

IM WELTALL

Sterne, Galaxien, Supernovae

BRÖCKELNDES MATTERHORN Wenn der Permafrost schmilzt
ES STEHT GESCHRIEBEN Wie Kinderbibeln religiöse Inhalte vermitteln
GESTÖRTE HARMONIE Reformstau im Schweizer Bildungssystem

Kommen Sie auf unsere Seite.

Sind Sie bereit für
Ihren Karrieresprung?

axa-winterthur.ch/graduates
Jetzt online bewerben



Ein Sprung, der Sie voranbringt /

Wir bieten Studierenden und Hochschulabsolventen,
die wissen, was sie wollen, eine echte Perspektive.

axa-winterthur.ch/graduates

 **winterthur**
Finanzielle Sicherheit / neu definiert

SCIENCE SHOW

FORSCHUNGSMARKT

FORSCHENDE IM GESPRÄCH

FORSCHUNG NACHT DER

FREITAG, 25. SEPTEMBER 09
17:00 BIS 24:00 UHR
ZÜRICH – RUND UM DEN BÜRKLPLATZ

Forschung erleben am See –
mit über 500 Forscherinnen und Forschern –
in Zelten, auf Schiffen und auf der grossen
Science-Bühne.
Eintritt frei.
Programm und Wettbewerb:
www.nachterforschung.ch



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

 Universität Zürich

ALSTOM

Formatpartner:
azpo **Doodle**

Medienpartner:
Tages-Anzeiger

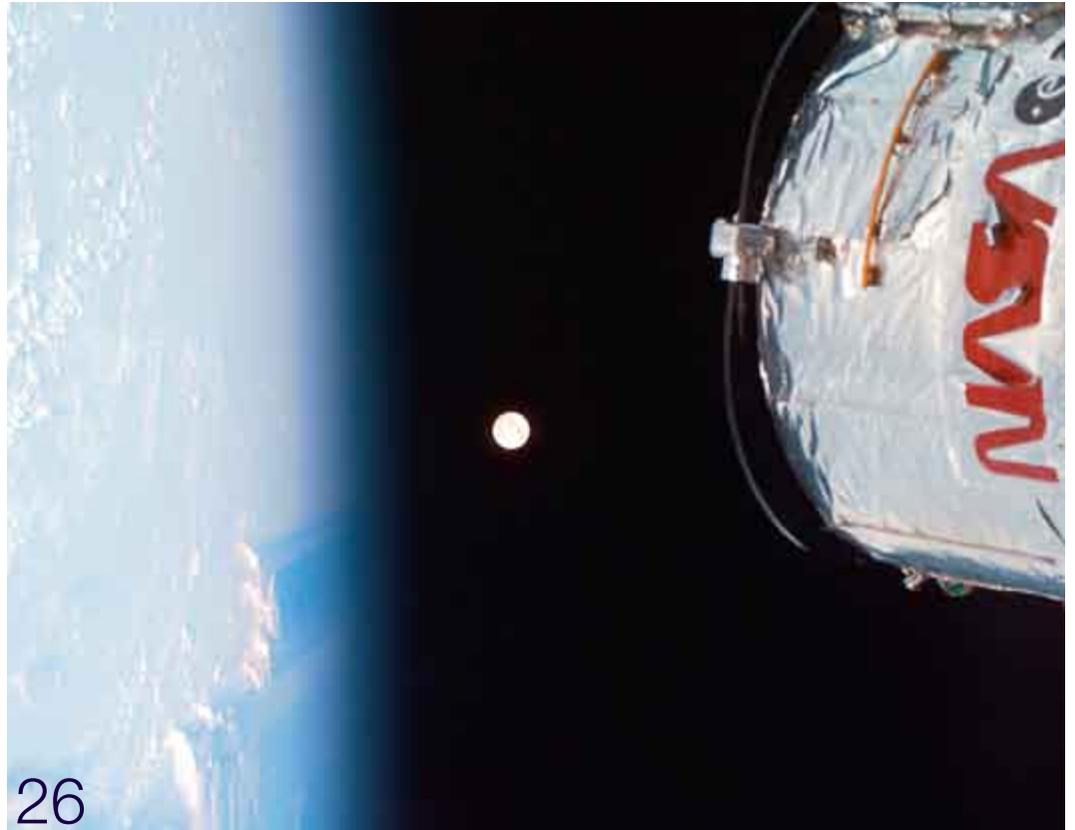
Basispartner und beteiligte Forschungsinstitutionen:
ABB (Schweiz) AG, Eawag, EMPA, ETH-Rat, Geberit AG, Hilti AG,
IBM Forschungslabor Zürich, Phonak AG, WSL, ZHAW, ZhdK

EIN MEER VON STERNEN

Vor 400 Jahren schaute Galileo Galilei mit einem selbst gebauten Fernrohr in den Nachthimmel. Er sah, was vor ihm noch nie ein Mensch gesehen hatte: Unsere Galaxie, die Milchstrasse, ist ein einziges Sternenmeer. Mit Galilei und seinem Kollegen Johannes Kepler begann im 17. Jahrhundert die moderne naturwissenschaