Analyse gezeigt, dass ein Forscher ohne Softwarewerkzeug bereits bei einer solch überschaubaren Datenmenge überfordert wäre.“ Denn die Bezüge, welche die Software zwischen den beiden Datensätzen – in diesem Fall dem soziodemografischen Hintergrund und dem Antwortkatalog der Politiker – herstellt, sind zum Teil schwierig aufzuspüren. Zumindest, wenn eine Studie nicht von vornherein entsprechend ausgelegt wurde. So fand die Software unter anderem heraus, dass Personen zwischen 34 und 74 Jahren sowie Personen, die Kinder haben, Sterbehilfe eher ablehnen.

Solche Ergebnisse sind vor allem deshalb bemerkenswert, weil Siren sie

Bringt Licht ins Datendunkel: Pauli Mietтинен und seine Mitarbeiter haben eine Software namens Siren (rechte Seite) entwickelt, um in Datensätzen Zusammenhänge aufzudecken, die bei der Datenerhebung noch nicht als Hypothese formuliert wurden.



aus zwei Datensätzen gewonnen hat, die ursprünglich zu anderen Zwecken erhoben worden waren und eigentlich nichts miteinander zu tun haben. Im Fragenkatalog von 2015 wurde lediglich gefragt, ob man Sterbehilfe befürwortet oder nicht. Die Software aber stellt nun einen viel komplexeren Zusammenhang her, indem sie weitere Gemeinsamkeiten aufdeckt einerseits zwischen den Personen, die sich für Sterbehilfe aussprechen, und andererseits zwischen jenen, die dagegen sind. „Sie liefert im Nachhinein ganz neue Aussagen und generiert wertvolle Antworten auf Fragen, an die man damals noch gar nicht gedacht hatte“, sagt Miettinen.

Für wissenschaftliche Arbeiten können die von Siren ausgespuckten Korrelationen sehr interessant sein. Vor allem deshalb, weil die Software viele „und“/„oder“-Verknüpfungen präsentiert, die viele andere Datenanalyse-Programme in dieser Komplexität nicht liefern. Wissenschaftler können mit Siren ganz neue Hypothesen aufstellen – zum Beispiel: „Menschen im mittleren Lebensalter lehnen Sterbehilfe ab.“ Solche Aspekte können wiederum eine Anregung für zukünftige wissenschaftliche Studien oder Umfragen sein. Siren steht

Forschern aller Disziplinen zur Verfügung und ist über den Link siren.mpi-inf.mpg.de kostenlos herunterzuladen.

Wissenschaftler können ihre Daten so einfach wie bei einem Statistikprogramm in die Software einspielen. Siren ermittelt dann innerhalb weniger Minuten eine Vielzahl von Korrelationen. „Natürlich sind manche Korrelationen trivial oder unsinnig“, sagt Pauli Miettinen. Eine Aussage wie: „Menschen über 60 interessieren sich weniger für Kinderkrippenplätze“ wäre zum Beispiel wenig überraschend.

Wie ein anderes Experiment Miettinen zeigt, ist Siren aber immer wieder für eine Überraschung gut. In diesem Fall fütterte er die Software zusammen mit Biologen mit Informationen zur Verbreitung der Säugetiere Europas. Der eine Datensatz enthielt 54000 Einzelnachweise von Säugetieren mit Ortsangaben, der zweite die Klimadaten der verschiedenen Orte und Regionen – etwa Höchst- und Tiefsttemperaturen sowie die Niederschlagswerte. Auch diese Datensätze waren ursprünglich unabhängig voneinander erhoben worden, stammten aus verschiedenen Quellen und hatten eigentlich nichts miteinander zu tun. „Dieses Beispiel macht deutlich, mit welcher großen Datenmengen man es oft zu tun hat, wenn man zwei Datensätze verknüpft“, sagt Miettinen.

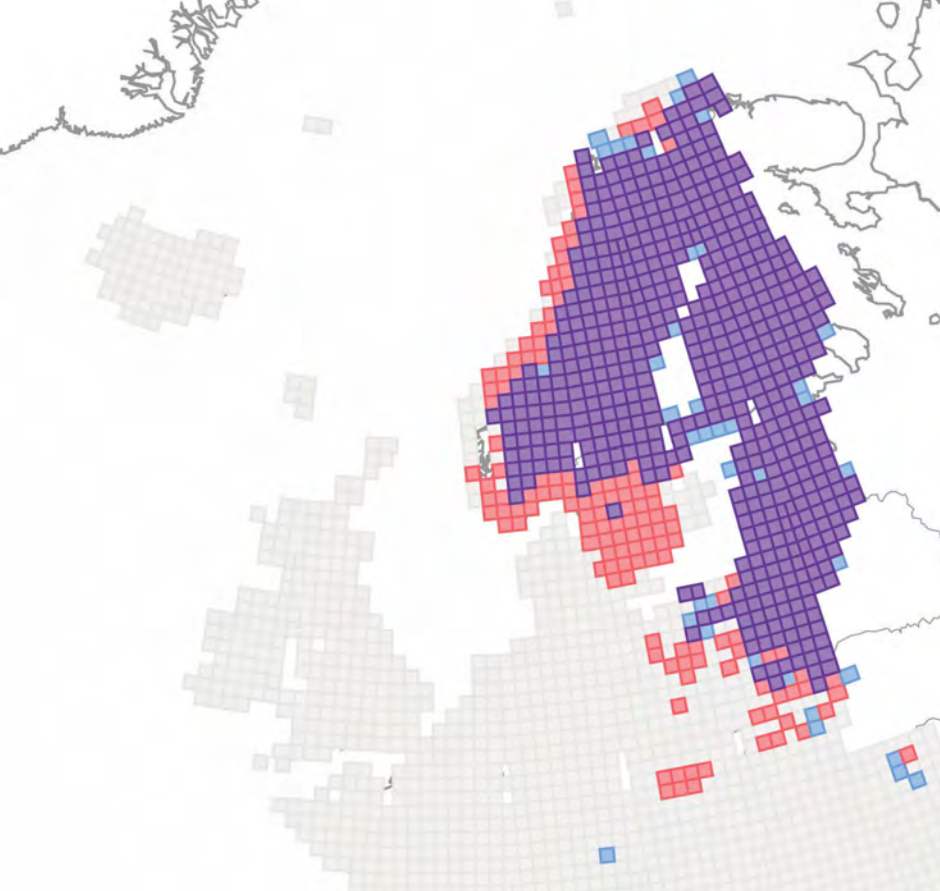
SIREN DEFINIERT REGELN UND AUSNAHMEN

Eigentlich sollte die Studie klären, inwieweit sich die Säugetierpopulationen in Europa mit der Erderwärmung verschieben könnten. Doch Siren lieferte unabhängig davon einige Korrelationen, die für Biologen aufschlussreich waren. Etwa zu den Lebensräumen von Elchen. Wie die Software herausfand,

kommen Elche vor allem in Gebieten vor, in denen die maximale Temperatur im Februar zwischen minus zehn und null Grad Celsius liegt und im Juli zwischen zwölf und 25 Grad. Zudem beträgt der Niederschlag im August dort zwischen 57 und 136 Millimetern. Von dieser Regel gibt es allerdings auch Ausnahmen, die Siren gleich mitlieferte: So leben Elche auch an Norwegens Küste, wo im August mehr Regen fällt. Und in Österreich gibt es eine kleine Elchpopulation in einem Gebiet mit deutlich höheren Februartemperaturen.

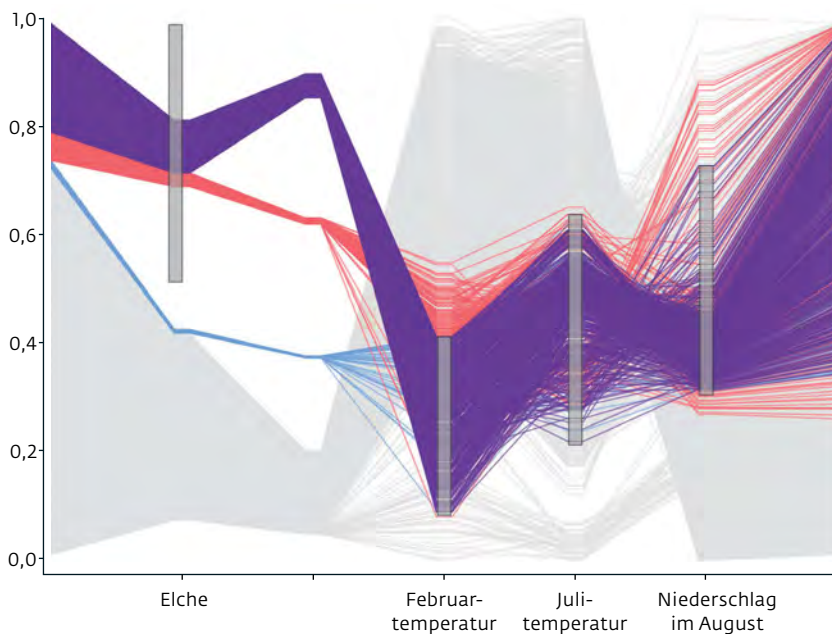
Dank Siren verstehen Biologen die klimatischen Bedingungen, die für die Verbreitungsgebiete der Elche und anderer Säugetiere gelten, besser – obwohl es ihnen in ihrer Studie darum anfangs gar nicht ging. Sie müssen allerdings noch die Regeln definieren und entscheiden, wie sie etwa mit der österreichischen Elchpopulation umgehen: „Biologen können die Bedingungen so definieren, dass auch solche Habitate eingeschlossen werden, oder aber sie betrachten Situationen wie jene in Österreich als Anomalie“, sagt Miettinen.

Softwarewerkzeuge wie Siren sind bisher selten, weil die Disziplin Redescription Mining noch relativ jung ist. Informatiker nutzen diese Methode erst seit etwa zehn Jahren. Zudem gibt es weltweit nur einige wenige Arbeitsgruppen, die sich damit befassen. Und das, obwohl Siren ausgesprochen vielseitig ist. Das Programm stellt nicht nur Korrelationen zwischen zwei unterschiedlichen Datensätzen her, sondern kann auch in einem einzigen Datenpool Bezüge finden. Eine Software so zu programmieren, dass sie so große Mengen an „und“/„oder“-Verknüpfungen oder Verneinungen wie „Wenn x zutrifft, ist y ausgeschlossen“ verarbeiten kann, sei eine Herausforderung, sagt Miettinen. >



Oben Siren analysierte, ob sich die Lebensräume europäischer Säugetiere mit den klimatischen Bedingungen in dem jeweiligen Gebiet erklären lassen. Die violetten und roten Felder zeigen, wo Elche leben. In den violetten Bereichen stimmen die Klimaverhältnisse dabei mit den Erwartungen der Biologen überein: maximale Temperaturen im Februar zwischen minus zehn und null Grad Celsius, im Juli zwischen zwölf und 25 Grad und im August Niederschlagsmengen zwischen 57 und 136 Millimetern. In den roten Bereichen leben Elche, obwohl diese Kriterien nicht erfüllt sind. Vor allem das Vorkommen in einem Teil Österreichs mit deutlich höheren Februartemperaturen überraschte die Biologen. In den blauen Bereichen leben keine Elche, obwohl das Klima passt.

Unten Dieselben Zusammenhänge gibt die Grafik unten für die einzelnen Habitate wieder, die jeweils durch eine Linie repräsentiert werden. Ein Wert über 0,5 an der Marke Elche bedeutet, dass es die Tiere dort gibt, darunter nicht. Auch die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagsmengen im Februar, Juli bzw. August sind relativen Werten zugeordnet. Die grauen Balken definieren hier jeweils die Erwartungen von Biologen. Zwischen der Angabe, ob es Elche gibt oder nicht, und den Werten für die Februartemperatur werden die Linien der einzelnen Habitate nach Farben bei willkürlichen Werten gebündelt. Wo die Linien den linken und rechten Rand der Grafik schneiden, hat keine Bedeutung.



„Es ist ziemlich schwierig, das in Algorithmen umzusetzen.“

Die Arbeitsweise von Redescription-Mining-Programmen aber lässt sich relativ einfach erklären. Die Programme suchen nach Ähnlichkeiten zwischen den Objekten einer Menge – solche Ähnlichkeiten können gleiche Antworten der Politiker auf bestimmte Fragen, derselbe Bildungs- oder Familienstand oder dasselbe Alter sein. Zwischen allen diesen Aspekten stellt die Software Korrelationen her. Zuerst wählt sie simple, sogenannte schwache Korrelationen aus – so ordnet sie etwa Personen danach, ob sie Sterbehilfe ablehnen oder befürworten.

Diese einfachen Verknüpfungen werden dann in einem zweiten Schritt um präzisere Verknüpfungen ergänzt – beispielsweise um die Frage, ob Personen, die Sterbehilfe ablehnen, Kinder haben. In einem nächsten Schritt kann die Software dann das Alter berücksichtigen. Schritt für Schritt fügt die Software beliebige weitere Verknüpfungen hinzu und findet so die Objekte, die die größte Ähnlichkeit haben. Daraus wird dann die allgemeingültige Hypothese beziehungsweise Korrelation generiert.

Beim Redescription Mining testet das Programm zugleich, wie wahrscheinlich oder zutreffend eine gefundene Korrelation ist. In der Sprache der Informatiker klingt das so: Die Software



Pauli Miettinen, Sanjar Karaev und Saskia Metzler (von links) diskutieren, wie sie das Data Mining zukünftig weiterentwickeln können.

maximiert den „Jaccard-Koeffizienten“ – einen Wert, an dem sich die Ähnlichkeit zwischen zwei sogenannten Support-Sets, etwa finnischen Politikern mit bestimmten Eigenschaften, misst.

MEHRERE ERKLÄRUNGEN FÜR EINEN DATENBESTAND

Gerhard Weikum, Direktor am Max-Planck-Institut für Informatik und Leiter der Abteilung Databases and Information Systems hält das Redescription Mining für ein „extrem nützliches Werkzeug“ bei der Analyse großer Datenmengen. Beim Datamining geht es generell darum, in großen, mehrdimensionalen Datenbeständen interessante Muster zu finden. „Ein Analyst, der daraus Erkenntnisse ziehen will, braucht aber oft auch eine Erklärung oder kompakte Charakterisierung eines Musters“, sagt Weikum. „An dieser Stelle ist Redescription Mining extrem nützlich, weil es nicht nur eine Erklärung für einen Datenbestand, sondern mehrere Erklärungen liefert.“

Weikum nennt ein Beispiel: Ein Computerprogramm könnte in einem Personendatenbestand etwa ein Muster erkennen, das Personen umfasst, die bei einer Hightech-Firma arbeiten, jeden Tag lange Pendelstrecken zurücklegen und ein hohes Jahreseinkommen zwischen 100 000 und 300 000 Dollar ha-

ben. Redescription Mining würde aus den Daten eine alternative Beschreibung dieser Personengruppe generieren können, die so aussehen könnte: IT-Experten, die einen Universitätsabschluss in einem technischen Fach haben, aus Asien stammen und in einem US-amerikanischen Ballungsraum arbeiten.

Selbst wenn der Begriff Redescription Mining für Nichtinformatiker ungewohnt und abstrakt klingen mag, regt Pauli Miettinen Forscher anderer Disziplinen an, die Software zu nutzen. Sie sei einfach zu bedienen und für ganz verschiedene Fragestellungen nutzbar. Zudem eigne sie sich sowohl für sogenannte bestätigende als auch für explorative Analysen. Diese unterscheiden sich darin, dass eine Analyse entweder mit oder ohne Arbeitshypothese startet.

Ein Beispiel für eine bestätigende Analyse war die Studie über die Säuge-

tierpopulationen, bei der erwartet wurde, dass der Klimawandel die Verbreitung verändern wird. Bei einer explorativen Analyse stürzt sich die Software hingegen ganz unvoreingenommen auf einen Datensatz. Insofern ist die explorative Analyse mit Redescription Mining geradezu eine Überraschungskiste, die alte Hypothesen stürzen oder auch neue hervorzaubern kann.

In der Regel nutzen die Anwender Siren allein. In schwierigen Fällen aber gibt Pauli Miettinen Unterstützung – etwa wenn unklar ist, ob die Daten überhaupt geeignet sind, um eine Hypothese zu überprüfen. Siren kann so manche wissenschaftliche Fragestellung in neuem Licht erscheinen lassen – und erinnert ein wenig an die Maschine aus dem Roman *Per Anhalter durch die Galaxis*, die einige Millionen Jahre rechnet, um auf die Frage nach dem Sinn des Lebens die Zahl 42 auszuspucken. Die ist freilich relativ nichtssagend. Den ratlosen Menschen rät die Maschine, sich auf die Suche nach der richtigen Frage zu machen, für die die Antwort „42“ einen Sinn ergibt. Hätten sie Siren gehabt, hätten sie die richtige Frage vielleicht gefunden. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

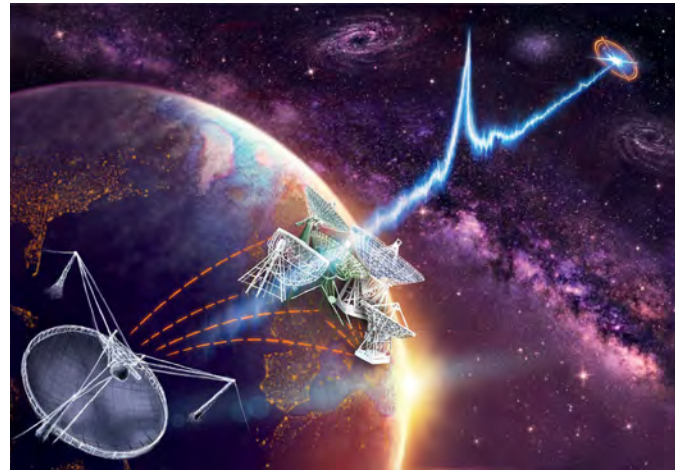
- Mit einer Software namens Siren generieren Forscher des Max-Planck-Instituts für Informatik aus vorhandenen Daten neue Hypothesen. Diese Methode der Datenanalyse heißt Redescription Mining.
- Mit dem Programm Siren analysierten die Forscher unter anderem Zusammenhänge zwischen dem soziodemografischen Hintergrund und politischen Haltungen von Kandidaten für die finnischen Parlamentswahlen und die klimatischen Bedingungen der Habitate europäischer Landsäugetiere, speziell von Elchen.
- Die Software steht Forschern aller Disziplinen zur Verfügung und lässt sich über den Link siren.mpi-inf.mpg.de kostenlos herunterladen.

Radioblitz aus einer Zwerggalaxie

Astronomen finden Ursprungsort eines dieser rätselhaften Strahlungsausbrüche

Zum ersten Mal ist es gelungen, die exakte Richtung eines Radioblitzes zu orten. Diese sehr kurzen Ausbrüche werden seit einigen Jahren beobachtet. Bisher wusste man aber nicht, woher sie stammen. Ein internationales Team um Laura Spitler vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie hat dieses Rätsel nun gelöst. Dazu beobachteten die Forscher mit einem Verbund von Radioteleskopen gleich mehrere Ausbrüche einer Quelle namens FRB 121102. Aufgrund der hohen Winkelauflösung ließ sich die Position auf den Bruchteil einer Bogensekunde genau festlegen. Mit dem 8-Meter-Gemini-Nord-Teleskop auf Hawaii gelang es dann, die Ursprungsgalaxie für die Radiostrahlungsausbrüche zu identifizieren und über das gemessene Spektrum deren Entfernung zu bestimmen – mehr als drei Milliarden Lichtjahre. Trotz dieses Erfolgs liegt die Ursache der Radioblitze weiter im Dunkeln. Hinweise könnte jedoch die Tatsache geben, dass FRB 121102 aus einer Zwerggalaxie stammt, in der wesentlich massereichere

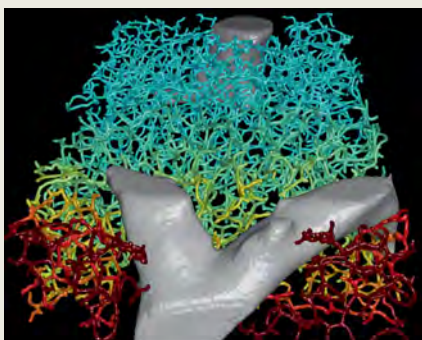
Sterne als in unserer Milchstraße entstehen können. Vielleicht liegt der Ursprung des Ausbruchs im kollabierten Überrest eines solchen Sterns. (www.mpg.de/10886081)



Künstlerische Darstellung der im Rahmen des Europäischen VLBI-Netzwerks (EVN) genutzten Radioteleskope zur Beobachtung des Radioblitzes FRB 121102.

Virtuelle Leber könnte Zahl der Tierversuche verringern

Forscher simulieren die Strömungsdynamik der Gallenflüssigkeit in dem Organ und sagen auf diese Weise durch Medikamente verursachte Schäden vorher



Dreidimensionales Modell des Gallennetzwerks, durch das die Galle von der Leber in den Darm fließt. Die Farben geben die Fließgeschwindigkeiten der Galle an (Blau: langsam, Rot: schnell).

Die Leber ist das zentrale Stoffwechselorgan des Körpers und maßgeblich an dessen Entgiftung beteiligt. Dies macht sie besonders anfällig für Schäden durch Medikamente. Daher sind Tierversuche zur Überprüfung der Lebertoxizität neuer Medikamente gesetzlich vorgeschrieben. Für den Abbau von Fetten und den Abtransport von Ausscheidungsprodukten bildet die Leber Gallenflüssigkeit, die durch ein fein verästertes Kanalnetzwerk in den Darm fließt. Ein Forscherteam am Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik in Dresden hat dieses Netzwerk in Mäusen mit hochauflösenden Mikroskopen untersucht und Aufbau und Struktur der Kanäle

analysiert. Dann haben die Forscher ein 3D-Modell der Gallengänge erstellt, das die Strömungseigenschaften der Gallenflüssigkeit nachstellen kann. Mit dem Modell können die Wissenschaftler Leberkrankheiten sowie Auswirkungen von Medikamenten auf die Leber erforschen, zum Beispiel die bei neuen Wirkstoffen häufig auftretende Gallestauung. Als Nächstes wollen die Wissenschaftler das Modell so verändern, dass es die Verhältnisse in der menschlichen Leber widerspiegelt. Zwar werden Tierversuche auch in absehbarer Zukunft weiter notwendig sein, das Modell könnte jedoch dazu beitragen, ihre Zahl zu verringern. (www.mpg.de/11186162)

Speeddating unter Vögeln

Männliche Graubruststrandläufer durchfliegen bei der Balz ein riesiges Brutgebiet

Aufwendige Balzrituale, viele erschöpfende Kämpfe mit konkurrierenden Männchen, kaum Schlaf und nur mit etwas Glück auch eine Kopulation – der Aufenthalt im arktischen Brutgebiet scheint für die Graubruststrandläufer kaum weniger strapaziös als die Reise dorthin. Zu diesem Schluss kamen Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen, nachdem sie 120 männliche Graubruststrandläufer mit kleinen mobilen Satellitensendern ausgestattet hatten, die sich nach einiger Zeit wieder von selbst von den Tieren lösten. Den so gewonnenen Daten zufolge fliegen die Vögel nach einem bis zu 14 000 Kilometer langen Flug aus den Überwinterungsgebieten oft noch viele Tausend Kilometer weiter durch das Brutgebiet in der Arktis. Sie besuchen innerhalb von vier Wochen bis zu 24 Orte mit Nistplätzen, um ja keine Chance auf Fortpflanzung zu verpassen und sich womöglich sogar mehrmals zu paaren. Sie können das, weil sie kein Revier verteidigen und die Weibchen nicht bei der Brutfürsorge unterstützen. Die Männchen schlafen während der Fortpflanzungszeit so gut wie gar nicht, damit sie in den langen Sommertagen der Arktis fast rund um die Uhr um Weibchen buhlen und Rivalen bekämpfen können. Am Ende kommen dann aber nur wenige Männchen tatsächlich zur Fortpflanzung. (www.mpg.de/10881982)



Balzflug männlicher Graubruststrandläufer mit aufgeblasenem Kehlsack. Die etwa 100 Gramm schweren Vögel lassen im Flug tiefe Rufe erklingen.

Frühe Forstwirtschaft im Amazonaswald



Fotos: MPI für Ornithologie (oben), Carolina Levis (unten)

Ureinwohner hinterließen in präkolumbianischer Zeit Spuren im Regenwald, indem sie Baumarten domestizierten

Menschen prägen den Regenwald des Amazonas schon viel länger als bislang angenommen. Denn die Ureinwohner pflanzten bereits vor etwa 8000 Jahren Pflanzen wie den Paranuss- und den Kakaobaum oder die Kohlpalme an und sorgten für deren Verbreitung. Das hat ein internationales Team herausgefunden, an dem Florian Wittmann vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz beteiligt war. Die domestizierten

Bäume finden sich im Amazonas-Regenwald daher bis heute häufiger, als ohne den Eingriff von Menschen zu erwarten wäre. Außerdem weisen sie weniger genetische Variationen auf, als bei einer natürlichen Verbreitung auftreten. Die Vorstellung, dass die ausgedehnten Regenwälder vor der Ankunft der Spanier in Südamerika unberührt von menschlichem Einfluss waren, stimmt also nicht. (www.mpg.de/11101565)

Kultivierter Urwald: Menschen prägten die Pflanzenwelt im Amazonasbecken stärker als bislang angenommen – etwa mit Acai-Palmen wie im Staatswald von Humaitá im brasilianischen Bundesstaat Amazonas.

50 000 Jahre heimatverbunden

DNA-Untersuchungen zeigen einzigartige Bindung australischer Ureinwohner an ihr Land



Mit Veranstaltungen wie dem DanceSite Festival im australischen Alice Springs pflegen Aborigines ihre Traditionen. Die Forschung kann ihnen helfen, die Frage zu beantworten, woher genau sie kommen.

Die australischen Aborigines sind in ihrer jeweiligen Region außerordentlich tief verwurzelt. Bereits seit bis zu 50 000 Jahren bewohnen die rund 400 Sprach- und Regionalgruppen kontinuierlich dasselbe Gebiet. Ein Forscherteam, dem auch Wolfgang Haak vom Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte angehört, analysierte in 111 historischen Haarproben die mitochondriale DNA, anhand derer sich die mütterliche Linie zurückverfolgen lässt. Die Ergebnisse zeigen, dass die modernen Aborigines die Nachfahren einer einzigen Gründerpopulation sind, die Australien vor 50 000 Jahren besiedelte. Damals war das Land noch Teil des Urkontinents „Sahul“, der durch eine Landbrücke mit Neuguinea verbunden war. Der Anstieg des Meeresspiegels trennte später Australien von Neuguinea. Anschließend spaltete sich die Population weiter auf und breitete sich innerhalb von 1500 bis 2000 Jahren entlang der Ost- und Westküste des Kontinents aus. Danach blieben die Siedler ihren Regionen treu, und zwar selbst dann, wenn es keine natürlichen Grenzen für eine weitere Migration gab. Die Studie entstand im Rahmen des Aboriginal Heritage Project, das es Menschen mit Aborigine-Wurzeln ermöglichen soll, ihre regionale Herkunft nachzuvollziehen. (www.mpg.de/11153645)

Grüne Chemie im Muschelfuß

Die Byssusfäden entstehen in einer Kombination von selbstorganisierter und biologisch regulierter Bioproduktion

Von der Miesmuschel kann sich die Chemieindustrie einiges abschauen. Nicht nur, dass ihr Perlmutter außergewöhnlich fest ist. Die Byssusfäden, mit denen sich die Muschel am Meeresboden festhält, sind auch besonders reißfest, und ihre Enden kleben unter Wasser besser als jedes andere Material. Wie die Muschel die komplex aufgebauten Fäden in ihrem Fuß spinnst, könnte zudem zur Blaupause für eine umweltfreundliche Produktion synthetischer Verbundmaterialien werden. Denn Wissenschaftler um Matt Harrington haben am Potsdamer Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung

festgestellt, dass wesentliche Schritte der Bioproduktion selbstorganisiert ablaufen, also ohne dass die Muschel eingreift. So entstehen der Kern, die Hülle und das haftende Plättchen am Ende eines Byssusfadens allein deshalb an der richtigen Stelle, weil die Muschel die entsprechenden Komponenten, zeitlich genau aufeinander abgestimmt, an den richtigen Stellen in einer feinen Rinne in ihrem Fuß freisetzt. Diese Erkenntnis könnte einen Weg weisen, wie sich Polymere auch technisch auf einfache Weise und ohne meist schwermetallhaltige Katalysatoren zu größeren Strukturen anordnen lassen. (www.mpg.de/11077471)

Die Byssusfäden von Muscheln haften unter Wasser besser als jeder Klebstoff aus der Tube. Sie sind reißfest, dehnbar, hart und heilen von selbst.

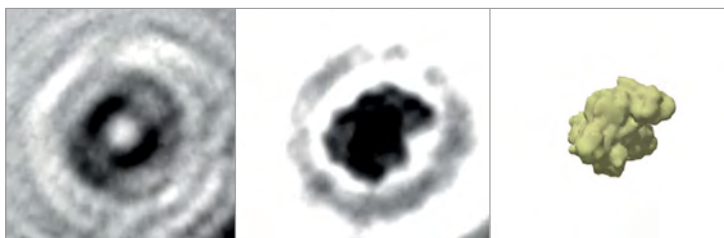


Hologramme für die Biomedizin

Mit energiearmen Elektronenstrahlen lässt sich die dreidimensionale Struktur einzelner Proteine untersuchen

Für die Bestandsaufnahme im Werkzeugkasten des Lebens können Biologen künftig ein völlig neues Mittel nutzen: die Elektronenholografie. Wissenschaftler der Universität Zürich und des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung in Stuttgart haben mit besonders energiearmen Elektronen erstmals Hologramme einzelner Proteine aufgenommen und so deren dreidimensionale Struktur sichtbar gemacht. Die beson-

ders schonende Methode ermöglicht es – anders als gängige Methoden der Strukturbiochemie –, die Biomoleküle in der Form zu untersuchen, in der sie ihre vielfältigen Aufgaben in Organismen erfüllen. Die Elektronenhologramme von Proteinen könnten daher nicht nur das Verständnis biochemischer Prozesse verbessern, sondern auch die Suche nach neuen medizinischen Wirkstoffen erleichtern. (www.mpg.de/10948914)



Aus dem Hologramm (links) wird das Bild des Proteins Albumin (Mitte) berechnet (der Balken entspricht fünf Nanometern). Die holografische Abbildung stimmt sehr gut mit einer Simulation (rechts) überein.

Marker für die richtige Darmkrebstherapie

Wissenschaftler können die Wirkung eines Anti-Tumor-Medikaments auf Krebszellen im Labor vorhersagen

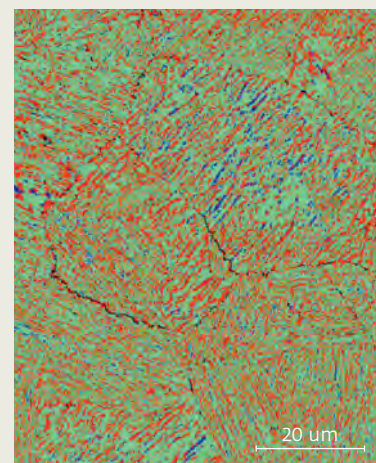
Darmkrebs ist weltweit die dritthäufigste Krebserkrankung, die meisten Fälle betreffen den Dick- und Mastdarm. Von diesen sogenannten kolorektalen Karzinomen gibt es verschiedene Untergruppen, die jeweils unterschiedlich gut auf Krebsmedikamente ansprechen. Daher wirkt ein Medikament in der Regel nicht bei allen Patienten. Ein öffentlich-privates Konsortium – darunter auch Forscher des Max-Planck-Instituts für molekulare Genetik in Berlin – hat Biomarker identifiziert, die es künftig ermöglichen könnten, Darmkrebspatienten individuell je nach Tu-

mortyp zu behandeln. Zunächst erstellten die Forscher gewissermaßen einen molekularen Fingerabdruck aller Tumorgruppen. Dann testeten sie, wie die Tumore auf verschiedene Therapeutika reagieren, und verknüpften so den Fingerabdruck eines Tumors mit dessen Reaktion auf verschiedene Wirkstoffe. Das Forscherteam hat dabei unter anderem Moleküle entdeckt, welche die Wirksamkeit des Chemotherapeutikums 5-FU und von Cetuximab vorhersagen können – zwei bei dieser Krankheit häufig eingesetzte Medikamente. (www.mpg.de/11040273)

Stahl mit Knochenstruktur

Mikrolamellen verhindern, dass Material schnell ermüdet

Wenn ein Material ermüdet, kann das im Verkehr ähnlich fatale Folgen haben wie die Müdigkeit eines Fahrers. So starben 1998 beim ICE-Unfall von Eschede mehr als 100 Menschen, weil der Stahl eines Radreifens ermüdet und gebrochen war. Ein Stahl, den Dirk Ponge und Dierk Raabe am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf entwickelt haben, könnte helfen, solche Unfälle zu verhindern. Wie die Forscher jetzt in einer internationalen Kooperation herausgefunden haben, ist das Material wie Knochen aus Mikrolamellen aufgebaut. Deshalb können sich winzige Risse, die bei der Belastung des Stahls entstehen, nicht so schnell ausbreiten. Das Material ermüdet folglich nicht so schnell.



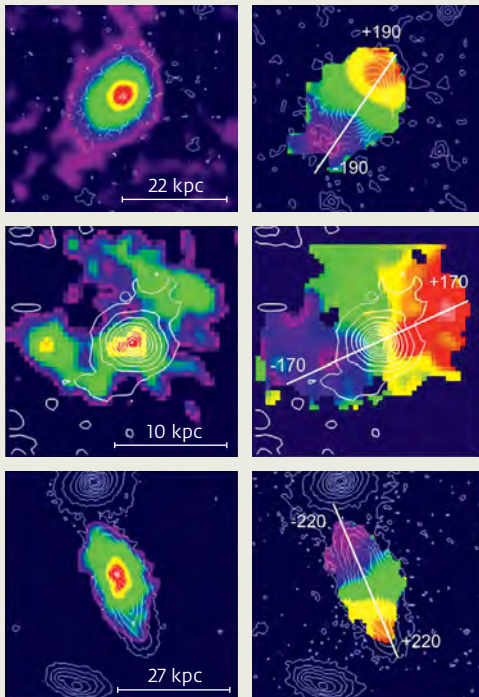
Winzige Lamellen lassen einen neuen Stahl langsamer ermüden. Rot und Grün stehen für verschiedene Kristallstrukturen.

Persönliche Prognosen unerwünscht

Wenn es um die eigene Zukunft geht, ist willentliche Ignoranz eine weitverbreitete Haltung

Erfahren, wann man stirbt? Die meisten wollen das lieber nicht. Die Mehrheit der Menschen bleibt lieber im Ungewissen, was das eigene Leben für sie bereithält – auch wenn es etwas Positives sein könnte. Das fanden Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung und der Universität Granada bei einer Befragung von mehr als 2000 Erwachsenen in Deutschland und Spanien heraus. Lediglich ein Prozent aller Befragten würde konsequent gern wissen, was die Zukunft bereithält. 86 bis 90 Prozent möchten dagegen nicht über bevorstehende negative Ereignisse wie das Scheitern ihrer Ehe oder den Tod ihres Partners informiert sein. 40 bis 77 Prozent lehnen es zudem ab, positive Ereignisse wie den Sieg ihres Fußballclubs oder Weihnachtsgeschenke vorab zu erfahren. Die Wissenschaftler nennen dieses Phänomen willentliche Ignoranz. Es steht im Widerspruch zu der etablierten Erkenntnis, dass der Mensch grundsätzlich nach Gewissheit und einem Zuwachs an Information strebt. Gerd Gigerenzer, Erstautor der Studie, erklärt willentliche Ignoranz mit der weitverbreiteten Angst vor schlechten Nachrichten und mit dem Wunsch, vor schönen Ereignissen die Spannung aufrechtzuerhalten. (www.mpg.de/11069182)

Im antiken Mythos wird der Seherin Cassandra ihr Wissen um die Zukunft zur Qual. Heute lehnen genau deswegen viele Menschen persönliche Prognosen ab.



Dunkle Materie – Fehlanzeige

Milchstraßensysteme im jungen Universum bestehen hauptsächlich aus Gas und Sternen

Neue Beobachtungen von Galaxien im jungen Universum zeigen, dass diese vollständig von normaler Materie dominiert werden. Die Dunkle Materie spielt in ihnen offenbar eine viel kleinere Rolle als bei Sternensystemen im heutigen Weltall. Zu diesem Ergebnis gelangten Forscher um Reinhard Genzel vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik. Die Astronomen beobachteten mehrere Hundert masserei-

Galaxien im Fokus: Für jedes der drei Milchstraßensysteme ist jeweils rechts daneben eine Geschwindigkeitskarte zu sehen. Alle Galaxien weisen ein deutliches Rotationsmuster auf, wobei sich blau eingefärbte Gebiete zum Beobachter hin und rot eingefärbte Bereiche vom Beobachter weg bewegen.

che, sternbildende Galaxien im frühen Universum mit bildgebender Spektroskopie. Dies ermöglichte es, die Rotationskurven der Galaxien zu bestimmen, die wiederum wertvolle Hinweise auf die Masseverteilung sowohl für baryonische (normale) als auch für die Dunkle Materie liefern – zu einem Zeitpunkt vor zehn Milliarden Jahren, als die Galaxienentstehung ihren Höhepunkt erreicht hatte. Dabei zeigte sich, dass die Geschwindigkeiten der Sterne in den äußeren Bereichen der Galaxien kleiner werden, was gegen die Existenz einer unsichtbaren Masse spricht. Zudem erscheinen die Sternenscheiben dicker und turbulenter als die in heutigen Galaxien. (www.mpg.de/11169643)

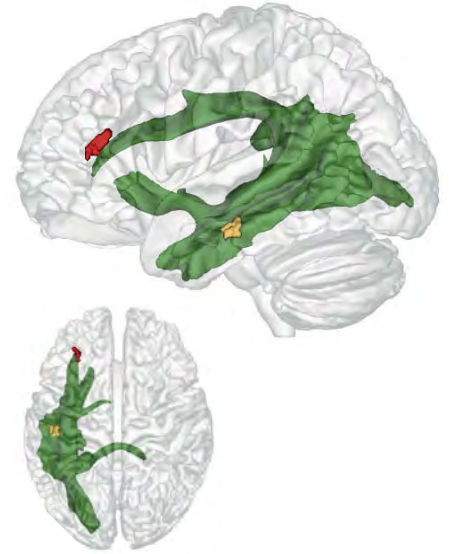
Eine Verbindung zu fremden Gedanken

Forscher entdecken Hirnstruktur, die uns andere verstehen lässt

Im vierten Lebensjahr durchläuft das Gehirn eines Kindes eine wichtige Veränderung: Es beginnt zu verstehen, dass andere etwas anderes denken als es selbst. Was ein Dreijähriger noch nicht kann, wird nun möglich: sich in andere hineinzuversetzen. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig zufolge hängt dieser Meilenstein in der Gehirnentwicklung mit der Bildung einer Nervenverbindung zusammen, dem *Fasciculus arcuatus*. Dieses Bündel aus Nervenzellfortsätzen verknüpft zwei Hirnareale miteinander: Eine Region befindet sich im hinteren Schläfenlappen des Großhirns, die dem

Gehirn im Erwachsenenalter hilft, über andere Menschen und deren Gedanken nachzudenken. Das zweite Gebiet ist ein Areal im Frontallappen des Großhirns, dank dessen das Gehirn Dinge auf verschiedenen Abstraktionsebenen halten und so die Realität und die Gedanken anderer auseinanderhalten kann. Erst wenn diese Hirnregionen durch den *Fasciculus arcuatus* miteinander verbunden sind, können sich Kinder in die Gedankenwelt anderer hineinversetzen. (www.mpg.de/11181741)

Der *Fasciculus arcuatus* (grün) verknüpft ab dem vierten Lebensjahr eine Region im hinteren Schläfenlappen (gelb) mit einem Gebiet im Frontallappen des Großhirns (rot).



Wachsen trotz Fasten

Neues Fruchtfliegenfutter verbessert Entwicklung und Fruchtbarkeit, ohne die Lebenszeit zu verkürzen

Für ein langes und gesundes Leben gibt es viele Empfehlungen, eine davon lautet: weniger essen. Aber das kann unangenehme Folgen haben: Fliegen und Mäuse auf Diät zum Beispiel entwickeln sich langsamer und sind weniger fruchtbar. Gesucht wird also eine Ernährung mit der positiven Wirkung einer Diät – jedoch ohne deren negative Begleiterscheinungen. Eine Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns hat jetzt eine Ernährung für Fruchtfliegen und Mäuse auf Basis der körpereigenen Aminosäuren dieser Tiere entwickelt. Fliegen, die mit diesem Futter gefüttert werden, nehmen weniger Kalorien zu sich als Fliegen, die eine Standard-Ernährung vorgesetzt bekommen, und leben genauso lang. Trotz der Diät entwickeln sie sich schneller, werden größer und legen mehr Eier. Die Forscher vermuten, dass sich eine auf die exakten Bedürfnisse an Aminosäuren abgestimmte Ernährung auch positiv auf die Gesundheit des Menschen auswirken würde. (www.mpg.de/11156704)

In der Natur ernährt sich die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* von reifem Obst. Eine Ernährung, die genau die Zusammensetzung der Aminosäuren ihres Körpers widerspiegelt, macht die Fliegen früher satt, lässt sie aber trotzdem schneller wachsen.



Alter schützt vor Kühnheit nicht

Entgegen bisherigen Erkenntnissen zeigt eine Studie des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung, dass ältere Menschen in bestimmten Situationen mehr riskieren als jüngere. In der Untersuchung mussten Probanden zwischen zwei Optionen wählen, bei denen sie mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit unterschiedlich hohe Geldbeträge gewinnen oder verlieren konnten. Die Testpersonen kannten jeweils ihre Erfolgsaussichten. Im Ergebnis entschieden sich die Älteren von ihnen öfter für die riskante Möglichkeit als die Jüngeren. Der Grund: Sie bewerteten ihre Gewinnchancen optimistischer und wagten deswegen mehr. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Altersunterschiede im Risikoverhalten stark von der Situation beeinflusst werden. Bisherige Studien untersuchten meist die Wahl zwischen einer sicheren und einer riskanten Option und kamen deswegen zu einem anderen Ergebnis. Der aktuelle Test zeigte zudem, dass ältere Probanden schlechtere Entscheidungen trafen als jüngere: Sie wählten seltener die Option, die aus ökonomischer Sicht einen höheren Gewinn erwarten ließ, vermutlich weil ältere Menschen nicht mehr so schnell Informationen verarbeiten und Probleme lösen können wie jüngere. (www.mpg.de/11149029)



Von England über Frankreich und die USA nach Deutschland: Die Mikrobiologin Ruth Ley hat sich in ihrer Karriere nicht nur mit verschiedensten Bakterien beschäftigt. Sie hat auf ihren Stationen auch den einen oder anderen kulturellen Unterschied zwischen den Ländern kennengelernt.

Unterwegs im Kosmos der Mikroben

Der menschliche Körper bietet Lebensraum für unzählige Mikroorganismen. Insbesondere der Darm wird von einer Fülle von Bakterien besiedelt. Als junge Umweltmikrobiologin hätte **Ruth Ley** nie gedacht, dass sie sich einmal für den Verdauungstrakt und die darin vorkommenden Mikroben interessieren würde. Heute erforscht sie am **Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie** in Tübingen, welche Rolle die unzähligen Darmbakterien für unsere Gesundheit spielen.

TEXT **CORNELIA STOLZE**

Die Stationen ihrer Laufbahn lesen sich wie die Topziele eines Reiseveranstalters für exklusive Naturabenteuer: ein Semester auf Moorea, einer tropischen kleinen Insel im Südpazifik nahe Tahiti; mehrere Wochen auf Guadeloupe in der Karibik; drei Jahre unterwegs in den Nationalparks von Hawaii. Dann ein längerer Aufenthalt in Boulder, Colorado, mit regelmäßigen hochalpinen Ski- und Bergtouren in die Rocky Mountains. Später ein Abstecher zu Salzseen in Mexiko mit einem Stipendium der US-Weltraumbehörde NASA und – als i-Tüpfelchen – noch eine mehrwöchige Expedition in die Antarktis.

Ruth Ley ist viel in der Welt herumgekommen. Doch die Reiselust der Forscherin, die seit Mitte 2016 Direktorin am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie ist, hat weder mit Jetset zu

tun noch mit einem Faible für Extremsport. „Um ehrlich zu sein: Ich hätte wohl die Letzte sein sollen, die zum Beispiel diese Touren in die Rocky Mountains macht. Ich bin nämlich eine miserable Skiläuferin“, sagt Ley und lacht. Es war ihr wissenschaftliches Interesse für Ökologie, das sie an entlegene Orte des Globus trieb.

EXPEDITIONEN INS REICH DER BAKTERIEN

Ob biologische Messungen am Riff von Moorea, wo die Universität von Kalifornien, Berkeley, eine Forschungsstation unterhält, Eidechsenfangen für ein Projekt auf Guadeloupe, Ökosystem-Untersuchungen auf Hawaii oder Analysen zur Bakterienvielfalt von Salzflächen in Mexiko: „Ich wäre damals für ein interessantes Projekt überall hingegangen – Hauptsache, ich konnte mit Leuten ar-

beiten, von denen ich etwas lernte“, verrät Ley. Von Kleinigkeiten wie Hitze oder Kälte hat sie sich bei ihrer Forschung sowieso nie bremsen lassen. Schließlich hat die gebürtige Engländerin früh gelernt, sich auf neue Herausforderungen einzustellen und sich nicht so schnell durch Widrigkeiten abschrecken zu lassen.

So wurde die Biologin vorübergehend zur eifrigen Skitourengängerin. Viele Male stapfte Ley für ihre Doktorarbeit an der Universität von Colorado mit Lederbergstiefeln und Telemark-Skiern über windumtoste verschneite Hänge bis auf Höhen von 3700 Metern und fuhr anschließend durchs Gelände ab. „Und das Ganze nur, um dort oben Proben von Sand und Kies für unsere Forschung zu sammeln“, fügt Ley mit einem Schmunzeln hinzu.

In der Tat ein ungewöhnliches Projekt. Zumal für eine Biologin, die sich



Bakterien haben fast alle Lebensräume auf der Erde besiedelt. Einige davon hat Ruth Ley auf Forschungsreisen besucht.

Oben Die Wissenschaftlerin in einem Trockental der Antarktis.

Unten Stück einer Bakterienmatte aus Mexiko.



seit ihrem Studium an der Universität von Kalifornien in Berkeley mit den Wechselbeziehungen lebender Organismen zu ihrer Umwelt und mit der Erforschung von Mikroben und ihren komplexen Gemeinschaften befasst. Denn für viele Wissenschaftler stand damals fest: In extremen Höhen wie jenen über der Baumgrenze der Rocky

Mountains, wo Ley sommers wie winters Messungen vornahm und Proben gewann, sind die Böden tot. Weder Bakterien noch andere Mikroben sollten demzufolge in der Lage sein, die unwirtlichen Bedingungen während der frostigen Winter im Sand oder Kies unter den zum Teil zehn Meter hohen Schneedecken zu überstehen.

Leys Untersuchungen zeigten schon bald, dass das ein Irrtum war. Sie hatte erfahren, dass es durchaus Hinweise auf Leben in diesen Regionen gab. Messungen hatten gezeigt, dass irgendwo zwischen Boden und Schnee Ammonium zu Nitrat oxidiert wird. Und das, so wusste die Forscherin aus ihren früheren Bodenuntersuchungen auf Ha-



An einer medizinischen Fakultät zu forschen, war eine der besten Entscheidungen in meiner Laufbahn.

waii, ist nur möglich, wenn dort bestimmte Mikroben vorhanden sind. Deshalb brachte Ruth Ley hoch oben in den Bergen ihre Messinstrumente zwischen Sand und Schnee an. Zurück im Labor fahndete sie in den Bodenproben nach Spuren von Bakterien und anderen Arten von Leben.

Der Erfolg ließ nicht lange auf sich warten. Dank ihrer Touren durch Schnee und Eis gelang es Ley nachzuweisen, dass hochalpine Böden keineswegs leblos, sondern ein dauerhafter Lebensraum für zahlreiche Arten von Bakterien sind. Im Rahmen ihrer Doktorarbeit identifizierte sie Mikroben, die – vom Schnee vor der Kälte geschützt – auch im Winter aktiv sind, und widersprach damit Fachleuten aus der Geologie.

AUFGEWACHSEN MIT KULTURUNTERSCHIEDEN

Leys Mut, alte Gewissheiten infrage zu stellen und unbekannte Wege zu gehen, kommt nicht von ungefähr. Im Alter von sechs Jahren zog sie mit ihren Eltern und beiden Schwestern vom britischen Surrey nach Paris. Der Vater, ein Ingenieur, hatte dort einen attraktiven neuen Job angeboten bekommen. Den Töchtern blieb nur eins: sich rasch an die neue Umgebung zu gewöhnen und so schnell wie möglich die fremde Sprache zu erlernen.

Sieben Jahre später folgte der nächste Wechsel. Ley war jetzt 13 Jahre alt, hatte sich bestens in der neuen Heimat eingelebt und sprach mit Freunden und Schwestern nur noch Französisch.

Wieder war der Umzug durch den Beruf des Vaters bedingt. Dieses Mal ging es auf einen anderen Kontinent – von Europa nach Palo Alto im kalifornischen Silicon Valley. Erneut, so stellte sie fest, lief das Miteinander an der Schule und im Alltag nach völlig anderen Regeln als zuvor.

„Die Umstellung war hart“, erinnert sich Ruth Ley. „Frankreich und die USA sind kulturell sehr unterschiedlich.“ Wieder galt es für sie und ihre Schwestern, andere „Codes“ für das Verhalten im Alltag zu lernen. Manches, was in dem einen Land normal und alltäglich war, stellte Ley fest, galt im anderen als snobistisch und elitär – und umgekehrt. Angefangen bei Leys britischem Akzent (mit den Eltern hatte sie all die Jahre weiterhin Englisch gesprochen), der in den Ohren ihrer amerikanischen Mitschüler zunächst abgehoben klang, bis hin zu unterschiedlichen Statussymbolen und Formen der Esskultur. Ein kleines Beispiel? Ruth Ley überlegt kurz. „Nehmen Sie Baguette mit Camembert. In Paris ist das ein schlechtes Mittagessen für einfache Arbeiter. In Kalifornien hat es – warum auch immer – den Nimbus eines High-Society-Lunchs.“

Ähnliche Beobachtungen machte sie in der Schule. In Frankreich sprach man die Lehrer selbstverständlich mit einem höflichen „Vous“ sowie „Monsieur“ oder „Madame“ an. In den USA, so schien es auf den ersten Blick, waren Schüler und Lehrer plötzlich auf einer Ebene. Jeder verwendete das egalitäre „You“, und die Pädagogen waren für

die Schüler schlicht „Bob“ oder „Jane“. Doch Vorsicht vor voreiligen Schlüssen!, lernte Ley schnell. Trotz der scheinbar laxeren Regeln gingen amerikanische Jugendliche zu ihrer Verblüffung viel respektvoller mit der Autorität Schule um. „In Paris haben die Kinder alles mitgenommen, was in der Schule nicht niet- und nagelfest war. In Kalifornien habe ich das nie erlebt.“

UNBEKANNTE UNTERMIETER

Keine Frage – derlei kulturelle Wechselbäder können anstrengend sein. Wer jedoch in früher Jugend erlebt, dass es sich lohnt, offen zu sein und genau hinzusehen, bringt beste Voraussetzungen dafür mit, zum Pionier einer völlig neuen Wissenschaftsdisziplin zu werden. So gehört Ruth Ley heute zu den Vorreitern einer Forschungsrichtung, die seit einigen Jahren in atemberaubendem Tempo expandiert: Ihr Ziel ist die Entschlüsselung des Mikrobioms, jener Ansammlung von Mikroben also, die den menschlichen Körper in millionenfacher Zahl als ständige Bewohner der Haut und des Verdauungstrakts besiedeln. Und schon heute steht fest: Die Mikrobiom-Forschung lässt bislang ungeahnte Zusammenhänge in der Steuerung des menschlichen Körpers erkennen.

Gemeinsam mit anderen Forschern konnte Ley erstmals zeigen, dass das Mikrobiom des Menschen deutlich mehr ist als ein blinder Passagier, der bei der Zerlegung von Nahrung in verwertbare Komponenten hilft. Tatsächlich spielen die unzähligen Mikroorga-



In Tübingen will Ruth Ley erforschen, wie Gene, Immunsystem und Umwelteinflüsse das menschliche Mikrobiom beeinflussen. Ein seltener Bestandteil der Bakteriengemeinschaft ist das Darmbakterium *Escherichia coli* (rechts). Die meisten Stämme sind harmlos, manche können aber auch Auslöser von Infektionskrankheiten sein.



nismen im Darm eine maßgebliche Rolle für unsere Gesundheit und tragen beispielsweise zu Übergewicht, Diabetes und chronischen Autoimmunerkrankungen bei. Medikamente wiederum können die Darmflora schädigen.

Wie das individuelle Mikrobiom eines Menschen aussieht, hängt davon ab, in welcher Umgebung er sich aufhält, denn Mikroben werden erst nach der Geburt aufgenommen. Davor ist der Darm vermutlich steril. Die ersten Bakterienspezies, die den Darm bevölkern, stammen aus der unmittelbaren

Umgebung: der Vagina, der Haut und dem Darm der Mutter. Nach und nach kommen weitere Bakterienarten aus der Außenwelt hinzu. Die Zusammensetzung des Mikrobioms zu einem bestimmten Zeitpunkt hängt maßgeblich von der Ernährung, aber auch von vielen anderen Faktoren ab. Daher kann die Darmflora eines jeden Einzelnen, jeder Familie und jeder menschlichen Population unterschiedlich zusammengesetzt sein.

Auch die medizinische Versorgung hat einen wesentlichen Einfluss auf die

Darmflora. Beispiel Antibiotikum: Bereits die einwöchige Einnahme eines solchen Medikaments ändert die Zusammensetzung und Aktivität der Mikroorganismen dramatisch. Dutzende Arten können verschwinden, andere nehmen ihren Platz ein. Viele der rund 2000 üblicherweise im Stuhl nachweisbaren chemischen Abbauprodukte – gewissermaßen der Fingerabdruck für die Aktivität aller Bakterien – werden nach einer Antibiotikum-Einnahme vorübergehend in veränderter Konzentration gemessen.

„Im Prinzip weiß man schon lange, dass bestimmte Bakterien im menschlichen Darm für den Körper sehr wichtig sind“, sagt Ley. „Trotzdem war bis Anfang der 2000er-Jahre sehr wenig über die meisten dieser Mikroben bekannt.“ Der Grund: Die mikroskopisch kleinen Organismen ließen sich im Labor nicht untersuchen, weil es nicht gelang, sie auf künstlichen Nährböden in Kulturschalen zu züchten.

„Seit 2004 ist die Mikrobiom-Forschung aber regelrecht explodiert“, sagt Ley. Dazu trugen mehrere Entwicklungen bei: Erstens lässt sich die Zusammensetzung des Darmmikrobioms

Anzahl der Arten von Mikroorganismen:

600

im Mund, im Rachen und in den Atemwegen

500-1000

im Dün- und Dickdarm

60

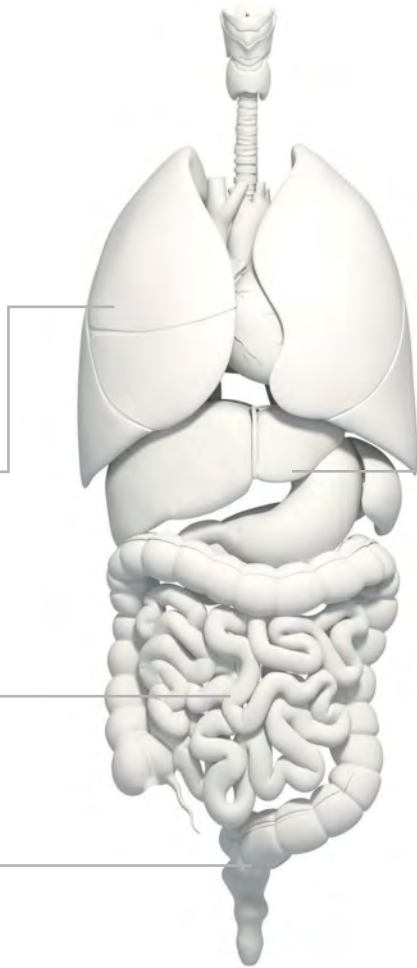
im Mastdarm

1000

auf der Haut

25

im Magen



Der Mensch bietet Mikroorganismen in verschiedenen Organen eine Heimat, darunter in den Atemwegen, der Haut und im Magen-Darm-Trakt.

heute mithilfe molekularbiologischer Methoden bestimmen, was Forschern die Züchtung der Bakterien im Labor erspart. Außerdem machen es moderne Sequenzieretechniken möglich, das Erbgut von Mikroben in kurzer Zeit zu entschlüsseln; und die Verfahren zur Datenanalyse mit dem Computer haben sich massiv beschleunigt.

MÄUSE OHNE DARMPFLORA ALS MODELL

Anfang der 2000er-Jahre beschäftigten sich Forscher um den Mediziner Jeffrey Gordon an der Washington University in St. Louis (USA) mit dem Zusammenhang von Übergewicht und Darmbakterien. Sie untersuchten dabei Mäuse, die von Geburt an unter keimfreien Bedingungen gehalten werden und daher keine eigene Darmflora besitzen. Dies macht sie zum idealen Modellfall für den Einfluss einzelner Arten des Mikrobioms auf die Gesundheit: Wissenschaftler können den Mäusen nicht nur genau definiertes Futter geben, sondern auch gezielt bestimmte Darmbakterien verabreichen, um zu testen, wie sich die Mikroben

und unterschiedliche Arten von Nahrung auf einzelne Funktionen des Körpers auswirken.

Genau zu dem Zeitpunkt, als Jeffrey Gordon begann, das Erbgut der Darmbakterien zu entschlüsseln, stieß Ley zu seinem Team – eine glückliche Entscheidung, wie sich zeigte. Denn inzwischen hatte die Biologin in einem Forscherkollegen ihren Partner fürs Leben gefunden: Lars Angenent, ein erfolgreicher Bioverfahrenstechniker und gebürtiger Holländer, hatte an derselben Universität wie Ruth Ley in Boulder gearbeitet. Schon bald führte ihn jedoch eine Position als Assistenzprofessor an die Washington University in St. Louis, während Ruth Ley ihren Job an der Universität von Colorado behielt. Über mehrere Jahre hinweg pendelte das Paar zwischen den beiden Städten – lange Zeit ohne eine Aussicht darauf, irgendwann einmal am selben Ort leben zu können.

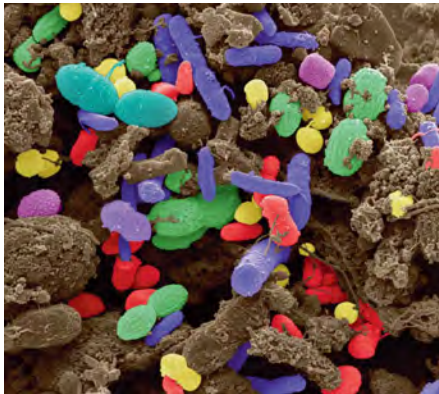
Doch dann tat sich plötzlich eine ungeahnte Chance auf. Ley erfuhr, dass Gordons Team an der medizinischen Fakultät der Washington University die perfekte Nische für sie bot: Gordons Labor war nicht nur groß

und erfolgreich. Er und seine Mitarbeiter waren auch gerade dabei, Techniken aus Leys Spezialgebiet – der Umweltmikrobiologie – für die Erforschung von Mikroben im menschlichen Verdauungstrakt nutzbar zu machen. Eines Tages hinterließ Ley ihm deshalb eine Nachricht und fragte: „Brauchen Sie eine Mikrobiologin mit Schwerpunkt Ökologie?“ Jeffrey Gordon musste nicht lange überlegen – und sagte zu.

MIKROBENMIX BEEINFLUSST DAS KÖRPERGEWICHT

Kurz danach veröffentlichte Gordons Team eine bahnbrechende Arbeit. Zum ersten Mal in der Geschichte der Medizin konnten die Wissenschaftler zeigen, dass – anders als lange vermutet – unser Körpergewicht keineswegs nur davon abhängt, was und wie viel wir essen und wie viel Energie wir durch Bewegung verbrauchen. Es gibt noch einen dritten Faktor: die Zusammensetzung der Mikroben in unserem Darm.

Den Nachweis erbrachten die Forscher mithilfe eines eleganten Tricks. Sie übertrugen das Darmmikrobiom



Links Bakterien sind für eine effektive Verdauung unverzichtbar: Mehr als die Hälfte des menschlichen Stuhls besteht aus ausgeschiedenen Darmbakterien.

Rechts Die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft beeinflusst auch das Körpergewicht: Übergewichtige Mäuse besitzen mehr *Firmicutes*- als *Bacteroidetes*-Bakterien, bei normalgewichtigen Tieren ist das Verhältnis umgekehrt.

normal aufgezogener Labormäuse auf keimfrei lebende Tiere. Normalerweise besitzen keimfreie Mäuse ohne eigene Darmbakterien, die unter sterilen Bedingungen gehalten werden, nur sehr wenig Körperfett – und das, obwohl sie unbegrenzt Futter zur Verfügung haben. Das änderte sich jedoch schlagartig, wenn Mikroorganismen den Darm der Tiere besiedelten: Obwohl die Mäuse nicht mehr fraßen, stiegen ihre Fettvorräte an.

DIE ZEIT IM LABOR WAR EINE INSPIRIERENDE ERFAHRUNG

In einer klinischen Studie mit zwölf stark übergewichtigen Patienten konnte Ley kurz darauf zeigen, dass es noch einen weiteren Zusammenhang zwischen Mikroben und Körpergewicht gibt. Adipöse Menschen können demnach ähnlich wie Mäuse in ihrem Darm eine andere Mischung von Bakterien aufweisen als schlanke. In der Studie bestand der auffälligste Unterschied im Mengenverhältnis der zwei häufigsten Vertreter von Darmbakterien – dem Stamm der sogenannten *Firmicutes* und dem der *Bacteroidetes*. Die adipösen Patienten der Studie, so zeigte sich,

besaßen deutlich mehr *Firmicutes* und weniger *Bacteroidetes* als schlankere Menschen. Verloren sie ihre Pfunde, näherte sich die Zusammensetzung ihrer Darmflora der von Normalgewichtigen an.

Gordons Team ging daraufhin noch einen Schritt weiter. Dieses Mal übertrugen die Forscher das Darmmikrobiom von schlanken und von genetisch veränderten übergewichtigen Labormäusen auf das keimfreie Tiere. Und siehe da: Keimfreie Mäuse mit dem Mikrobiom eines fettleibigen Artgenossen wurden dicker als jene mit der Darmflora eines schlanken Tiers.

Das Ergebnis elektrisierte das gesamte Team. Zum ersten Mal hatten Forscher den Nachweis dafür, dass sich die Neigung zu Übergewicht von einem Tier auf ein anderes übertragen lässt – und zwar allein dadurch, dass man den Mix der Mikroben im Darm manipuliert. „Es war einer dieser ‚Oh Gott!‘-Momente. Wir waren vollkommen aus dem Häuschen“, verriet Jeffrey Gordon einem Reporter. Auch für Ley war die Zeit in Gordons Team eine besonders inspirierende Erfahrung, wie sie selbst sagt. „Ich hätte nie gegahnt, dass ich mich einmal an einer medizinischen Fakultät

bewerben würde. Doch die Entscheidung war eine der besten, die ich in meiner Laufbahn getroffen habe.“

Davon zeugt unter anderem eine Vielzahl bahnbrechender Arbeiten, die Ley in den vergangenen Jahren veröffentlicht hat. Sie fand beispielsweise heraus, dass sich während einer Schwangerschaft die Darmflora drastisch verändert, was sich unter anderem auf den Stoffwechsel der Mutter auswirkt und so die optimale Versorgung des Fötus sicherstellt. Und nicht zuletzt erforschte sie die Gene, welche die Zusammensetzung unseres Mikrobioms bestimmen.

FAMILIE UND BERUF IM EINKLANG

Nicht zuletzt ist Ruth Ley und Lars Angenent – den sie inzwischen geheiratet hat – durch den Wechsel zur biomedizinischen Forschung auch ein privates Kunststück geglückt. Seit ihrer Zeit in St. Louis haben beide Forscher nicht nur eine Familie gegründet – der gemeinsame Sohn ist inzwischen zehn Jahre alt –, Ley und Angenent haben es zudem geschafft, die nächsten Stationen ihrer Karriere stets gemeinsam

zu planen. 2008 zog Ley gemeinsam mit Mann und Sohn nach Ithaca, New York, wo beide an der dortigen Cornell University ihre Arbeit fortsetzten. 2013 wurde sie dort außerordentliche Professorin in der Abteilung für Molekularbiologie und Genetik.

Am Max-Planck-Institut in Tübingen wird Ley in den kommenden Jahren ein neues Programm für Mikrobiom-Forschung etablieren. Derzeit baut die Biologin dazu ihre Labore sowie neue Kooperationen mit anderen Forscherteams des Instituts und der medizinischen Fakultät der Universität Tübingen auf.

Ein Schwerpunkt ihrer künftigen Arbeit sind groß angelegte Studien, in denen Ley künftig Menschen unterschiedlicher Herkunft Darmbakterien entnehmen will. Anhand dieser Pro-

ben möchte sie untersuchen, wie Gene, Immunsystem und Umwelteinflüsse das menschliche Mikrobiom beeinflussen. Mit ihrem Mann, der inzwischen

eine Humboldt-Professur an der Universität Tübingen angetreten hat, kann das gemeinsame Forscherleben nun also weitergehen. ◀

GLOSSAR

Firmicutes/Bacteroidetes: Zwei Stämme innerhalb der Bakterien mit meist unterschiedlich aufgebauten Zellwänden. Im Darm wandeln firmicute Bakterien Ballaststoffe in kurzkettsige Fettsäuren um, die vom Körper aufgenommen werden können. Der Stamm der *Bacteroidetes* baut dagegen komplexe Zuckerketten ab. Zusammen haben beide den größten Anteil am Mikrobiom des Darms.

Mikrobiom: Die Gesamtheit aller Mikroorganismen, die ein Lebewesen besiedeln. Den Menschen beispielsweise nutzen zehnmals mehr Mikroben als Lebensraum, als sein Körper Zellen hat. Man schätzt, dass jeder Mensch von etwa 100 Billionen Bakterien bewohnt wird. Die meisten davon leben im Darm, aber auch auf der Haut, in der Mund- und Nasenhöhle sowie den Geschlechtsorganen kommen solche Untermieter vor. Oft besteht zwischen Mensch und Mikrobe eine Symbiose zum beiderseitigen Nutzen. Manche Bakterien sind aber auch lediglich „Tischgenossen“, die weder schaden noch nützen.

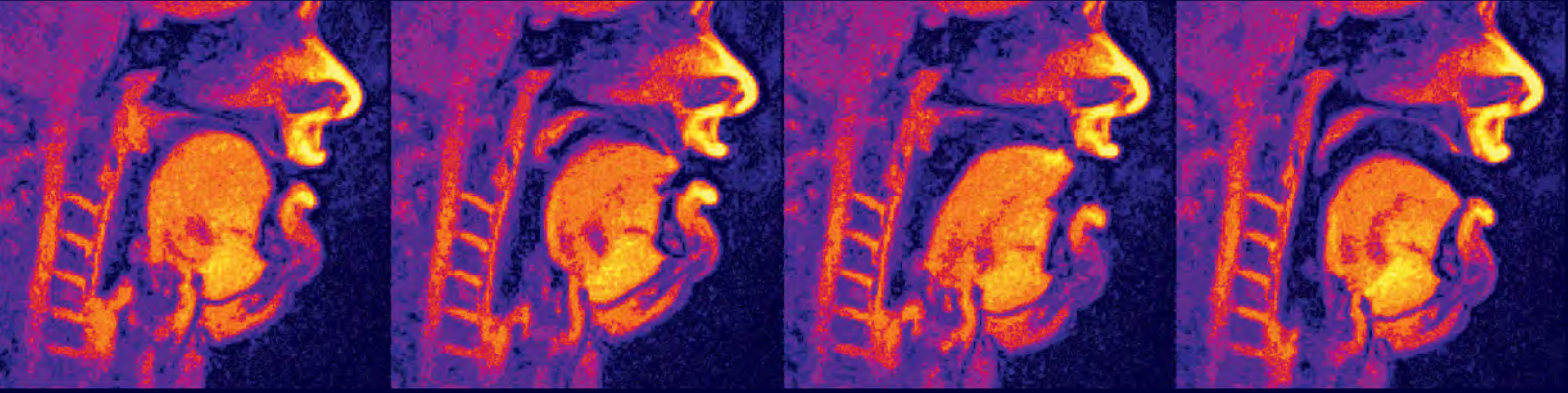
FÜR HÖCHSTE ANSPRÜCHE DAS VOGEL CONVENTION CENTER IST WÜRZBURGS INNOVATIVE EVENT-LOCATION



Hier, wo sich früher Druckmaschinen lautstark drehten, sorgen heute hochmoderne Wandakustik und geräuschfreie Klimatisierung dafür, dass selbst allerfeinste Töne ihren Weg finden. Vor der Kulisse großzügiger Industriearchitektur stehen Ihnen auf über 4.000 qm Gestaltungsräume zur Verfügung, in denen Sie selbst ausgefallenste Konzepte in Szene setzen können. Das macht unser VCC zu einem einzigartig wandelbaren Podium, das ungeahnte Perspektiven eröffnet.

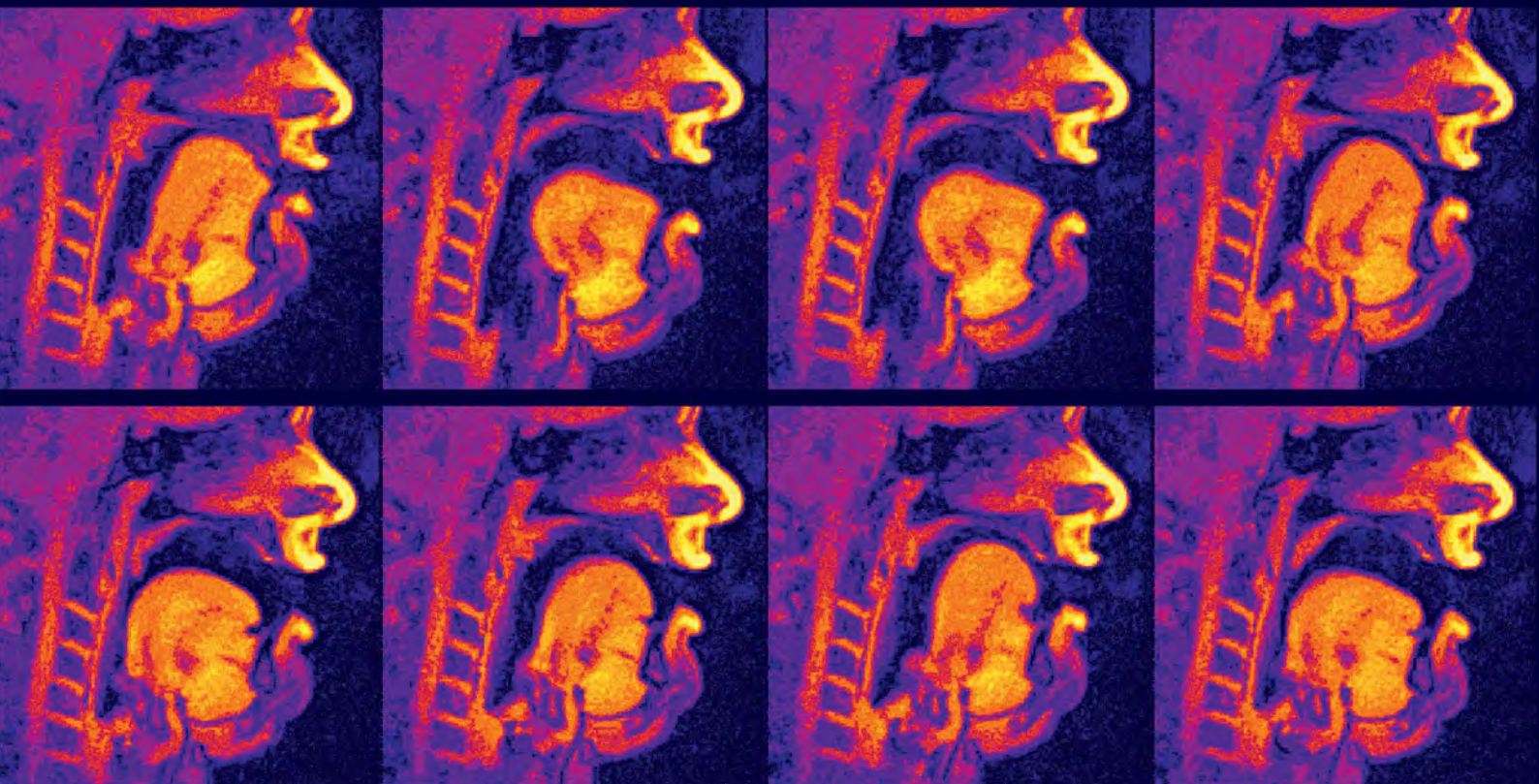
Lassen Sie sich inspirieren und sprechen Sie uns an!
Wir sind jederzeit für Sie da!

 **VCC** | Vogel
Convention
Center
www.vcc-wuerzburg.de



Liveschaltung zum Krankheitsherd

Dass Ärzte heute viele Krankheiten besser diagnostizieren können als vor 30 Jahren, verdanken sie und ihre Patienten der Magnetresonanztomografie – und nicht zuletzt **Jens Frahm**. Die Forschung des Direktors der gemeinnützigen Biomedizinischen NMR Forschungs GmbH am **Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie** in Göttingen hat die Aufnahmen aus dem Körper entscheidend vereinfacht. Jetzt bringt das Göttinger Team den Bildern sogar das Laufen bei.



Gesangsstudie: Die Flash-II-Technik ermöglicht es, mit einer Magnetresonanztomografie etwa die Zungenbewegungen eines Sängers zu verfolgen. Sie erleichtert es auch, Sprechstörungen zu diagnostizieren.

TEXT **ROLAND WENGENMAYR**

Sollten Sie in der Röhre eines Magnetresonanztomografen liegen, so können Sie dankbar sein, dass die Untersuchung nur Minuten und nicht Stunden dauert (obwohl ein Körperteil dabei aus vielen verschiedenen Perspektiven aufgenommen wird). Dafür sorgten die Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie in den 1980er-Jahren mit ihren Beiträgen zur Magnetresonanztomografie (MRT). Die erste Generation dieser Geräte, die ohne schädigende Strahlung ins Innere von Menschen blicken, benötigte für ein einziges Bild mehrere Minuten. Überdies musste man die ganze Zeit still liegen, damit die Aufnahmen scharf wurden.

Im Prinzip glich diese Periode der Anfangszeit der Fotografie, als Menschen für ein scharfes Bild lange still halten mussten. Doch die Fototechnik entwickelte sich rasant weiter und brachte schließlich sogar Filme hervor. Einer vergleichbaren Entwicklung hin zum Bewegtbild folgt gerade die Magnetresonanztomografie, bekannt auch unter ihrem alten Namen Kernspintomografie. Und Jens Frahm gehört mit seinen Mitarbeitern seit rund vier Jahrzehnten zu den Forschern, die diese Entwicklung kräftig vorantreiben.

Eine entscheidende Entdeckung der Göttinger Forscher war die Flash-Technik, die ab 1985 die Messzeit einer einzelnen Aufnahme drastisch ver-

kürzte. Damit verhalf sie der MRT erst zum breiten Durchbruch mit heute weltweit mehr als 30 000 Geräten und 100 Millionen Untersuchungen im Jahr. Die Göttinger trugen dazu bei, dass sich mit der Technik heute in relativ kurzer Zeit und sogar in drei Dimensionen Aufnahmen vom Körperinneren machen lassen und mithilfe der chemischen Information der MRT-Signale genaue Einblicke in Stoffwechselfvorgänge im Gewebe gewonnen werden können. Damit lassen sich etwa Hirnerkrankungen besser verstehen.

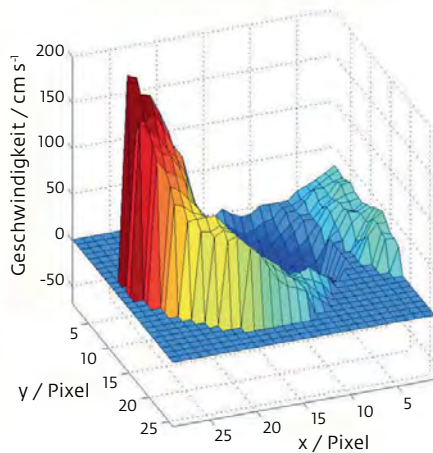
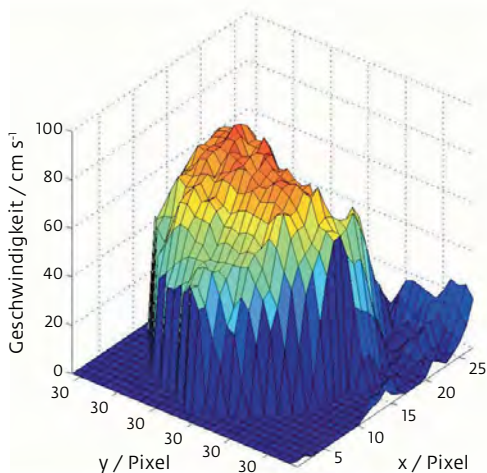
LEBHAFTES INTERESSE AN MENSCHLICHEN SCHICKSALEN

Seit einigen Jahren bringen sie nun den MRT-Bildern das Laufen bei: Ihre Echtzeit-MRT ermöglicht Livevideos aus dem Körper. So lassen sich schlagende Herzen, Schlucken und Sprechen, aber auch Zungenbewegungen beim Spielen von Blasinstrumenten verfolgen. Dies sind nur einige Beispiele aus Frahms Forschung. Der Physiker verbindet ein warmherziges Interesse an menschlichen Schicksalen mit der Faszination für eine Medizintechnik, deren Weiterentwicklung er sein Forscherleben gewidmet hat.

Die Magnetresonanztomografie, wie man sie heute im klinischen Einsatz erleben kann, ist immer noch keine wirklich schnelle Methode, um Bilder aus

dem Körperinneren zu gewinnen. Dafür bietet sie den großen Vorteil, dass sie den Körper nicht mit schädigender Strahlung belastet. Da Gewebe stark wasserhaltig sind, kann die MRT-Methode einen weiteren Vorteil ausspielen: Sie arbeitet mit Signalen aus dem Wasser, genauer: aus den Kernen von Wasserstoffatomen. Das ermöglicht es, Gewebe wie Knochen, Muskeln und Organe anhand ihres verschiedenen Wassergehalts zu unterscheiden. Beim Röntgen hingegen hat es eine lange Entwicklung gebraucht, bis dieses erste Durchleuchtungsverfahren der Medizingeschichte nicht nur Knochen, sondern auch Weichteile darstellen konnte – oftmals allerdings nur mithilfe von Kontrastmitteln. Trotzdem war die erste bildgebende Medizintechnik ein solcher Fortschritt, dass Wilhelm Conrad Röntgen für die Entdeckung der nach ihm benannten Strahlung im Jahre 1901 den ersten Nobelpreis für Physik erhielt. Schon damals verhalf also die Grundlagenforschung der Medizin zu ganz neuen Untersuchungsmöglichkeiten, und dies möchte Jens Frahm heute auch mit seiner Forschung zur Magnetresonanztomografie erreichen.

Eigentlich hat der Direktor der Biomedizinischen NMR Forschungs GmbH am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie bereits das Alter erreicht, in dem Professoren emeritiert werden. „Ich bin schon in der Verlängerungs-



Oben Dass die Untersuchungen im Magnetresonanztomografen heute vergleichsweise schnell vonstattengehen, ist Jens Frahm und seinen Mitarbeitern zu verdanken.

Links Mit einer Echtzeit-MRT lässt sich messen, wie schnell das Blut durch die Hauptschlagader fließt. Das Geschwindigkeitsprofil für einen Aderquerschnitt (x- und y-Achse) knapp oberhalb des Herzens zeigt, wie gut die Herzklappe funktioniert. Bei einer gesunden Aortenklappe (links) fließt das Blut in der Mitte des Blutgefäßes am schnellsten (rot). Öffnet sich die Klappe nicht richtig, fließt das Blut in der Gefäßmitte langsam (blau), wird aber mit hoher Geschwindigkeit an der Gefäßwand vorbeigesprengt, was diese stark belastet.

phase“, scherzt er. Denn die Max-Planck-Gesellschaft sorgte dafür, dass Frahm seine Arbeit in den kommenden drei Jahren weiterführen kann.

Damit unterstützt sie einen Forscher, der 2016 in die „Hall of Fame der deutschen Forschung“ aufgenommen und mit Preisen überhäuft wurde. Frahm bescherte der Max-Planck-Gesellschaft zudem das lukrativste Patent ihrer Geschichte. Doch bis die Lizenzgebühren aus diesem Patent flossen, gab es um die Flash-Technik einen erbitterten Patentstreit, welchen Frahm mit eisernem Willen ausfocht – was man ihm bei seinem überaus umgänglichen und freundlichen Wesen kaum zutraut.

Mitte der 1980er-Jahre beschleunigten die Göttinger Forscher um Jens Frahm die Untersuchungen mit MRT-Geräten durch das Flash-Verfahren um den Faktor hundert. Klar, dass alle Medizintechnikfirmen diese Methode verwenden wollten – General Electric, Philips, Siemens und Co. sprangen sofort auf den Zug auf. Doch dann ging der Krimi los. Die Firmen benutzten zwar gern die von Frahms Team entwickelte Technik, weigerten sich jedoch, das Patent der Göttinger anzuerkennen und der Max-Planck-Gesellschaft Lizenzgebühren zu bezahlen.

Zum Glück standen Frahm die Patentexperten der heutigen Max-Planck-Innovation GmbH zur Seite. Der damals

verantwortliche Mitarbeiter, Bernhard Hertel, führte zusammen mit Frahm sieben Jahre lang Prozesse gegen die Gerätehersteller. Frahm musste dabei den eigenen Anwälten die technischen Feinheiten des Flash-Verfahrens nahebringen. „Für einen Wissenschaftler war es spannend, das Schauspiel zu beobachten“, sagt Frahm schmunzelnd. Die Gegenseite fuhr Dutzende von Anwälten auf. „Auch mit gefälschten Dokumenten wurde gearbeitet“, sagt der Physiker, „sogar einen Chemie-Nobelpreisträger haben sie als wissenschaftlichen Experten eingekauft.“ Doch der kannte sich nicht gut aus mit den bildgebenden Varianten der Magnetresonanztomografie, und um diese ging es. Am Ende siegte



die Max-Planck-Gesellschaft. Drei Millionen Mark kostete der Prozess bis zum letzten Urteil 1993, dafür brachten die Lizenzgebühren für das Flash-Patent der MPG insgesamt 155 Millionen Euro ein. Dazu kamen noch weitere Patente aus Frahms Forschung, die ebenfalls einige Millionen Euro einspielten.

Um verstehen zu können, warum Flash ein derartiger Durchbruch war, muss man sich das Grundprinzip der Magnetresonanztomografie anschauen. Die Signale kommen direkt von den Atomkernen des Wasserstoffs, der in verschiedenen Geweben in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommt. Der Wasserstoffkern besteht aus einem einzigen Proton, das sich in einem Magnetfeld wie ein winziger Magnet verhält. Ein Magnetresonanztomografie-Gerät besitzt ein solches starkes Magnetfeld. Der Magnet, der es erzeugt, ist in der Regel die große Röhre, in die man geschoben wird. Das Magnetfeld richtet die Protonen im Körper wie kleine Kompassnadeln aus. Für die eigentliche Messung ist eine UKW-Antenne zuständig, die man zum Beispiel bei Untersuchungen des Brustraums auf den Oberkörper gelegt bekommt. Die schickt einen kurzen Radiofrequenzpuls in den Körper, der die Protonen aus ihrer „Nullstellung“ herauskippt.

Woher kommt nun die Information über die Gewebeeigenschaften? Nach-

dem die Protonen gekippt wurden, kehren sie allmählich in ihr Gleichgewicht zurück, wie Kompassnadeln, die sich nach Norden ausrichten. Dabei geben sie die aus dem Radiopuls aufgenommene Energie wieder ab, und dieses Signal nimmt die nun auf Empfang geschaltete UKW-Antenne auf. Die entscheidende Information steckt, einfach gesagt, in der Frequenz und der Dauer des Signals, die von der direkten Nachbarschaft des Protons, also dem lokalen Gewebe, beeinflusst wird. Aus der Frequenz kann das MRT-Gerät das Bild errechnen, aus der sogenannten Relaxationsdauer unterschiedliche Gewebe erkennen.

EIN BILD ENTSTEHT AUS VIELEN EINZELMESSUNGEN

Nun ist das Signal der Protonen grundsätzlich umso stärker, je weiter diese aus der Nullstellung gekippt werden. Das war zumindest das Credo der Anfangszeit der MRT. Überdies muss ein MRT-Gerät eine Vielzahl von Einzelmessungen machen, um ein einziges Bild aufbauen zu können. Das Problem dabei: Protonen, die für eine Messung sehr stark gekippt wurden, brauchen relativ lange, bis sie die Nullstellung wieder erreicht haben. Das erforderte lange Wartezeiten zwischen den einzelnen Messungen.

Die Göttinger umschifften dieses Problem mit zwei Tricks. Das damals allgemein etablierte Verfahren arbeitete mit zwei Radiopulsen, denen ein Echosignal folgte. Mit Flash reduzierten die Göttinger die Messung auf nur einen Puls. Für noch mehr Tempo sorgte der zweite Trick: Die Flash-Technik lenkt die Protonen nur ein kleines bisschen aus. Damit lässt sich die nächste Messung unmittelbar im Anschluss vornehmen. „Wir haben also aus Sicht der Lehrmeinung zweimal etwas falsch gemacht“, sagt Frahm amüsiert. Aber gerade deswegen produzierte Flash saubere, scharfe Bilder – in einem Hundertstel der ursprünglichen Aufnahmezeit.

Seither haben die Göttinger Forscher ihre Technik sogar so weit entwickelt, dass die MRT den Sprung vom stehenden Bild zum Film machen kann. Kurze Sequenzen aus MRT-Einzelbildern sind zwar schon im klinischen Bereich etabliert, allerdings nur bei periodisch ablaufenden Vorgängen wie dem Herzschlag. Bislang werden derartige Filme in der Praxis aus einer Reihe von Messungen, die einige Minuten dauern können, nachträglich zusammengesetzt. Bei Herzuntersuchungen synchronisiert man die einzelnen MRT-Daten mit einem zugleich aufgenommenen Elektrokardiogramm (EKG). Mit diesem Trick kann der Computer anschließend die Bilder korrekt zur pas-

» Der Flaschenhals auf dem Weg zur Echtzeit-MRT war der enorme mathematische Aufwand bei der Bildberechnung.

senden Phase des Herzschlags in das entstehende Video einsortieren. Da sich MRT und EKG gegenseitig stören können, ist die Aufnahme für Fehler anfällig. Außerdem müssen die Patienten zusätzlich mit EKG-Elektroden verkabelt werden – und sie müssen auf Kommando den Atem anhalten, damit die Bilder scharf werden.

Dieser Aufwand und solche Unannehmlichkeiten entfallen in der von Frahms Team entwickelten Echtzeit-MRT. Sie liefert ohne EKG ganz direkt und live bewegte Bilder aus dem Körper. Die Patienten dürfen frei atmen, denn die Technik zeichnet 30 oder mehr schnelle Bilder pro Sekunde auf. Dank der weiterentwickelten Form der Flash-Technik kann das Göttinger Team Livevideos aus dem Körperinneren mit 30, 55, im Extremfall sogar schon 100 Einzelbildern pro Sekunde machen.

Der Flaschenhals auf dem Weg zur Echtzeit-MRT war der enorme mathematische Aufwand bei der Bildberechnung. Ein Computer muss die Messungen der MRT in Echtzeit, also fast ohne Verzögerung, in ein hochauflösendes

Video umwandeln. Wenn er dabei jedes Bild komplett neu berechnet, dauert das viel zu lange. Daher erstellt die Göttinger Technik die Bilder aus ganz wenigen Messdaten, die sich zudem viel schneller aufnehmen lassen.

MIT EINEM TRICK VERKÜRZEN FORSCHER DIE RECHENZEIT

Das Verfahren, das die Datenreduktion ermöglicht, ist entfernt mit einer Technik für schnelle Videoübertragungen verwandt. Dabei analysieren Algorithmen diejenigen Bereiche aus dem Bild einer Serie, die sich gegenüber dem vorhergehenden Bild geändert haben. Nur diese Veränderungen werden dann übertragen, was erhebliche Datenmengen einspart. Die Göttinger verfolgen eine ähnliche Strategie. Dabei nutzt der Computer, einfach gesagt, die gleich bleibenden Informationen der vorhergehenden Bilder und berechnet für das aktuelle Bild lediglich die veränderten Bildbereiche.

Mit diesem Trick verkürzte Frahms Team die Rechenzeit, und die Forscher

reduzierten die zu messende Datenmenge pro Bild auf wenige Prozent, dennoch sind diese MRT-Videobilder scharf und korrekt. Federführend mitentwickelt haben das Verfahren zwei ehemalige Doktoranden, Martin Uecker, heute Professor an der Universitätsmedizin Göttingen, und Shuo Zhang, heute Mitarbeiter bei Philips in Singapur.

Wie gut die Flash-II-Technik funktioniert, demonstriert Frahm zusammen mit zwei Mitarbeitern im Keller des Instituts. Dort steht ein MRT-Scanner, wie man ihn aus Krankenhäusern kennt. Dirk Voit, ebenfalls Physiker am Göttinger Institut, schiebt einen Doktoranden in die Röhre. Dann begeben wir uns in den Kontrollraum. Voit startet das Programm mit einigen Klicks. Im abgeschirmten Raum hinter dem Fenster wacht das MRT-Gerät hörbar auf, und dann bauen sich die ersten Bilder aus dem Oberkörper unseres Probanden auf.

„Wir machen erst Schnittbilder und suchen das Herz“, erläutert Frahm das Geschehen auf dem Bildschirm. Nach weiteren Justierungen sagt Frahm zufrieden: „Jetzt haben wir den Vierkam-



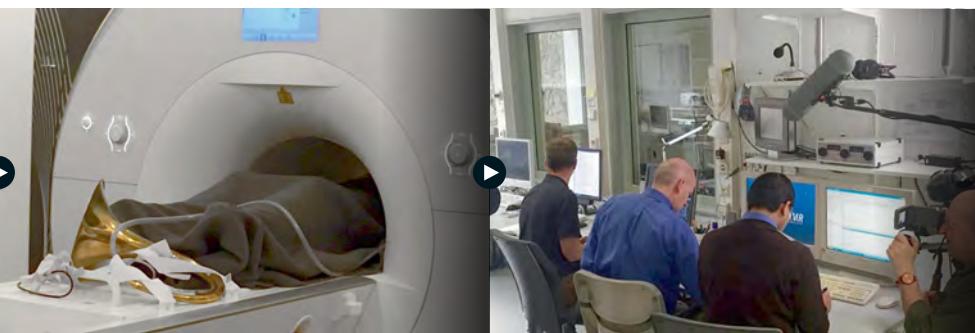
Fotos: sarah-willis.com



Fotos: Frank Vinken (oben); sarah-willlis.com (unten)

Oben Jens Frahms Team verfolgt verschiedene Ideen, um die MRT weiterzuentwickeln, unter anderem um Echtzeitaufnahmen aus dem Körperinneren zu ermöglichen. Hier diskutieren die Forscher einen Vorschlag von Zhengguo Tan.

Unten Sarah Willis, Hornistin der Berliner Philharmoniker, gehört zu den Musikern, deren Zungenbewegungen Peter Iltis, Professor am Gordon College in Massachusetts (ganz linkes Bild), mit einer Echtzeittomografie analysiert. Zu diesem Zweck wird Willis' Kopf mit einem Helm fixiert, während sie in der MRT-Röhre liegt und über einen Schlauch in ein Horn aus einer nicht-magnetischen Legierung bläst (Link zu einem Video des Projekts: <http://sarah-willlis.com/episodes/15-music-and-science/>)



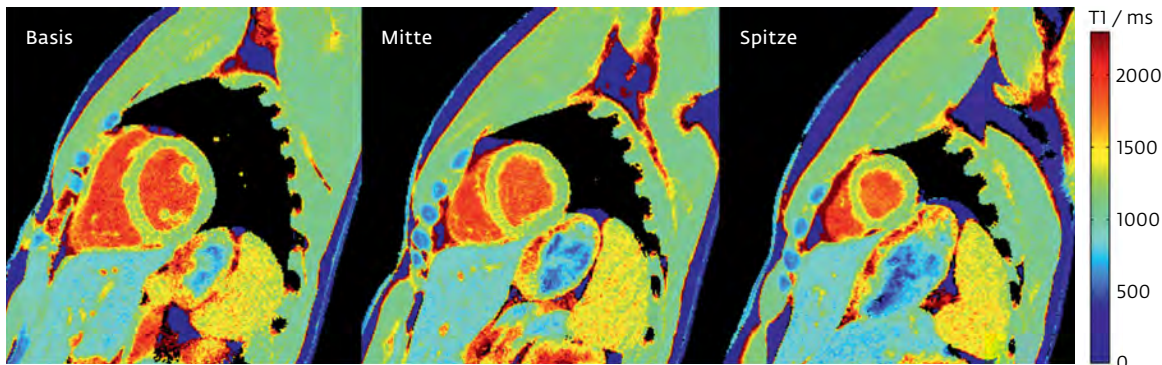
merblick, der sozusagen flach durch das gesamte Herz geht.“ Selbst ein Laie kann die vier pumpenden Herzkammern klar erkennen, auch das strömende, wirbelnde Blut. Nach kurzer Zeit wird das Video gestochen scharf und zeigt Details in Millimeterauflösung.

Während die Liveübertragung aus dem schlagenden Herzen läuft, erläutert Jens Frahm, worin gerade beim Blick ins Herz der große Fortschritt besteht, den die Flash-II-Technik gegenüber der bislang gängigen, mit einem EKG synchronisierten Herz-MRT bringt. „Wissen Sie, dass das Herz gar nicht perfekt schlagen darf?“, fragt er: „Wenn es das täte, würde das mechanische Probleme aufwerfen, und es würde nie ein ganzes Leben lang durchhalten.“ Der Forscher erklärt weiter: „Jeder Herzschlag ist also ein bisschen kürzer oder länger, und das steht bereits im Widerspruch zu dem, was bei der üblichen EKG-synchronisierten Herz-MRT verlangt wird.“ Das Herz müsste eigentlich maschinenhaft gleichmäßig schlagen, um zur technischen Synchronisation zu passen. „Bei allen Herzrhythmusstörungen läuft das natürlich schief“, sagt Frahm: „Und das sind ja gerade die Patienten, die man untersuchen will.“

EIN WENIG ANANASSAFT ALS KONTRASTMITTEL

Deshalb sind auch zunehmend Kliniken an der Echtzeit-MRT aus Göttingen interessiert. Doch die Hersteller der MRT-Geräte zögern noch, denn jede neue Technik erfordert teure klinische Erprobungen und Zertifizierungen. Immerhin haben Jens Frahm und seine Mitarbeiter die Flash-II-Technik in einer Kooperation mit der Göttinger Universitätsmedizin inzwischen schon eingesetzt, um damit ersten Patienten zu helfen. Zum Beispiel Menschen mit einer Schluckstörung. Mit ein bisschen Ananassaft als Kontrastmittel zeigen die Livevideos, was schiefliegt, wenn die Patienten schlucken.

Ein verwandtes Problem haben professionelle Blechbläser, die aufgrund von Zungenverkrampfungen nicht mehr



Gewebekarte aus dem Brustkorb: Wie schnell die Kernspins von Wasserstoffatomen in ihre Ausgangsposition zurückkehren, nachdem sie mit einem Radiopuls angeregt wurden, hängt vom Wassergehalt des Gewebes ab. Anhand der Relaxationszeiten T1 lassen sich daher Gewebearten differenzieren. Die seitlichen Aufnahmen des Brustkorbs zeigen die Basis, die Mitte und die Spitze des Herzens, während das Herz entspannt ist. Darin sind die fast runde Wand der Herzkammer hellgrün und das Blut in der Kammer rot dargestellt. Die Skelettmuskeln erscheinen grün, die Leber grünblau und Fettgewebe blau.

richtig spielen können. Dass Flash II auch ihnen helfen kann, hat sich eher zufällig herausgestellt: Frahms Team zeichnete in einem Projekt die Spieltechnik professioneller Hornspieler auf, damit die MRT-Videos für die Ausbildung verwendet werden können. Dazu schoben die Göttinger Forscher mehrere Musiker mit einem unmagnetischen Naturhorn ohne Ventile in den MRT-Scanner und ließen sie 30 festgelegte Grundübungen blasen. Die schnellen Zungenbewegungen mussten die Forscher mit 55 Bildern pro Sekunde aufnehmen.

„Es zeigte sich, dass selbst Elitemusiker dabei nicht immer das Gleiche machen“, sagt Frahm: „Das liegt daran, dass wir Menschen im hinteren Bereich der Zunge keine Sensoren haben, um deren genaue Stellung zu kontrollieren.“ Wenn die Musiker aber selbst nicht genau wissen, was ihre Zunge tut, hat dies natürlich Konsequenzen für ihren Unterricht. Das Studium der Göttinger Filme soll nun helfen, die richtige Spieltechnik zu vermitteln.

Im Laufe dieses Projekts stießen die Göttinger auf den Fall eines Musikers aus Kalifornien, der Sprechprobleme hatte und auch nicht mehr richtig spielen konnte. „Wir untersuchen mit der Universitätsmedizin Göttingen auch Verkrampfungen beim Sprechen oder Stottern“, sagt Frahm. Im MRT-Video zeigte sich, dass der Musiker seine Zun-

ge beim Spielen völlig anders als andere Hornisten positionierte. Einfach ändern konnte er das aber nicht. Frahms Gruppe kam daher auf die Idee, ihm in der MRT seine eigenen Liveaufnahmen in Echtzeit zurückzuprojizieren. „Die visuelle Kontrolle war so stark“, berichtet Frahm, „dass der Musiker die richtige Zungenhaltung sofort einüben konnte.“ Diese Erfahrung führte Frahms Team zu einem seiner aktuellen Projekte. Dabei untersuchen die Forscher, wie gut sich die visuelle Rückkopplung für

die Therapie von Patienten mit Sprechstörungen und auch von Blechbläsern mit Zungenverkrampfungen eignet.

Die Möglichkeit, mit Grundlagenforschung Menschen direkt und praktisch helfen zu können, motiviert Jens Frahm seit vier Jahrzehnten. Und nun will er den MRT-Bildern in Kliniken unbedingt Beine machen. „Ich will das Thema noch durchsetzen!“, sagt der Forscher. Damit Ärzte künftig per Live-schaltung verfolgen können, was im Körper falsch läuft. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Die Flash-Technik hat den Zeitaufwand für Untersuchungen mit der Magnetresonanztomografie auf ein Hundertstel reduziert, sodass dieses Bildgebungsverfahren heute weit verbreitet ist, um unterschiedliche Gewebearten abzubilden.
- Die Untersuchungen wurden durch die Flash-Technik einfacher, weil diese dank der Forschung von Jens Frahms Gruppe nur noch einen UKW-Puls pro Messung benötigt und Messungen in viel kürzerem Zeitabstand hintereinander möglich sind.
- Indem die Göttinger Forscher die Menge der zu messenden Daten und damit auch den Aufwand bei der Bildberechnung verringerten, ermöglichen sie Livevideos aus dem Körper. Das hilft etwa bei der Diagnose von Herzkrankheiten, lässt sich aber auch zur Therapie von Patienten mit Sprechstörungen und Musikern mit Zungenverkrampfungen einsetzen.

GLOSSAR

Magnetresonanztomografie: Die Technik nutzt den Kernspin von Wasserstoffatomen. Der Kernspin ist eine quantenmechanische Eigenschaft und macht die Atome zu winzigen Stabmagneten. Wie sie sich in einem äußeren Magnetfeld verhalten, hängt von ihrer chemischen Umgebung ab. Mit dem Bildgebungsverfahren lassen sich die einzelnen Gewebearten differenzieren, weil sie unterschiedlich viel Wasser enthalten.

Mein gen

kontrovers

Die auflagenstärkste hochschul- und
wissenschaftspolitische Zeitschrift Deutschlands.
Leseprobe unter: www.forschung-und-lehre.de
oder per Fax 02 28 902 66-90

**Forschung
& Lehre**

ALLES WAS DIE WISSENSCHAFT BEWEGT



Warum Tiere auf Schwärme fliegen

In der Masse mitzuschwimmen, galt bis vor Kurzem als wenig erstrebenswert. Heute spricht jeder von der Schwarmintelligenz. Aber sind Schwärme wirklich schlauer als der Einzelne? Und nach welchen Regeln funktionieren sie, gibt es überhaupt Regeln? **Iain Couzin** vom **Max-Planck-Institut für Ornithologie** in Radolfzell bringt mithilfe des Computers Ordnung in das vermeintliche Chaos der Schwärme.

TEXT **KLAUS WILHELM**

Pavian-Verbände sind an sich streng hierarchisch, mit einem Alphamännchen an der Spitze. Es scheint jedoch auch Ansätze von Demokratie zu geben – wenn die Tiere etwa auf Futtersuche sind. „In der Gruppe entscheiden selbst uninformierte Tiere mit, wo es Futter geben könnte und welchen Weg der Verband einschlagen wird. Das dominante Männchen hat möglicherweise einen Vorteil davon, denn so kann es bei der Futtersuche von den Entscheidungen der anderen profitieren“, sagt Iain Couzin, dessen Abteilung an der Universität Konstanz forscht.

An der Futterstelle ist das Alphamännchen allerdings wieder der unbestrittene Herrscher, und die übrigen

Gruppenmitglieder müssen mit dem vorliebnehmen, was es übrig lässt. „Obwohl die Tiere aus egoistischen Motiven heraus handeln, scheinen demokratische Prinzipien am Werk zu sein“, erklärt der Max-Planck-Wissenschaftler.

AUS KINDLICHER NEUGIER ZUM SPITZENFORSCHER

Couzins Forscherherz schlägt höher, wenn er Geschichten wie diese erzählt. Er wirkt dann ein wenig wie ein Junge, der gerade dabei ist, die Welt zu entdecken. Dabei betreibt der Biologe seit zwei Jahrzehnten Spitzenforschung und macht regelmäßig verblüffende Entdeckungen. Seine Leidenschaft: Schwärme – die bezauberndste Form



In der Natur bilden Wanderheuschrecken Schwärme von mehr als einer Milliarde Individuen, wenn zu viele Tiere auf engem Raum leben. Iain Couzin möchte herausfinden, wodurch das Verhalten solcher Schwärme bestimmt wird. Seine Analysen haben ergeben, dass die Tiere Angst vor dem Gefressenwerden antreibt.

» Ein Fischschwarm ist ein sich selbst organisierendes System – Entscheidungen beruhen auf den Bewegungen der einzelnen Tiere.

des Kollektivs. „Die Schönheit der Schwärme hat mich bereits als Kind fasziniert“, erzählt der 42-jährige Schotte. „Ich wollte schon immer wissen, warum und wie sich Tiere in großen Scharen zusammenfinden.“

Die Weisheit der Schwärme ist heute sprichwörtlich. Noch vor 50 Jahren währten seriöse Wissenschaftler telepathische Kräfte am Werk, wenn etwa, wie von Zauberhand gesteuert, Tausende Fische gemeinsam ihre Bahnen ziehen. Selbst wenn ein Schwarm spontan die Richtung wechselt, bleibt die Ordnung erhalten, fast ohne Kollisionen. Die Tiere koordinieren ihre Bewegungen deutlich besser als Autofahrer im Straßenverkehr. Vögel und Insekten besitzen ähnliche Fähigkeiten.

Heuschrecken zum Beispiel: „Endlich haben wir wieder welche im Labor!“ Man merkt Couzin richtig an, wie sehr ihn das freut. Auf die Tiere musste er lange verzichten – zu lange für seinen Geschmack.

AUF HEUSCHRECKENFANG IN DER SAHARA

Dabei interessiert er sich für verschiedenste Verhaltensweisen. Das Schwarmverhalten der Insekten hat es ihm aber besonders angetan. Vielleicht auch, weil ihm Heuschrecken zu spannenden Forschungsergebnissen verholfen haben.

Dafür hätte er allerdings fast einen hohen Preis bezahlt: Als er vor Jahren in der Sahara wochenlang nach den le-

gendären Schwärmen der Tiere suchte, wäre er beinahe verhungert. „Ich habe halluziniert“, erinnert er sich, „und dachte, ich würde sterben.“ Am Ende blies ein Sandsturm alle Insekten weg, und Couzin verließ Afrika ohne Daten.

Angesichts dieser Erfahrung verlegte er sich darauf, die Insekten im Labor zu erforschen. Mit seinem Team errichtete er einen Rundkurs, auf dem sich die Heuschrecken nach Belieben bewegen konnten. Jeden Morgen entließen die Wissenschaftler bis zu 120 Tiere in den perfekt gesicherten Kurs. Regelmäßig waren dann bis zum Abend einige verschwunden.

„Tagelang ging das so. Ich fing schon an, an meinem Verstand zu zweifeln“, sagt Couzin. Bis er Videomitschnitte vom Geschehen in der Arena genauer betrachtete und entdeckte: Die Tiere fressen sich gegenseitig auf. Heuschrecken sind nämlich Kannibalen. Dabei hatten Fachleute sie für Vegetarier und kooperativ gehalten, wenn sie sich urplötzlich zu riesigen Schwärmen formieren und als eine der großen biblischen Plagen ganze Landstriche kahl fressen.

„Mit Kooperation hat ihr Verhalten aber nichts zu tun. Vielmehr werden sie von der Angst getrieben, von anderen Schwarmmitgliedern gefressen zu werden“, erklärt Couzin. Zusammen nämlich viele Insekten zusammen, finden sie nicht mehr genügend Nahrung. Deshalb beginnen sie, übereinander herzufallen. Jedes Tier versucht, seinen Vordermann anzuknab-



Couzin und sein Doktorand Jake Graving untersuchen das Schwarmverhalten von Heuschrecken im Labor. Dafür haben die Forscher eine ringförmige Bahn gebaut, aus der die Tiere nicht entweichen können.

Foto: Axel Griesch



Wie in einer Zoohandlung reiht sich im Fischkeller der Universität Konstanz Aquarium an Aquarium. Hier halten die Forscher vor allem Moderlieschen und Goldbrassen, um an ihnen das Schwarmverhalten von Fischen zu untersuchen.

bern und gleichzeitig nicht von hinten verspeist zu werden. Das Resultat ist eine kannibalistische Horde auf einem Gewaltmarsch.

Diese Entdeckung gilt in Fachkreisen als bahnbrechend. Iain Couzin und seine Kollegen haben weitere Hinweise für die Richtigkeit der Theorie gefunden, indem sie die Nerven im Hinterleib der Insekten durchtrennten. Dadurch spürten diese die Bisse von hinten nicht mehr. Schlagartig ging den Heuschrecken die Fähigkeit verloren, einen Schwarm zu bilden.

Später hat Couzins Team mithilfe einer Computersimulation herausgefunden, dass die Heuschrecken Gesetzmäßigkeiten aus der Teilchenphysik folgen. Die Tiere ähneln dabei einem „fließenden magnetischen System“. Ihre Körper richten sich aneinander fast wie kleine Magneten aus. Änderungen der Position und Orientierung eines „Teil-

chens“ können Positionsänderungen der Nachbarn nach sich ziehen. So synchronisieren sich die einzelnen Tiere eines Schwarms miteinander über Kilometer hinweg.

ANALYSEN IN FREILAND, LABOR UND COMPUTER

Das Beispiel zeigt, wie unkonventionell Couzin an seine Studien herangeht: mit einem ganzheitlichen Ansatz, wenn man so will. Er analysiert das Verhalten der Tiere in der Wildnis, im Labor und in virtuellen Welten und gewinnt so umfassendere Erkenntnisse. Dazu braucht er Biologen, Informatiker, Physiker und Mathematiker. „Computerexperten und Biologen müssen wir dann beibringen, die gleiche Sprache zu sprechen“, sagt der Wissenschaftler.

Denn nur gemeinsam kann das Team beispielsweise Tierschwärme im

Rechner nachstellen. Solche Computermodelle verfolgen jedes Individuum eines Schwarms und rekonstruieren die Blickfelder der Tiere. Auf diese Weise wollen die Wissenschaftler die Regeln entschlüsseln, die den Schwarm zusammenhalten.

Neben den Heuschrecken fasziniert Couzin noch eine weitere schwarmbildende Organismengruppe: Fische. Die aus Nordamerika stammenden Goldbrassen etwa studiert er als sieben Zentimeter lange Jungfische. Im Hellen schwimmen sie im Schwarm; ist es dunkel, verharren sie regungslos. Im Kollektiv folgen sie festen Regeln: Sie suchen die Nähe von Artgenossen, ohne mit ihnen zusammenzustoßen. Ein Tier am Rand des Schwarms reagiert oft als Erstes auf einen Reiz und beeinflusst damit maßgeblich die Bewegung der ganzen Gruppe. Außerdem neigen die Fische dazu, sich der Mehrheit anzuschließen. >



Moderlieschen ziehen in riesigen Becken ihre Bahnen. Kameras zeichnen jede ihrer Bewegungen auf.

Schwimmen sechs Fische nach links und fünf nach rechts, entscheidet sich der Schwarm häufig für links.

Couzin hat mit seinen Computermodellen drei Faktoren identifiziert, die das Verhalten eines Fischschwarms kontrollieren: Anziehung, Abstoßung und Ausrichtung der Individuen. Lenken die Forscher beispielsweise einige virtuelle Individuen in ihrer Simulation ein wenig in eine Richtung, wird die Gruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit folgen.

„Ein Fischschwarm ist also ein sich selbst organisierendes System. Entscheidungen beruhen auf den Bewegungen der einzelnen Tiere“, sagt Couzin. Wechseln diese die Richtung oder schwimmen sie plötzlich langsamer, reagieren die Nachbarn in den meisten Fällen. Die Summe der Positions- und Richtungsänderungen bestimmt letztlich, wohin sich der Schwarm bewegen wird. Die einzelnen Fische können auf diese Weise schnell ihr „Wissen“ miteinander tei-

len. Somit reagiert der Schwarm angemessener auf Umwelteinflüsse als jedes einzelne Individuum.

TAUSENDE LEBEWESEN VERSCHMELZEN ZUR EINHEIT

Tatsächlich bildet sich in einem Schwarm so etwas wie ein kollektives Gehirn, das rasche Entscheidungen ermöglicht und Abertausende Lebewesen förmlich zu einer einzigen Einheit verschmelzen lässt. „Selbst komplexes Schwarmverhalten kann aus einfachen Wechselwirkungen zwischen den Individuen entstehen. Nicht einmal Signale müssen die Tiere explizit miteinander austauschen. Allein dadurch, dass sie auf die Bewegungen ihrer Nachbarn reagieren, ermöglichen sie eine passendere Reaktion der gesamten Gruppe“, erklärt Couzin.

Allerdings kann die Weisheit eines Schwarms abnehmen, wenn er zu groß wird, wie eine der jüngsten Analysen

des Max-Planck-Forschers vermuten lässt. Manchmal treffen kleine Gruppen klügere Entscheidungen. Das widerspricht der klassischen Lehrmeinung. Diese besagt, dass größere Gruppen bessere Entscheidungen treffen. „Demzufolge trifft jedes Individuum auf Basis derselben Kriterien seine Entscheidungen“, so Iain Couzin.

Doch derlei Voraussetzungen sind in der Realität kaum zu erfüllen. Benachbarte Individuen in einer Gruppe greifen normalerweise auf dieselben Sinneseindrücke zurück, diese sind also nicht unabhängig voneinander. Außerdem nutzen Tiere unterschiedliche Sinne für ihre Entscheidungsfindung. Couzin und sein Kollege Albert Kao konnten mit Computersimulationen nachweisen, dass die herkömmliche Sicht auf die Schwarmintelligenz unter realistischeren Bedingungen keinen Bestand hat. In den meisten Fällen haben die Forscher gefunden, dass kleine bis

Rechts oben Kamerabild eines Goldbrassen-Schwarms im Labor. Die Gesichtsfelder der einzelnen Fische sind hell hervorgehoben. Je mehr sie überlappen, desto heller erscheinen die Flächen. Das Bild zeigt, dass sich die Fische bevorzugt dort aufhalten, wo sich die Gesichtsfelder am stärksten überschneiden.

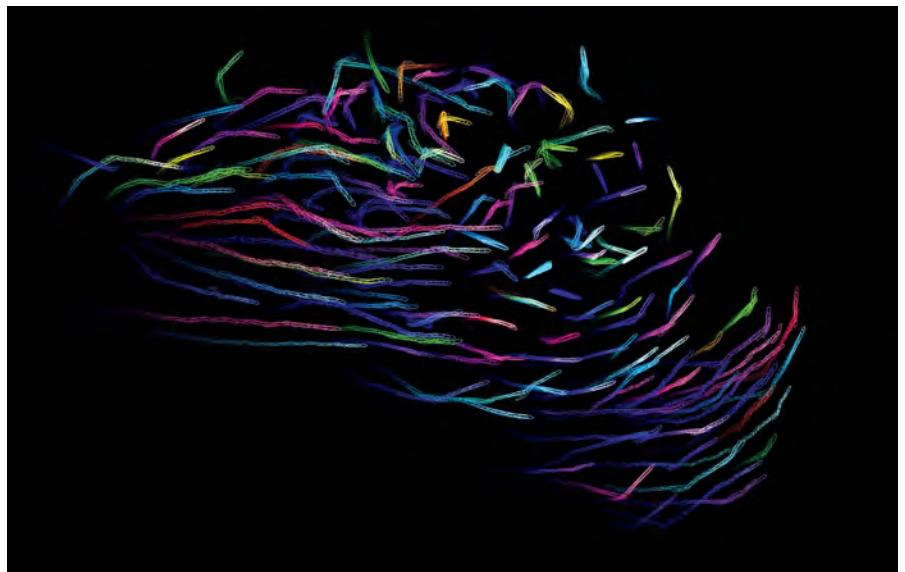
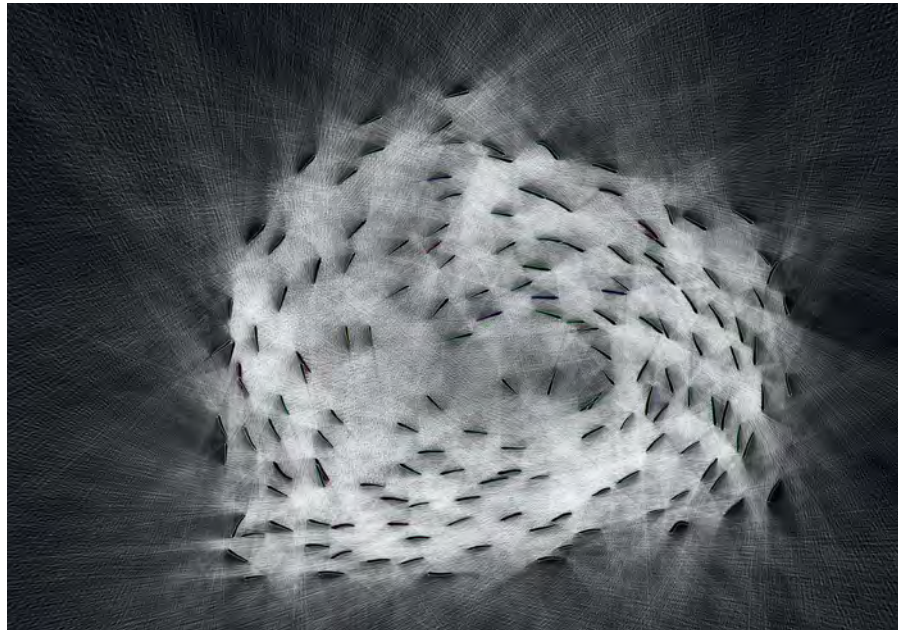
Rechts unten Schwimmbewegungen von Goldbrassen in einem Schwarm. Die Farben sollen die Individuen besser kenntlich machen.

mittlere Gruppen mit fünf bis 25 Mitgliedern am erfolgreichsten sind. „Je größer folglich eine Gruppe wird, desto schlechtere Entscheidungen scheint sie zu treffen“, fasst Couzin zusammen.

Aber gelten diese Gesetze nur in den egalitären Fisch- und Vogelschwärmen oder auch in Tiergruppen mit einer ausgeprägten Hierarchie wie den eingangs erwähnten Pavianen? Wie einigen sich die Tiere auf eine Richtung, wenn sie ihr Territorium durchstreifen? Diese Frage interessiert Couzin schon seit Jahren. Den Tieren auf ihren Streifzügen auf der Spur zu bleiben, ist jedoch eine gewaltige Herausforderung. Dazu sind sie im unwegsamen Gelände einfach zu flink unterwegs.

Als Iain Couzin im Jahr 2012 das Max-Planck-Institut in Radolfzell besuchte, hatte sein künftiger Kollege Martin Wikelski eine Lösung für das Problem parat. Wikelski entwickelt Sender, mit denen er die Bewegungen unterschiedlichster Tierarten aus der Ferne verfolgen kann. So hatte der Biologe auch 33 Paviane in Kenia mit GPS-Halsbändern ausgestattet. Im Sekundentakt speichern die Geräte Informationen über den Aufenthaltsort der Affen, die Wikelski dann am Computer auswertet. Sofort nachdem Couzin mit seiner Arbeitsgruppe von der Universität Princeton an den Bodensee umgezogen war, begann er, seine Modelle anhand der Daten der wilden Paviane zu testen.

Um die Fülle an GPS-Daten auswerten zu können, programmierten die Wissenschaftler eine neue Software,



welche die Bewegungen der Paviane im realen Leben berücksichtigt. Darüber hinaus beobachtete das Team die Tiere vor Ort in Kenia. Mit den Ergebnissen ihrer Feldstudien optimierten die Forscher die Software so, dass sie herausfinden können, warum sich die Paviane auf ihren Streifzügen für diesen oder jenen Pfad entscheiden.

„Wenn sich einzelne Tiere von der Gruppe entfernen, müssen die anderen wählen: folgen oder nicht folgen? Auf diese Weise äußern die Tiere ihre Meinung über den von ihnen bevorzugten Weg. Ziehen diese Tiere in verschiedene Richtungen, schließen sich die unentschiedenen Gruppenmitglieder meist der Mehrheit an“, erklärt Couzin. >

Für die gemeinsame Entscheidungsfindung spielt es den Ergebnissen zufolge keine Rolle, welchen Weg die dominanten Tiere gewählt haben. Sogar das

Alphamännchen akzeptiert die Entscheidung seiner Gefolgschaft und ordnet sich unter. Den unwissenden und unentschiedenen Gruppenmitgliedern

kommt dabei möglicherweise eine besonders wichtige Rolle zu: „Unsere Computermodelle zeigen, dass uninformierte Individuen kollektive Problemlösungen erleichtern und beschleunigen. Wenn dagegen viele Tiere eigene Vorstellungen über den richtigen Weg haben, dauert es länger, bis sich die Gruppe auf eine gemeinsame Richtung verständigen kann“, sagt Couzin.

DER MENSCH ALS SENSOR

Von allen Arten, die Iain Couzin bisher untersucht hat, stellten sich die Bewegungen von Menschengruppen als am berechenbarsten heraus. Sein Team hat Bilderkennungssoftware entwickelt, die Bewegungen einzelner Menschen in der Menge verfolgen können. Sie erfassen, wohin die Individuen blicken und wie sie sich untereinander verhalten.

Die Software soll helfen, Katastrophen wie bei der Loveparade in Duisburg im Jahr 2010 zu vermeiden. Die Wissenschaftler können damit zum Beispiel nachvollziehen und simulieren, wie sich Menschenmengen in einer Straße fortbewegen. So lassen sich Gefahrenquellen beim Bau neuer Gebäude und Stadtviertel von Beginn an vermeiden.

In einer Studie hat Couzin Schauspieler angeheuert mit der Vorgabe, sich in einer Einkaufsstraße und einem großen Bahnhof auffällig zu benehmen. Er wollte wissen, wie die Passanten auf ungewöhnliches Verhalten Einzelner reagieren. Seine Analysen zeigen, dass sich aus den Blicken der Menschen wichtige Informationen herauslesen lassen. Denn Menschen erkennen auffälliges Verhalten, vielleicht weil sie es für eine potenzielle Gefahrenquelle halten. In den meisten Fällen schreiten sie aber nicht ein.

Couzin hat herausgefunden, dass sich Menschen mit ihrer Blickrichtung als Sensoren einsetzen lassen. Menschen in einer Menge folgen zudem den Blicken ihrer Nachbarn. Mit einer Software konnte er dieses Verhalten analysieren und Auffälligkeiten herausfiltern. Eine solche Technik könnte schon im Frühstadium nützliche Hinweise auf mögliche Gefahren liefern, noch bevor die Menschen selbst Alarm schlagen.



Mithilfe einer Software zur Bildanalyse lässt sich die Blickrichtung von Individuen in einer Menschenmenge erfassen und auswerten. Auffälliges Verhalten, das auf Gefahren hindeutet, kann so frühzeitig erkannt werden.

ENTSCHEIDUNG FÜR DEN RICHTIGEN WEG

Aber was tun, wenn ein Patt zwischen den Meinungen herrscht? Wenn gleich viele Tiere nach links wie nach rechts wollen? Dann kommt es auf den Winkel dazwischen an: Bei weniger als 90 Grad entscheiden sich die nachfolgenden Affen für den Mittelweg, bei größeren Winkeln wählen sie mit hoher Wahrscheinlichkeit die Richtung aus, die die größere Teilgruppe bevorzugt.

„Genau das hatten wir mit unserem Modell für Fische vorausgesagt“, meint Iain Couzin. Ähnlich wie die Fische folgen also auch Affen dem Mehrheitsprinzip bei der kollektiven Entscheidungsfindung – offenbar eine Grundregel des Schwarmverhaltens über Artgrenzen hinweg.

Neuere Studien Couzins und seines Teams haben inzwischen ergeben, dass die Paviane auch die Beschaffenheit ihrer Umwelt in ihre Routenwahl einfließen lassen. Mithilfe einer Drohne nahmen die Forscher eine große Zahl von Luftaufnahmen vom Lebensraum der Tiere auf und rekonstruierten daraus eine detaillierte dreidimensionale Karte. Damit ließen sich die Richtungsentscheidungen der Affen nicht nur mit den sozialen Einflussfaktoren verknüpfen, sondern auch mit den Gegebenheiten der Umgebung.

Die Berechnungen zeigen, dass die Tiere von Menschen angelegten Straßen und zuweilen auch Trampelpfaden anderer Tiere folgen. „Dadurch können sie leichter und schneller zwischen Futter- und Schlafplätzen hin und her pendeln“, sagt Ariana Strandburg-Peshkin, eine ehemalige Doktorandin in Couzins



Paviane leben in hierarchischen Gruppen zusammen. Doch wichtige Entscheidungen werden nicht von den ranghöchsten Gruppenmitgliedern diktiert, sondern demokratisch beschlossen. Sind die Mitglieder geteilter Meinung über die einzuschlagende Route, schließen sich die unentschiedenen Affen der Mehrheit an – unabhängig davon, welche Richtung die dominanten Tiere gewählt haben.

von Gruppenverhalten sein. Wissenschaftler werden dann Tierschwärme in virtuellen holografischen 3D-Umgebungen beobachten und ihre Bewegungen exakt vermessen können. Eigens entwickelte Sender, Sensoren und Bildverarbeitung sollen es ermöglichen, Tausende von Individuen gleichzeitig in Echtzeit zu verfolgen.

Bereits heute schon in Betrieb sind fünf kleinere virtuelle Welten. Darin gaukeln die Forscher echten Fischschwärmen eine virtuelle Umgebung vor. Obwohl die Fische in leeren Becken schwimmen, sehen sie virtuelle Felsen, Wasserpflanzen und Räuber. Bald wird sich zeigen, ob sich die Fische in dieser Umgebung natürlich verhalten. „Das wird einzigartig“, sagt Couzin. Auch mit Heuschrecken will er dann wieder arbeiten. Dieses Mal allerdings ganz entspannt im beschaulichen Konstanz. ◀

Abteilung. Außerdem begrenzt etwa die Vegetation die Bewegungen der Tiere erheblich. In dicht bewachsenen Zonen verlangsamt sich die Gruppe, und die Affen passen ihre Richtungen weniger gut aneinander an.

Eine dritte Erkenntnis: Anstatt auf die Position der Gruppenmitglieder zu reagieren, beeinflussen die Pfade, die andere Paviane in den vergangenen fünf Minuten genutzt haben, den Marsch der Tiere. Paviane folgen also buchstäblich den Fußstapfen anderer. „Und je mehr Paviane in dieser Zeit einen bestimmten Punkt durchqueren, desto attraktiver wird er“, erklärt Strandburg-Peshkin. Hierin erinnern die Paviane an Ameisen, die Geruchsspuren erkennen, die Artgenossen auf ihren Wegen hinterlassen. Ob die Paviane ebenfalls solche Duftstoffe wahrnehmen oder die Pfade ihrer Vorgänger einfach nur beobachten und speichern, ist noch nicht ganz klar.

Heuschrecken, Fische, Paviane, Ameisen – Couzin hat unterschiedlichste Organismen unter die Lupe genommen. Immer wieder ist er auf ähnliche Gesetzmäßigkeiten gestoßen, die

das Gruppenleben bestimmen. Tief greifende neue Erkenntnisse erhofft er sich nun von einem Großprojekt, das er in Konstanz angestoßen hat: dem „Center for Visual Computing of Collectives“.

Das Zentrum soll in drei Jahren in Betrieb gehen und wird eine der modernsten Einrichtungen zur Erforschung

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Die Mitglieder eines Schwarms folgen oft simplen Regeln, wenn sie auf andere reagieren: Sie bewegen sich bevorzugt zu anderen hin und richten ihre Bewegungsrichtung an ihnen aus. Gleichzeitig halten sie einen Mindestabstand ein und vermeiden Zusammenstöße.
- Viele in Gruppen lebende Tiere folgen dem Mehrheitsprinzip: Die Mitglieder schlagen in der Regel die Richtung ein, in die sich die Mehrzahl der Nachbarn bewegt.
- Uninformierte oder unvoreingenommene Individuen beeinflussen maßgeblich die kollektive Entscheidungsfindung. Eine Gruppe kann auf diese Weise schnellere und manchmal auch bessere Entscheidungen treffen.

GLOSSAR

Schwarmintelligenz: Wenn Individuen ihre Fähigkeiten in ein Kollektiv einbringen, kann diese Gruppe dadurch Eigenschaften entwickeln, die keines der Individuen für sich besitzt. Dadurch wird die Gruppe als Ganzes leistungsfähiger. Aus einem solchen Verband kann dann eine Art Superorganismus entstehen. Beispiele für Schwarmintelligenz sind Ameisenstaaten oder auch das Internet.

Die Kraft der Kunst

Winfried Menninghaus erforscht am **Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik** in Frankfurt am Main, wie Menschen nicht nur mental, sondern auch körperlich auf Dichtung und Prosa reagieren. Für viele Altphilologen und Germanisten begeht er damit Verrat an ihren Disziplinen. Tatsächlich aber gelingt es dem Forscher und seinem Team, poetische und rhetorische Sprache in ihrer Wirkung erstmals messbar zu machen – auch schwer greifbare Kategorien wie Eleganz oder kuriose Phänomene wie den Trashfilm-Kult.

TEXT **MARTIN ROOS**

Pinkfarbene, fast mannshohe Buchstaben, nebeneinander aufgereiht, stehen im begrünten Innenhof des Max-Planck-Instituts für empirische Ästhetik. Der Schriftzug „SCHÖN“ scheint auf ziemlich aufdringliche Weise genau das zu postulieren, worum es den Forschern hier geht. „Nein, nein“, wehrt Winfried Menninghaus halb lachend, halb resigniert ab. Die Immobilienfirma habe die Leuchtskulptur dort hingestellt, um für das Gebäude zu werben. „Reiner Zufall also“, sagt Menninghaus über den „Kitsch in Rosa“ und schlägt die Hände klatschend zusammen. Der hagere, große Mann mit Haaren, die ähnlich wild und hoch zu Berge stehen wie beim Erfindergenie Doc Brown im Fantasyfilm *Zurück in die Zukunft*, ist Leiter der Abteilung „Sprache und Literatur“ und Gründungsdirektor des 2012 eingerichteten Instituts.

Hier geht es um weit mehr als nur um platte Schönheit. Die Forscher untersuchen, wie Menschen physiologisch auf Ästhetik reagieren – auf Film, Tanz, Musik oder eben auf Sprache und Dichtung. „Was gefällt wem warum?“, heißt ihr alliterierender Slogan. „Wir entwickeln ästhetische Theorien, die philosophische, psychologische und neurowissenschaftliche Ansätze integrieren“, sagt Menninghaus, „wir überprüfen sie mit verschiedenen Testdesigns.“

EINE MINIKAMERA FILMT DIE GÄNSEHAUT

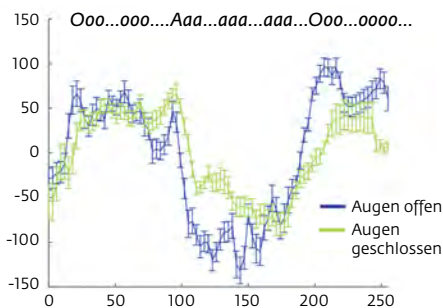
Musik hören, Filme gucken oder Gedichten lauschen ist hier ein Dienst im Auftrag der Wissenschaft. Doch wer glaubt, die Testpersonen lägen sanft gebettet in weichen Kissen und erhielten lukullische Getränke, während Scheherazade ihnen Gedichte vorflüstert und

Josephine Baker ihnen das Alphabet rückwärts vortanzte, irrt. Im Institut geht es zu wie in einem medizinischen Forschungslabor. In den schalldichten Kabinen sitzen die Probanden, an ihren Fingerkuppen messen Sensoren den Hautwiderstand, an den Handgelenken zeichnet eine Pulsuhr die Herzfrequenz auf, und eine Minikamera filmt je nach emotionalem Zustand die Gänsehaut auf ihren Unterarmen. Manche tragen eine Haube mit Elektroden auf dem Kopf, welche die Aktivität von Nervenzellen im Gehirn aufzeichnet. „Heute kann fast alles gemessen werden“, erklärt Menninghaus, „etwa, wie lange jemand auf welches Wort schaut. Das gibt uns einen Hinweis auf die Dynamik von Aufmerksamkeitsprozessen.“

Seit Beginn seiner akademischen Karriere beschäftigt sich Menninghaus damit, Effekte und Wirkung der Schönheit und elementare Züge ästhetischen



Individuelle Wirkung: Kunst muss nicht schön sein, sie kann ansprechen, bewegen, erheitern, aber auch erschüttern oder verstören.



Oben Kurt Schwitters beim Rezitieren seiner *Ursonate*, ein Gedicht nur aus Lauten.

Unten Während einer Aufführung am Institut fanden die Forscher heraus, dass der Mittelteil des zweiten Satzes dem Publikum weniger zusagte als andere Teile. Überraschenderweise war der Effekt bei denen, die zuschauten, ausgeprägter als bei denen, die ihre Augen geschlossen hielten.

Empfindens zu erforschen. Er gilt heute als einer der vielseitigsten, zugleich umstrittensten Literaturwissenschaftler – er muss sich also auch recht viel Kritik gefallen lassen. Zum einen registriert Menninghaus die stille Arroganz, mit der Naturwissenschaftler einem so „weichen“ Fach wie der Ästhetik begegnen. Zum anderen spürt er die tiefe Skepsis, welche die meisten Literaturwissenschaftler naturwissenschaftlichen Methoden und damit auch ihm gegenüber empfinden. Die Kritiker fragen: Soll sich die Qualität eines Gedichts etwa an zuckenden Augen und verschwitzten Achselhöhlen messen lassen? Sind Menninghaus und Co. wie einstmals die Alchemisten auf der Suche nach der goldenen Formel – also der Rezeptur für das absolute Gedicht?

„Natürlich nicht“, sagt Winfried Menninghaus, „wir schaffen hier keine Rezepte. Es geht vor allem um Wahrnehmung.“ Den Vorwurf, seine Forschung sei „Erbsenzählerei“, lässt er an sich abprallen. Dass allerdings der Begriff „Wirkungspoetik“ von vielen Kollegen mittlerweile als Schimpfwort verwendet wird, kann er nicht akzeptieren. Menninghaus beruft sich auf den großen Linguisten und Semiotiker Roman Jakobson, der einst lehrte, dass unsere

„poetische Sprachfunktion“ immer „an“ sei. Danach nehmen wir selbst ganz banale Sätze stets auch ästhetisch wahr. Der Max-Planck-Forscher suchte also nach Belegen für diese These – und wurde fündig: „Heute können wir sagen: Jakobson hatte recht. Denn wir beweisen die Omnipräsenz der poetischen Sprachfunktion an unserem Institut tagtäglich.“

Mit zehn Mitarbeitern, darunter Germanisten, Literatur-, Film- und Neurowissenschaftler, verfeinert und entwickelt Menninghaus ständig neue Kategorien und Methoden, um ästhetisch wirksame Merkmale sinnvoll zu beschreiben – das reicht von sprachlichen Beschreibungen wie „schön“, „langweilig“, „spannend“, „witzig“ bis zu vergleichenden Untersuchungen sprachlicher Strukturen in Bezug auf Rhythmus, Metrum oder auch Sprachmelodie.

GEDICHTE SIND ÄHNLICH AUFWÜHLEND WIE MUSIK

In dem institutseigenen ArtLab, einer Art multifunktionalem Konzert- und Veranstaltungsraum, gefüllt mit Audio-Video-Hightech und Verkabelungstechniken für Probanden, haben zwei Institutsmitarbeiter die Wirkung von Kurt Schwitters' nicht gerade leicht verdaulicher dadaistischer *Ursonate* getestet: Die Neurowissenschaftler und Sprachpsychologen Mathias Scharinger und Valentin Wagner luden 44 freiwillige – und dem sehr eigenwilligen Humor Schwitters' nicht abgeneigte – Testpersonen ins ArtLab. Doch warum ausgerechnet zu einer solchen



Vermessenes Publikum: Im ArtLab, einem für die Forschung ausgestatteten Aufführungssaal, können die Wissenschaftler die körperliche Wirkung von Kunstdarbietungen messen. So geben die Hautwiderstandswerte an den Fingern Hinweise auf die emotionale Erregung der Zuschauer.

Hybridmusik, dieser verstörenden Mischung aus Ur- und Affenlaut, aus Brust- und Brunnengesang?

„Wir wollten ganz bewusst die semantische Ebene ausschalten, uns also rein auf die Tonebene fokussieren“, sagt Scharinger. Mit Pulsuhr und Elektorenmaßen die Forscher Herzrate und Hautleitwerte. Über ein elektronisches Tablet mussten die Probanden zusätzlich vor, während und nach dem Konzert Fragen zu der Wirkung der Live-Performance und zu ihrem emotionalen Zustand beantworten. Für ihr ästhetisches Urteil standen eine Vielzahl an Adjektiven bereit – von „intensiv“ und „melodisch“ über „anstrengend“ und „chaotisch“ bis „nervig“ oder „absurd“. Ziel der Forscher: den Zusammenhang zwischen den akustischen Parametern, den rein subjektiven Berichten der Zuschauer und ihren physiologischen Reaktionen zu finden.

Noch liegen keine endgültigen Studienergebnisse vor. Doch die Sprachwissenschaftler erwarten eine reich gefüllte Schatztruhe: „Wenn wir genau analysiert haben, welche akustischen

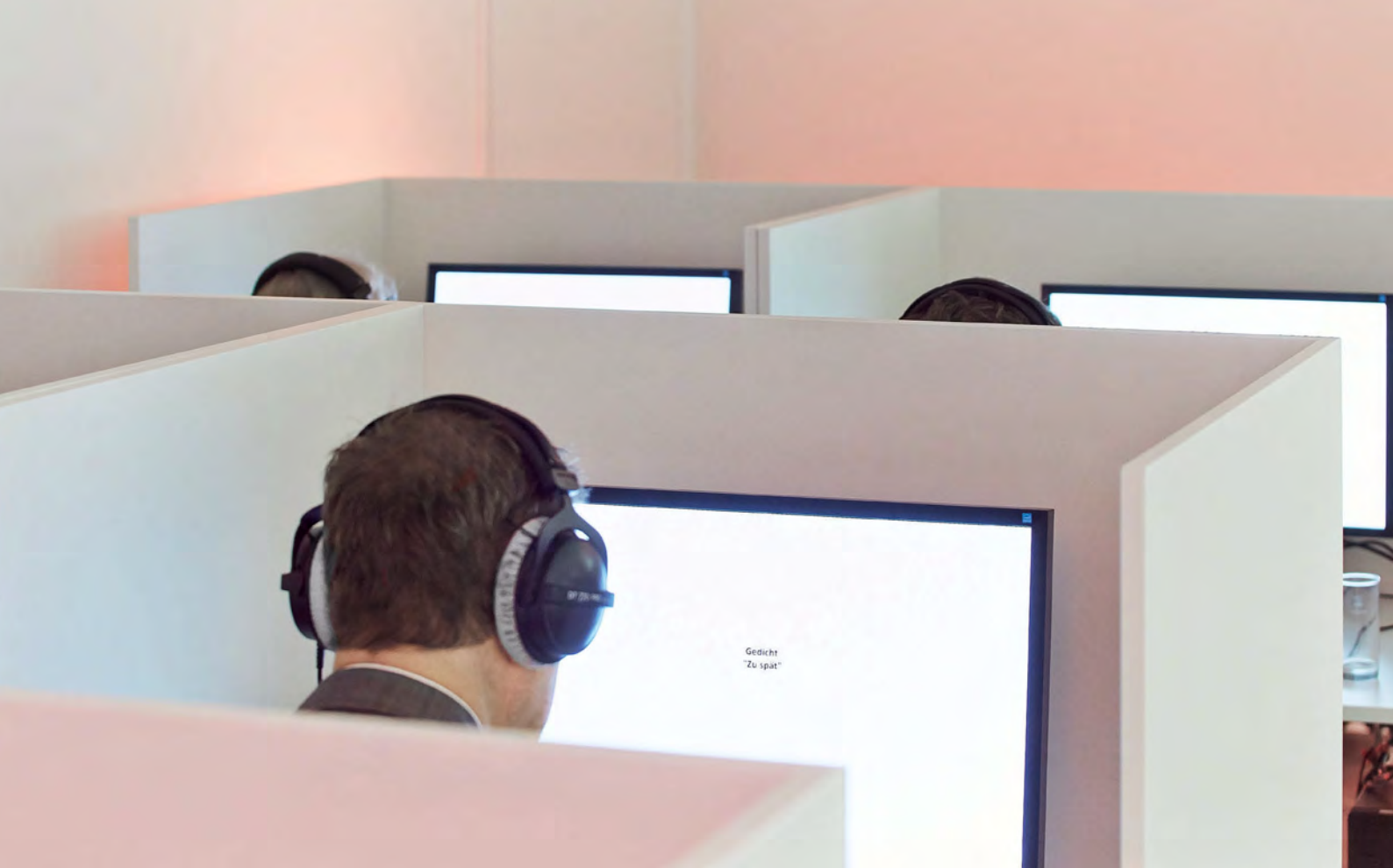
und linguistischen Eigenschaften mit welchen Körperreaktionen korrespondieren“, erklärt Wagner, „dann können wir silbengenau über die linguistischen Eigenschaften Auskunft geben“, also bei welchen Tiefen und Höhen oder Konsonanten- und Vokalkombinationen Herzrasen, Langeweile oder gar Ablehnung entstehen. Sicher ist: „Egal, welche Texte wir lesen oder hören – unser Körper schlägt immer aus“, ergänzt Menninghaus.

Gedichte wühlen uns emotional fast genauso auf wie unsere Lieblingsmusik, erklärt der Wissenschaftler. Dass Lyrik so stark wirkt, liegt nicht nur daran, dass wir seit vielen Generationen – mindestens seit der Antike – mit metrischem Sprechen, mit christlichen Hymnen und später dem Volkslied vertraut seien. Jeder sei von Geburt an, in der präverbalen Kommunikation mit den Eltern, an den versmaßähnlichen Rhythmus der Sprechprosodie gewöhnt. Überspitzt formuliert: „Wir kommen über die Lyrik zur Sprache.“ Aus diesem Grund ist unsere Aufmerksamkeit besonders anfällig für Rhythmus und

Reim. Die Forscher demonstrieren es an konstruierten Sätzen. Diesen nehmen sie gezielt stilistische Merkmale weg, um zu sehen, welche die ästhetische Lust der Leser oder Hörer in welcher Weise steuern.

JE MEHR TRÄNEN, DESTO GRÖßER DER GENUSS

Wenn der Satz „Planeten sind üble Propheten“ Testpersonen ohne Reim präsentiert wird („Die Sterne sind üble Propheten“) verliert die Aussage beim Probanden messbar an „Präsenz“, also an Ausdruckskraft. Nimmt man jetzt nicht den Reim, sondern nur den Rhythmus aus dem Ursprungssatz und formuliert „Planeten sind höchst unzuverlässige Propheten“, verliert die Aussage ebenfalls an Wirkung. Ohne Reim und Rhythmus gewinnt der Satz zwar wieder – auch durch seine hohe Verständlichkeit – an Präsenz: „Sterne sind keine vertrauenswürdigen Propheten.“ Doch die Ursprungsaussage „Planeten sind üble Propheten“ erzielt trotz leicht kruder inhaltlicher Aussage von allen



Lauschen für die Forschung: Testpersonen bekommen ein Gedicht vorgespielt und sollen am Ende die Frage beantworten, wie bewegend und wie schön sie die Verse fanden. So tragen die Wissenschaftler ästhetische Urteile über Werke verschiedener Epochen zusammen.

Sätzen eindeutig die höchste Wirkung. Der Grund: Unsere ästhetische und affektive Wahrnehmung spricht stärker auf metrisierte Sprache an.

„Wir reagieren auch sehr aufmerksam auf Sätze oder Verse, wenn diese bestimmte Regeln verletzen“, meint Winfried Menninghaus. Gleich mehrere Regelverletzungen enthält etwa der Ikea-Slogan: „Wohnst du noch oder lebst du schon?“ Die Frage „Wohnst du noch?“ ist verkürzt und müsste normalerweise etwa „Wohnst du noch in deiner alten Wohnung?“ heißen. Und „Lebst du schon?“ wirkt paradox, da niemand wirklich „schon“, sondern eher „noch“ leben kann. Überhaupt wären die beiden Fragen zusammengenommen vollkommen sinnlos, wenn nicht deutlich wäre, dass es sich hier um die Botschaft eines Möbelhauses handelt. „Unser Gehirn muss also ordentlich arbeiten und ergänzen, um den Satz zu entschlüsseln. Und das macht diesen so prägnant“, erklärt Menninghaus.

Lange ging es für Menninghaus' Team auch um die Frage, ob sich positive und negative Gefühle, also Freude

und Trauer, beim Kunstgenuss aufheben. Das Ergebnis: Genau das Gegenteil ist der Fall. „Die Messkurven für die körperlichen Reaktionen bei negativen und bei positiven Affekten hatten ihre Höhepunkte fast immer zur selben Zeit“, sagt Menninghaus. Anders ausgedrückt: Je mehr Tränen fließen, desto größer ist der Genuss. Es geht um das „Bewegtsein“.

ELEGANZ KANN SICH BIS INS HOHE ALTER ERHALTEN

Und damit schließt sich für den Linguisten auch der Kreis zu einer alten Disziplin, die lange – auch durch ihren Missbrauch im Dritten Reich – in Vergessenheit geraten war: die Rhetorik. „Ihr großer Reichtum an sprachlichen Figuren und poetischen Merkmalen beinhaltet schon immer wichtige Faktoren, die ästhetische Wertschätzung bedingen“, erklärt er. Nur wurde die Rhetorik in dieser Weise kaum noch wahrgenommen. Gerade das *movere* der antiken Rhetorik, das Bewegen, Rühren und Erschüttern, fasziniert Menninghaus.

Nicht umsonst haben er und sein Team dem *being moved* mehrere Studien gewidmet. Diese zeigen eindrücklich, dass „Bewegtsein“ fast immer Freude und Trauer mischt. Die antike Rhetorik bleibt damit hochmodern. Auch deshalb ist es Winfried Menninghaus ein großes Anliegen, das sprachproduktionsnahe Wissen der Rhetorik mit ästhetischer Theorie, literatur- und musikwissenschaftlichen Analysetechniken, linguistischer Modellbildung und neuesten Methoden und Theorien in Psychologie und Neurowissenschaften zusammenzubringen.

Eines von Menninghaus' neuesten Projekten beschäftigt sich mit dem Thema „Eleganz“. „Eleganzurteile zeigen generell sehr große Überlappung mit Schönheitsurteilen“, meint Menninghaus. Ein elegantes Auto werde auch als schönes Auto bewertet. Umgekehrt sei aber keineswegs alles elegant, was als schön gilt. Um die feinen Unterschiede herauszuarbeiten, haben die Forscher zwei weitere Kategorien ins Spiel gebracht: Anmut – sie grenzt sehr eng an Eleganz – und Sexiness,

also sexuelle Attraktivität – die ebenfalls zum weiteren Feld des Schönen gehört, aber nur wenig Überlappung mit Eleganz aufweist.

Um psychometrisch fundierte Aussagen über die Schönheit, Eleganz, Anmut oder Sexiness von etwas machen zu können, reicht es nicht, einfach nur zu fragen, wie schön, elegant, anmutig und sexy etwas sei. Es bedarf vielmehr einer Vielzahl von Merkmalen, die positiv oder negativ mit Eleganz korrelieren. Menninghaus und seine Gruppe haben deshalb Eleganz als ein hochgradig multidimensionales Konstrukt untersucht, zu dem Assoziationen wie „fein“, „geschmackvoll“, „fließend“, „harmonisch“, „wertvoll“, „schlicht“, „leicht“ „schlank“ und viele mehr gehören.

Die Forscher werteten solche Zuschreibungen aus und kombinierten die Ergebnisse, um zuverlässige und differenzierte Aussagen über die Eleganz unterschiedlichster Dinge treffen zu können – von Besteck über Dessous und Nachtwäsche bis zu Jachten, Luxus-hotels und Brücken. Besonders auffällig ist die „nahezu perfekte Dissoziation von Sexiness und Eleganz“ in Bezug zum Lebensalter: Von jungen Männern und Frauen werden viel Sexiness und keine Eleganz erwartet. Bei älteren Männern und Frauen gilt genau das Umgekehrte. Schönheit, sagt Menninghaus, sei mittendrin: Sie überdauert zwar die hohen Sexiness-Erwartungen an junge Frauen und Männer um etwa zwei Jahrzehnte, fällt dann ebenfalls stark ab, und als einzige Form des guten Aussehens, die bis ins hohe Alter erreichbar ist, bleibt dann nur – die Eleganz. Diese erzielt erst bei über 50-Jährigen ihre höchsten Werte und kann teilweise noch bei weit über 80-

Jährigen als hoch angesehen werden. „Verglichen mit den Altersprofilen für Sexiness und Schönheit, zeigt das Altersprofil für Eleganz die geringsten Unterschiede für Männer und Frauen“, erklärt Menninghaus. Eine Erkenntnis mit viel Potenzial, etwa für die Bekleidungsindustrie. „Die Modebranche ist weit davon entfernt, diesen Zusammenhang verstanden zu haben.“

OFT GEFÄLLT DAS, WAS SCHON BEKANNT IST

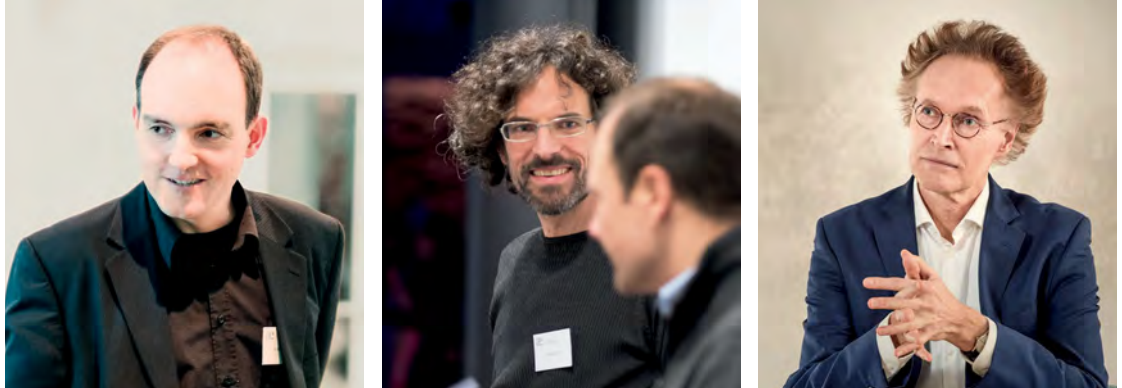
Trotz strenger Wissenschaft, für einen fundierten Spaß ist der quirlige Forscher immer zu haben. So kam einer seiner Mitarbeiter, der Filmwissenschaftler Keyvan Sarkhosh, zu erstaunlichen Ergeb-

nissen, als er das Publikum von Trashfilmen fragte: „Warum schauen Sie sich das bloß an?“ Die erste Antwort: „Aus Langeweile am Mainstream, aus Frustration über das sich immer wieder reproduzierende Hollywood“, sagt Sarkhosh. Als Beispiele hat der Forscher Filme aus dem Hai-Horrorgenre herangezogen – wie *Sharknado*, einen amerikanischen Katastrophenfilm aus dem Jahr 2013 mit mehreren Fortsetzungen.

Kritiker bezeichneten *Sharknado* mit seinen fliegenden, menschenfressenden Haien, den lauten Schreien und dem Blutgespeie als „ganz großen Quatsch“ und „den schlechtesten Film des Jahres“ – über den man sich aber „durchaus amüsieren“ könne. Und genau darum geht es: Die einen halten die

Beliebte Menschenfresser: Haie spielen in Trashfilmen oft eine zentrale Rolle, etwa in *Sharknado*, einem Katastrophenfilm mit mehreren Fortsetzungen und erstaunlich vielen Fans. In einer Studie erwies sich das Trashpublikum als überdurchschnittlich gebildet und kulturinteressiert.





Kreatives Team: Um die Wirkung von Literatur messbar zu machen, arbeitet Winfried Menninghaus (rechts) in seinem Team mit Forschern verschiedener Disziplinen zusammen: Dazu gehören der Neurolinguist Mathias Scharinger (links) und der Philosoph und Psychologe Valentin Wagner (Mitte).

Geschichte der Haimonster für stil- und geschmacklos, die anderen für einen künstlerischen Leckerbissen von einer dezidiert anderen Art.

Das eigentlich Überraschende und damit die für das breite Publikum wichtigste Erkenntnis der Studie ist: Beim Trashpublikum – im Durchschnitt 35 Jahre alt – handelt es sich keineswegs um Menschen geringerer Intelligenz oder unterer Bildungsschichten. Im Gegenteil: „Die Testpersonen stellten sich als überdurchschnittlich gebildet heraus. Sie haben viele Kulturinteressen, gehen ins Theater oder Museum und schauen sich Spartenkanäle wie Arte an“, erklärt Sarkhosh.

WILLKOMMEN IN DER POPKULTUR

Trashfans hätten zum einen Spaß daran, Antifilme mit ironischer Distanz zu betrachten. Zum anderen resultiere das Vergnügen vor allem aus ihrem ästhetischen Interesse an der Umsetzung von Klischees oder Anspielungen aus bereits gesehenen B-Movies. „Ein wichtiger Faktor, der mitbestimmt, was gefällt oder nicht, ist das, was man schon vorher gesehen oder wahrgenommen hat – etwa in seinen Teenagerjahren oder als Mittzwanziger“, erklärt Sarkhosh. Menninghaus nennt dieses Phänomen, das sogenannte Familiaritätsprinzip, eine der „stärksten Determinanten ästhetischen Gefallens“.

Die Idee der unschönen Künste, also das Phänomen, dass Gegenstände, die nach herkömmlichen Maßstäben als „hässlich“ empfunden werden, auch einen eigenen ästhetischen Reiz besitzen können, ist nicht neu. Schon in der Antike kannte man es; die Darstellungen von Satyrn ist ein Beispiel. Für Kenner von Trashfilmen bedeutet *guilty pleasure* – die vermeintlich schuldige Lust am Abartigen – eine Art cineastisches Fest der Geschmacklosigkeit, welche nach Sarkhosh zur Kultur des Karnevalesken gezählt werden kann, also zu einer „Gegenkultur, in der unorthodoxe Freiheiten möglich sind“.

Für Winfried Menninghaus war die Trashstudie aus zwei weiteren Gründen überraschend: „Die Daten waren klarer und aussagekräftiger, als wir erwartet hatten.“ Und: „Was wir jedoch nicht im

Entferntesten ahnen konnten, war das riesige Medienecho auf die Publikation dieser Studie. *Welcome to pop culture!* Innerhalb von sechs Wochen gab es weit mehr als 1000 Rezensionen in Zeitungen aller Erdteile und Interviewanfragen sogar aus Afrika. Menninghaus ist immer noch verwundert: „Das werde ich mit allen anderen Studien zusammen nicht schaffen.“

Wer weiß. Forscher Sarkhosh beschäftigt sich bereits mit einer neuen Studie. Nun soll sich alles um die Liebhaber des Kitschfilms und ihre Leidenschaft für die zuckersüßen, rosaroten und Happy-End-sicheren „Feel-good-Movies“ à la *Pretty Woman* oder *Dirty Dancing* drehen. Auch hier wird natürlich die Frage wieder lauten: „Warum schauen Sie sich das bloß an?“ Wir sind gespannt. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Wissenschaftler messen die starke emotionale Wirkung, die Literatur auf den Menschen hat: Reime sowie Verse, die bestimmte Regeln verletzen, wecken besonders viel Aufmerksamkeit.
- Mit Befragungen erfassen die Forscher zudem, was ästhetische Urteile wie „Eleganz“ auszeichnet. Auffällig ist, dass Menschen verstärkt ab dem vierten Lebensjahrzehnt als elegant bezeichnet werden.
- Das Forschungsprojekt Trashfilme sammelt Erkenntnisse über die Zuschauer dieses Genres und ihre Lust am Hässlichen.

Für Forscher, Entdecker, Wissenschaftler
- und solche, die es werden wollen:

Junge Wissenschaft



Das einzige europäische Wissenschaftsmagazin mit begutachteten Beiträgen junger Nachwuchsforscher.

Wissenschaftliche Erstveröffentlichungen und das Neueste aus Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik.

Nur im Abo. Viermal im Jahr News aus Forschung und Technik, Veranstaltungen, Porträts, Studien- und Berufsprofile.

Vorteilsabo sichern!

abo@verlag-jungewissenschaft.de

Stichwort: „Vorteilsabo“

Leseprobe anfordern!

leseprobe@verlag-jungewissenschaft.de
oder per Fax 0211 / 74 95 64-29

Vorteilsabo
nur **20,-€***

für Schüler, Studenten, Referendare und Lehrer
(4 Ausgaben für 20,00 EUR statt 30,00 EUR)*
*zzgl. Versandkosten

www.verlag-jungewissenschaft.de

Ein Quantum Energie

Elektronen, die auf stabilen Bahnen um einen positiv geladenen Kern kreisen? Als Niels Bohr im Jahr 1913 sein neues Atommodell vorstellt, schütteln viele Kollegen den Kopf. Kurz darauf gelingt ein Nachweis: **James Franck**, später Abteilungsleiter am **Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie** in Berlin-Dahlem, und sein Kollege Gustav Hertz bekommen dafür den Physik-Nobelpreis 1925. Dabei wissen die beiden anfangs nicht, was sie da eigentlich entdeckt haben.

TEXT **ELKE MAIER**

April 1940. Im Labor von Niels Bohr in Kopenhagen steht der 54-jährige Chemiker George de Hevesy, in der Hand hält er eine Nobelpreis-Medaille. Sie gehört dem jüdischen Physiker James Franck. Um sie vor den Nazis in Sicherheit zu bringen, hatte Franck sie seinem Freund und Kollegen Bohr anvertraut, und der wiederum hatte sie de Hevesy gegeben.

Nun hatten die Deutschen Dänemark besetzt und marschierten bereits durch die Straßen der Hauptstadt. Da hieß es schnell sein. De Hevesy übergießt die prestigeträchtige Münze mit Königswasser und wartet, bis das ätzende Gemisch aus konzentrierter Salz- und Salpetersäure das Metall aufgelöst hat. Als die Besatzer das Labor auf den Kopf stellen, steht das Gefäß mit dem wertvollen Inhalt unbeachtet unter vielen anderen.

Später wird das Gold der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften übergeben, die daraus eine neue Medaille prägen lässt. Am 31. Januar 1952 darf James Franck die begehrte Auszeichnung zum zweiten Mal entgegennehmen – für einen Versuch, den er und sein Kollege Gustav Hertz anfangs gar nicht richtig einordnen konnten. Aber der Reihe nach.

James Franck kommt am 26. August 1882 in Hamburg zur Welt. Er ist das zweite Kind des Bankiers Jacob Franck und dessen Frau Rebecca. Am Wilhelm-Gymnasium soll James eine klassische Bildung erhalten. Der allerdings hat mit alten Sprachen wenig im Sinn, und so gilt der Schüler als „wenig vielversprechend“. Was ihn viel mehr interessiert sind Zusammenhänge: Noch im Alter erinnert sich James Franck an ein Aha-Erlebnis während der Griechischstunde, als er auf einmal erkennt, warum ein Fettfleck in seinem Heft „das opake Papier lichtdurchlässig macht“.

Nach dem Gymnasium – inklusive einer Ehrenrunde – schreibt er sich seinem Vater zuliebe in Heidelberg für Wirtschaft und Jura ein. Erst später setzt er sich durch und wechselt zur Chemie und schließlich zur Physik. Sein neuer Studienort Berlin ist dafür erste Wahl und Anziehungspunkt für die einflussreichsten Physiker ihrer Zeit, darunter Heinrich Rubens, Emil Warburg und Max Planck, spä-



Teilchen auf Kollisionskurs: James Franck (links) und Gustav Hertz untersuchten Zusammenstöße zwischen Elektronen und Atomen.

ter auch Paul Drude und Albert Einstein. Franck promoviert 1906 am Physikalischen Institut der Berliner Universität über die Beweglichkeit von Ionen bei Gasentladungen und wird dort wissenschaftlicher Assistent.

Am selben Institut arbeitet auch der fünf Jahre jüngere Gustav Hertz, dessen Onkel Heinrich die elektromagnetischen Wellen entdeckt hatte – entscheidend für die Nachrichtentechnik; die Frequenzeinheit Hertz ist nach ihm benannt. James Franck und Gustav Hertz freunden sich an und starten ein gemeinsames Projekt, um die Wechselwirkung zwi-

schen Atomen und Elektronen zu studieren.

Die Apparatur besteht – vereinfacht dargestellt – aus einem Glaskolben, der mit Quecksilbergas gefüllt ist. Im Innern befinden sich eine negativ geladene Glühkathode und eine positive Anode, zwischen denen eine Spannung anliegt. Sie bewirkt, dass an der Kathode ständig Elektronen ausgesandt und in Richtung der Anode beschleunigt werden. Unterwegs kollidieren sie dabei mit den Quecksilberatomen. Sobald die Elektronen an der Anode ankommen, messen die Forscher ihre Geschwindigkeit. So wollen sie feststellen, wie viel Bewegungsenergie die Elektronen durch die Zusammenstöße mit den Gasatomen verloren haben.

Dabei beobachten die Wissenschaftler Folgendes: Liegt nur eine geringe Spannung an, flitzen die Elektronen mit unveränderter Geschwindigkeit ins Ziel. Erreicht der Wert 4,9 Elektronenvolt (eV), so geht die Geschwindigkeit der ankommenden Elektronen gegen null, und in einem verdunkelten Raum zeigt sich kurz vor der Anode eine dünne Leuchtschicht. Wird die Spannung weiter hochgedreht, werden die Elektronen wieder schneller, und die leuchtende Schicht wandert in Richtung Kathode. Beim Doppelten des kritischen Werts ist die Geschwindigkeit plötzlich bei null, und eine zweite Leuchtschicht entsteht, beim Dreifachen eine dritte – und so weiter und so fort.

Was ging hier vor? In ihrer Veröffentlichung von 1914 schreiben James Franck und Gustav Hertz, die Energiemenge von 4,9 eV ionisiere das Quecksilberatom, katapultiere also ein Elektron aus des-

Schicht für Schicht: Die Gasatome geben die Energie, die sie von den Elektronen übernommen haben, in Form von Licht wieder ab. Im hier gezeigten Versuch wurde Neon- statt Quecksilbergas verwendet, was ein orangefarbenes Leuchten erzeugt.

sen Hülle heraus – ein Irrtum, wie sich herausstellen sollte. Was den beiden in ihrem Arbeitseifer entgangen war: Wenige Monate zuvor hatte Niels Bohr ein theoretisches Modell zum Aufbau des Atoms vorgelegt, das perfekt zu ihrer Beobachtung passte.

Bohr beschreibt darin eine Art Miniatur-Planetensystem, in dem Elektronen auf stabilen Bahnen um einen positiv geladenen Kern kreisen. Diese Bahnen – sogenannte Schalen – haben feste Abstände voneinander. Will man nun ein Elektron von einer Schale auf die nächste (weiter außen gelegene) bugsieren, so ist dazu eine ganz bestimmte, je nach Atomsorte unterschiedliche Energiemenge erforderlich. Niels Bohr, der über „das wunderbare Experiment von Franck und Hertz“ im Bilde war, vermutete, dass diese Menge im Fall von Quecksilber genau 4,9 eV beträgt. Damit sollte er recht behalten.

Ohne es zu wissen, hatten Franck und Hertz nachgewiesen, dass Elektronen nur vom richtigen Quantum Energie angeregt werden können – eine der Kernaussagen von Bohrs Theorie. Ist die Energiemenge zu gering, stoßen Elektron und Atom zusammen,

DER SPIEGEL 19/1957

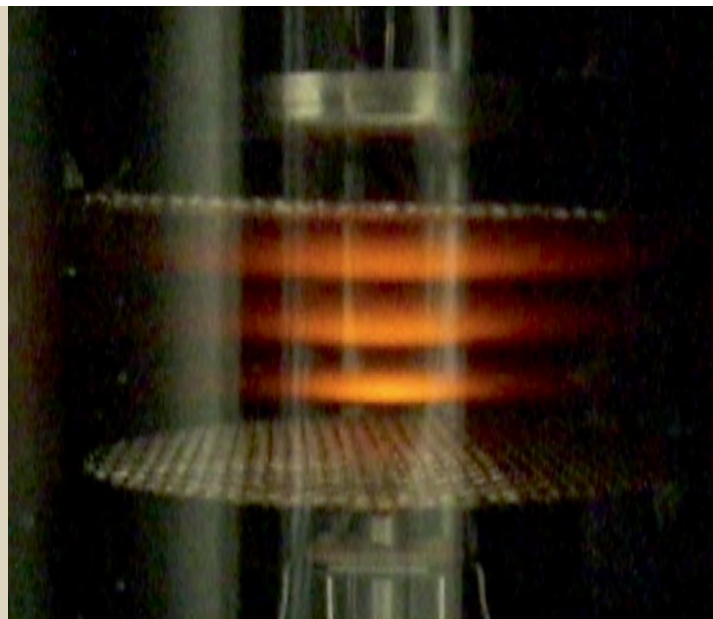
» An den Nobelpreisträger James Franck, einen der nobelsten Geister unter den nicht immer noblen Kernphysikern, wagten sich die Nazis noch nicht recht heran, weil er zu bekannt war. Der aufrechte Mann trat im April 1933 demonstrativ und aus Solidarität zurück [...]

ohne dass es zum Energietransfer kommt. Erst wenn die kritische Schwelle von 4,9 Elektronenvolt erreicht ist, gibt das Elektron seine Energie an das Atom ab. Nach einer solchen Kollision steht das Elektron zunächst still, bevor es durch die Spannung wieder beschleunigt – und die dadurch angesammelte Energie erneut abgibt, sobald 4,9 eV erreicht sind. Das Leuchten kommt dadurch zustande, dass das Atom die aufgenommene Energie in Form von Licht wieder aussendet.

Welche Tragweite ihr Versuch hat, wird den beiden Wissenschaftlern erst später klar: „Es war so, als wenn ein Forscher ein unbekanntes Land erforschen wollte und bemerkte, dass er, ohne es zu wissen, bereits eine vollständige Karte dieses Landes in den Händen hatte“, schreibt Franck rückblickend. Für ihr Experiment bekommen James Franck und Gustav Hertz den Physik-Nobelpreis 1925.

Im April 1914 präsentiert Gustav Hertz die Ergebnisse auf einer Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin. Gut drei Monate später beginnt der Erste Weltkrieg. James Franck meldet sich freiwillig. Wie auch Gustav Hertz wird er an der Front unter der Leitung von Fritz Haber im Gaskrieg eingesetzt. Später werden beide auch ans Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem abkommandiert. Dort müssen sie unter anderem im Selbstversuch die Tauglichkeit von Gasmasken testen.

Zwischen 1917 und 1921 arbeitet James Franck als Abteilungsleiter am Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie unter dem Direktor Fritz Haber. Danach



geht er als Professor für Experimentalphysik an die Universität Göttingen. Im Jahr 1933 sollte er Direktor des Physikinstituts der Berliner Universität werden. Doch dazu kam es nicht mehr.

Am 30. Januar 1933 wird Adolf Hitler Reichskanzler, einige Wochen später tritt das „Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums“ in Kraft. Beamte nichtarischer Abstammung sind demnach in den Ruhestand zu versetzen. Obwohl James Franck als ehemaliger Frontkämpfer davon ausgenommen ist, kann er den Affront nicht hinnehmen. Aus Protest tritt er freiwillig zurück, doch möchte sich kaum einer seiner Kollegen mit ihm solidarisieren.

Noch im selben Jahr verlassen er und seine Familie Deutschland. Franck verbringt mehr als ein Jahr als Gastwissenschaftler bei Niels Bohr in Kopenhagen, übernimmt eine Professorenstelle an der Johns Hopkins University in Baltimore und wechselt im Jahr 1938 an die University of Chicago. Während des Zweiten Weltkriegs ist er dort am „Manhattan-Projekt“ zur Entwicklung der Atombombe beteiligt. Als er erfährt, dass die Bombe auch nach der Kapitulation Nazideutschlands gegen Japan eingesetzt werden soll, ergreift er das Wort. Gemeinsam mit sechs anderen Wissenschaftlern verfasst er ein Memorandum, das als Franck-Report in die Geschichte eingehen wird und sich gegen einen Einsatz der Atombombe in Japan ausspricht.

Die Forscher weisen darin auf die Gefahr eines atomaren Wettrennens hin und setzen sich dafür ein, die Zerstörungskraft der neuen Waffe auf unbewohntem Gebiet zu demonstrieren, anstatt Japan anzugreifen. Der Appell bleibt erfolglos. Am 6. August 1945 explodiert die Bombe über Hiroshima, drei Tage später trifft es Nagasaki. Japan kapituliert.

Nach dem Krieg forscht James Franck vor allem auf dem Gebiet der Photosynthese. Dabei wird Sonnenenergie über mehrere Zwischenschritte in chemische Energie und schließlich in Zucker umgewandelt. Der Wissenschaftler bleibt damit seinem Lieblingsthema treu: dem Energietransfer zwischen Atomen und Molekülen. Gustav Hertz wird nach Kriegsende als Spezialist für das sowjetische Atombombenprojekt verpflichtet; nach seiner Rückkehr im Jahr 1955 übernimmt er die Leitung des Physikalischen Instituts der Universität Leipzig. Er ist der einzige Nobelpreisträger, der in der DDR lebt und arbeitet. Franck stirbt 81-jährig bei einem Besuch in Göttingen, Hertz mit 88 Jahren in Ostberlin.

Der Franck-Hertz-Versuch zählt heute zu den Klassikern der Experimentalphysik. Als wichtige Stütze des Bohrschen Atommodells und Beleg für die Quantentheorie wird er auch im Physikunterricht immer wieder gern gezeigt.

Schicht für Schicht: Die Gasatome geben die Energie, die sie von den Elektronen übernommen haben, in Form von Licht wieder ab. Im hier gezeigten Versuch wurde Neon- statt Quecksilbergas verwendet, was ein orangefarbenes Leuchten erzeugt.

sen Hülle heraus – ein Irrtum, wie sich herausstellen sollte. Was den beiden in ihrem Arbeitseifer entgangen war: Wenige Monate zuvor hatte Niels Bohr ein theoretisches Modell zum Aufbau des Atoms vorgelegt, das perfekt zu ihrer Beobachtung passte.

Bohr beschreibt darin eine Art Miniatur-Planetensystem, in dem Elektronen auf stabilen Bahnen um einen positiv geladenen Kern kreisen. Diese Bahnen – sogenannte Schalen – haben feste Abstände voneinander. Will man nun ein Elektron von einer Schale auf die nächste (weiter außen gelegene) bugsieren, so ist dazu eine ganz bestimmte, je nach Atomsorte unterschiedliche Energiemenge erforderlich. Niels Bohr, der über „das wunderbare Experiment von Franck und Hertz“ im Bilde war, vermutete, dass diese Menge im Fall von Quecksilber genau 4,9 eV beträgt. Damit sollte er recht behalten.

Ohne es zu wissen, hatten Franck und Hertz nachgewiesen, dass Elektronen nur vom richtigen Quantum Energie angeregt werden können – eine der Kernaussagen von Bohrs Theorie. Ist die Energiemenge zu gering, stoßen Elektron und Atom zusammen,

DER SPIEGEL 19/1957

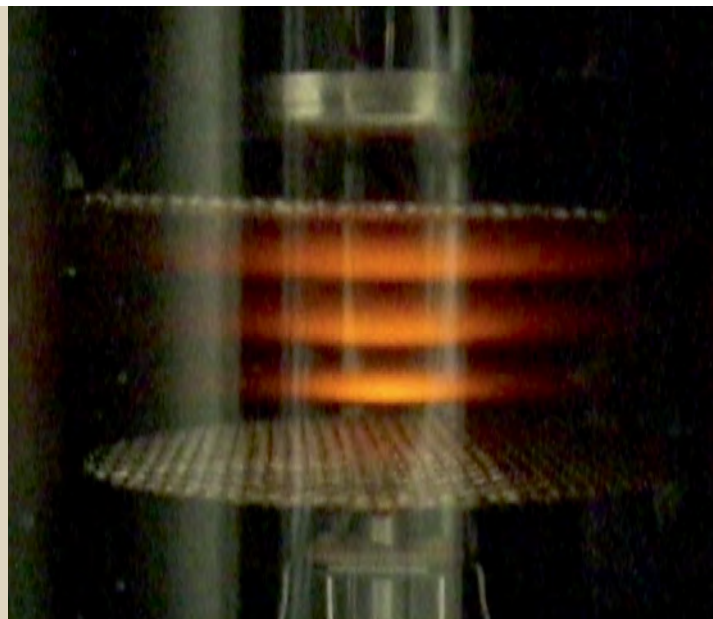
» An den Nobelpreisträger James Franck, einen der nobelsten Geister unter den nicht immer noblen Kernphysikern, wagten sich die Nazis noch nicht recht heran, weil er zu bekannt war. Der aufrechte Mann trat im April 1933 demonstrativ und aus Solidarität zurück [...]

ohne dass es zum Energietransfer kommt. Erst wenn die kritische Schwelle von 4,9 Elektronenvolt erreicht ist, gibt das Elektron seine Energie an das Atom ab. Nach einer solchen Kollision steht das Elektron zunächst still, bevor es durch die Spannung wieder beschleunigt – und die dadurch angesammelte Energie erneut abgibt, sobald 4,9 eV erreicht sind. Das Leuchten kommt dadurch zustande, dass das Atom die aufgenommene Energie in Form von Licht wieder aussendet.

Welche Tragweite ihr Versuch hat, wird den beiden Wissenschaftlern erst später klar: „Es war so, als wenn ein Forscher ein unbekanntes Land erforschen wollte und bemerkte, dass er, ohne es zu wissen, bereits eine vollständige Karte dieses Landes in den Händen hatte“, schreibt Franck rückblickend. Für ihr Experiment bekommen James Franck und Gustav Hertz den Physik-Nobelpreis 1925.

Im April 1914 präsentiert Gustav Hertz die Ergebnisse auf einer Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin. Gut drei Monate später beginnt der Erste Weltkrieg. James Franck meldet sich freiwillig. Wie auch Gustav Hertz wird er an der Front unter der Leitung von Fritz Haber im Gaskrieg eingesetzt. Später werden beide auch ans Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem abkommandiert. Dort müssen sie unter anderem im Selbstversuch die Tauglichkeit von Gasmasken testen.

Zwischen 1917 und 1921 arbeitet James Franck als Abteilungsleiter am Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie unter dem Direktor Fritz Haber. Danach



geht er als Professor für Experimentalphysik an die Universität Göttingen. Im Jahr 1933 sollte er Direktor des Physikinstituts der Berliner Universität werden. Doch dazu kam es nicht mehr.

Am 30. Januar 1933 wird Adolf Hitler Reichskanzler, einige Wochen später tritt das „Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums“ in Kraft. Beamte nichtarischer Abstammung sind demnach in den Ruhestand zu versetzen. Obwohl James Franck als ehemaliger Frontkämpfer davon ausgenommen ist, kann er den Affront nicht hinnehmen. Aus Protest tritt er freiwillig zurück, doch möchte sich kaum einer seiner Kollegen mit ihm solidarisieren.

Noch im selben Jahr verlassen er und seine Familie Deutschland. Franck verbringt mehr als ein Jahr als Gastwissenschaftler bei Niels Bohr in Kopenhagen, übernimmt eine Professorenstelle an der Johns Hopkins University in Baltimore und wechselt im Jahr 1938 an die University of Chicago. Während des Zweiten Weltkriegs ist er dort am „Manhattan-Projekt“ zur Entwicklung der Atombombe beteiligt. Als er erfährt, dass die Bombe auch nach der Kapitulation Nazideutschlands gegen Japan eingesetzt werden soll, ergreift er das Wort. Gemeinsam mit sechs anderen Wissenschaftlern verfasst er ein Memorandum, das als Franck-Report in die Geschichte eingehen wird und sich gegen einen Einsatz der Atombombe in Japan ausspricht.

Die Forscher weisen darin auf die Gefahr eines atomaren Wettrennens hin und setzen sich dafür ein, die Zerstörungskraft der neuen Waffe auf unbewohntem Gebiet zu demonstrieren, anstatt Japan anzugreifen. Der Appell bleibt erfolglos. Am 6. August 1945 explodiert die Bombe über Hiroshima, drei Tage später trifft es Nagasaki. Japan kapituliert.

Nach dem Krieg forscht James Franck vor allem auf dem Gebiet der Photosynthese. Dabei wird Sonnenenergie absorbiert und in die Form einer chemischen Bindung überführt. Der Wissenschaftler bleibt damit seinem Lieblingsthema treu: dem Energietransfer zwischen Atomen und Molekülen. Gustav Hertz wird nach Kriegsende als Spezialist für das sowjetische Atombombenprojekt verpflichtet; nach seiner Rückkehr im Jahr 1955 übernimmt er die Leitung des Physikalischen Instituts der Universität Leipzig. Er ist der einzige Nobelpreisträger, der in der DDR lebt und arbeitet. Franck stirbt 81-jährig bei einem Besuch in Göttingen, Hertz mit 88 Jahren in Ostberlin.

Der Franck-Hertz-Versuch zählt heute zu den Klassikern der Experimentalphysik. Als wichtige Stütze des Bohrschen Atommodells und Beleg für die Quantentheorie wird er auch im Physikunterricht immer wieder gern gezeigt.



Ein Haus erzählt Geschichte

Susanne Kiewitz, **Treffpunkt der Nobelpreisträger**, Das Harnack-Haus in Berlin-Dahlem

152 Seiten, Jaron-Verlag, Berlin 2016, 9,95 Euro

Geschichtsträchtige Orte gibt es viele. An den meisten hält man sich auf, ohne sich ihrer Bedeutung bewusst zu sein. So ging es mir lange Zeit mit dem Harnack-Haus, der Tagungsstätte der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin. Natürlich wusste ich, dass hier Nobelpreisträger ein und aus gingen wie etwa Albert Einstein, Rabindranath Tagore und Max Planck. Viele der Geschichten, die diesen Ort mit den Koryphäen ihres Fachs verbinden, waren mir allerdings unbekannt. Jetzt, nach der Lektüre des Büchleins über das Harnack-Haus, werde ich das Gebäude mit anderen Augen sehen – informierter, aufmerksamer und weniger unbedarft.

Denn die Geschichte des Ortes – von der Gründung als Faculty Club im „deutschen Oxford“ über die Zeit des Nationalsozialismus bis hin zum Offiziersclub der US-Armee im Kalten Krieg – macht deutlich, dass Intelligenz kein Garant für Zivilcourage ist. Geniale Wissenschaftler wie Konrad Lorenz, der hier die Idee einer neuen Disziplin, der Verhaltensforschung, etablierte, ließen sich von der Ideologie des Nationalsozialismus instrumentalisieren oder schlugen aus der Nähe zur Macht zumindest Profit.

Im Gästebuch des Hauses hatten sich nicht nur Adolf Hitler, Heinrich Himmler und Hermann Göring namentlich verewigt, hier trafen sich auch Werner Heisenberg, Otto Hahn und Albert Speer, der Rüstungsminister und einer der engsten Hitler-Vertrauten, um sich über die Möglichkeit einer deutschen Atombombe auszutauschen.

Viele jüdische und politisch engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die auf dem Dahlemer Campus forschten, emigrierten oder bezahlten mit ihrem Leben: Lise Meitner, Forschungspartnerin von Otto Hahn, hatte einen großen Anteil an der Entdeckung der Kernspaltung. Sie floh im Jahr 1938 nur mit zwei Handkoffern aus Berlin, zuerst in die Niederlande und von dort aus nach Stockholm. Arvid Harnack und seine Frau Mildred Fish-Harnack nutzten das Tagungshaus, um ihren Kampf gegen Hitler zu organisieren, und wurden später als Widerstandskämpfer durch das NS-Regime hingerichtet.

Es sind die lebendigen Porträts zahlreicher Persönlichkeiten, die dieses Buch zu etwas Besonderem machen. Sie werden durch Schwarz-Weiß-Fotos der damaligen Zeit ergänzt. So sieht man auf Bildern den Biochemiker und Lebemann Otto Warburg mit seinem Lieblingspudel oder hoch zu Ross auf Rügen. Otto Hahn und Lise Meitner stecken bei Hahns 80. Geburtstag ihre Köpfe zusammen. Tagore ist tief in die Lektüre eines Buchs versunken, das er in der Lobby des Harnack-Hauses liest.

Wer die Räumlichkeiten der Tagungsstätte nach ihrer Renovierung 2012 bis 2014 kennt, der kann auf einem Bild die Meerestiere-Uhr entdecken, die jetzt den wiederhergestellten Hörsaal ziert. Die amerikanischen Soldaten hatten diesen nach dem Krieg zu einer Marine-Bar umgestaltet. Hier fanden Tanzveranstaltungen und Thanksgiving-Dinner statt. Die Angehörigen der Berlin Brigade aßen hier

häufig zu Mittag und kamen auch zum abendlichen Chill-out oder zu sommerlichen Barbecue-Partys zusammen.

Ich habe mir vorgenommen, während eines Aufenthalts im Harnack-Haus an einer Stadtführung durch Dahlem teilzunehmen. Die Max-Planck-Gesellschaft veranstaltet diese für alle, die das Buch neugierig gemacht hat. Ein Rundgang folgt den Spuren der Nobelpreisträger und erinnert an herausragende Ereignisse der Wissenschaftsgeschichte, deren Folgen bis heute spürbar sind und nicht nur die Welt der Forschung revolutioniert haben.

Susanne Kiewitz, Historikerin und Mitarbeiterin der Max-Planck-Pressestelle, rückt auch die Frauengestalten am Campus in den Fokus. Neben Lise Meitner ist dies vor allem Clara Immerwahr. Die Chemikerin beging 1915 in Dahlem Suizid. Ihr Leben steht für das erfolglose Ringen um berufliche Selbstbehauptung. Denn ihr Ehemann, der spätere Nobelpreisträger Fritz Haber, wollte seine Frau nicht in der Forschung sehen, obwohl er selbst Frauen beschäftigte.

Die Agrarchemikerin Margarete von Wrangell zum Beispiel arbeitete in den 1920er-Jahren in Habers Institut und wurde später eine der ersten ordentlichen Professorinnen. Ihr gelang es, beruflichen Erfolg und Privatleben zu vereinbaren. Als Gründerin des Deutschen Akademikerinnenbunds, der ebenfalls im Harnack-Haus tagte, sorgte sie auch dafür, dass Wissenschaftlerinnen sich systematisch vernetzten und ihre Interessen öffentlich geltend machten.

Barbara Abrell



Plauderei aus dem Nistkästchen

Peter Berthold, **Mein Leben für die Vögel** und meine 60 Jahre mit der Vogelwarte Radolfzell

216 Seiten, Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart 2016, 19,99 Euro

Zittau, 19. November 1952. Auf einem Fensterbrett im Hause Berthold schnappt eine Falle zu, fachkundig konstruiert aus einer Zigarrenkiste und einem Schlagnetz. Der Fang: eine Kohlmeise mit einem Aluminiumring am Bein, darauf die Prägung „H69870 Radolfzell Germania“. Für den jugendlichen Fallensteller markiert der kleine Vogel den Beginn einer Leidenschaft. Von nun an will der 13-jährige Peter Vogelforscher werden und eines Tages an dem verheißungsvollen Ort namens Radolfzell arbeiten. Dieses Ziel verfolgt er fortan konsequent und mit viel Ehrgeiz.

Nach dem Abitur absolviert Peter Berthold ein Biologiestudium, ergänzt durch Chemie und Geografie. Nebenbei arbeitet er bereits seit seiner Schulzeit wie besessen als Vogelberinger. Allein im Jahr 1961 beringen er und sein Vater – von Beruf Polizist – „4022 Individuen 86 verschiedener Arten (!)“, darunter Rohrsänger, Raubwürger, Schwarzhalstaucher und eine Doppelschnepfe. Nach den Bestandsrückgängen der letzten Jahrzehnte heute undenkbar. Berthold klettert die akademische Leiter empor, wird studentische Hilfskraft, Doktorand, Postdoc, wissenschaftlicher

Mitarbeiter, Örtlicher Leiter und schließlich Direktor der Vogelwarte Radolfzell.

Schwerpunkt seiner Arbeit ist die Erforschung des Vogelzugs. In einem beispiellosen Großprojekt untersuchen er und seine Kollegen das Zugverhalten von Mönchsgrasmücken. Dafür errichten die Wissenschaftler die Volierenanlage „Blackcap-City“, in der die Vögel erfolgreich brüten. Im Laufe der Jahre ziehen sie rund 3000 Jungtiere von Hand groß – ein Aufwand, den sich weltweit kein anderes Institut leistet. Das Mammutprojekt soll Kernfragen der Vogelzugforschung klären. Es liefert etwa die Erkenntnis, dass die Zugaktivität ein populationspezifisches, genetisch festgelegtes Merkmal ist, das von Generation zu Generation weitergegeben wird.

Mein Leben für die Vögel ist ein sehr persönliches Buch, gewissermaßen eine Plauderei aus dem Nistkästchen, wie der Verlag ankündigt. Der Autor, der sich selbst als „Ornithomane, vielleicht sogar Ornithopath“ bezeichnet, verknüpft darin seine Memoiren mit der Geschichte seiner Wirkungsstätte. Diese nimmt ihren Anfang in der 1901 gegründeten Vogelwarte

Rossitten. Im Jahr 1946 geht daraus die Vogelwarte Radolfzell hervor, Teilinstitut des Max-Planck-Instituts für Ornithologie.

Seinen Werdegang schildert Peter Berthold sehr selbstbewusst und mit provokanter Offenheit. Er zeichnet seinen Weg in die Wissenschaft nach, erzählt von seiner Arbeit als (Feld-)Ornithologe und gibt so manche Anekdote aus seinem mitunter feuchtfröhlichen Studentenleben zum Besten. Sprachlich mag er es überbordend: „Der Höhenflug in die hehren Sphären unserer Scientia amabilis vollzog sich über eine Art Himmelsleiter Sprosse für Sprosse“, heißt es etwa im Kapitel „Höhenflug und Absturz“. Mit Hang zum Detail und aus seinem ganz eigenen Blickwinkel schildert der Autor auch institutsinterne Querelen und Probleme.

Das Buch schließt mit einem Plädoyer für den Naturschutz. Mit unermüdlichem Eifer setzt sich Peter Berthold etwa für die Ganzjahresfütterung von Wildvögeln oder das Projekt „Biotopverbund Bodensee“ ein und tritt auch in Radio und Fernsehen auf. Jede Zeile seiner Autobiografie ist Ausdruck seiner unbändigen Leidenschaft für die Welt der Vögel. Elke Maier

Weitere Empfehlungen

- Walter Hehl, **Wechselwirkung**, Wie Prinzipien der Software die Philosophie verändern, 294 Seiten, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2016, 34,99 Euro
- Winfried Scharlau, **Das Glück, Mathematiker zu sein**, Friedrich Hirzebruch und seine Zeit, 454 Seiten, Springer Spektrum, Wiesbaden 2017, 44,99 Euro
- Peter Ward, Joe Kirschvink, **Eine neue Geschichte des Lebens**, Wie Katastrophen den Lauf der Evolution bestimmt haben, 544 Seiten, Deutsche Verlags-Anstalt, München 2016, 29,99 Euro

Standorte

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

Niederlande

- Nimwegen

Italien

- Rom
- Florenz

USA

- Jupiter, Florida

Brasilien

- Manaus

Luxemburg

- Luxemburg



MAX-PLANCK-GESellschaft

Impressum

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

Redaktionsanschrift

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

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung

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

Redaktion

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

Bildredaktion

Susanne Schauer (-1562)

Gestaltung

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

Litho

KSA Media GmbH
Zeuggasse 7
86150 Augsburg

Druck & Vertrieb

Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung

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

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

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften unterhält 84 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 22 300 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 6 000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2017 umfasst insgesamt 1,6 Milliarden Euro. Die **Max-Planck-Institute** betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die **Max-Planck-Gesellschaft** ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.

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



Forschung leicht gemacht.

Schafft die Papierstapel ab!

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

Internet: www.mpg.de/mpforschung

Kostenlos
downloaden!



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT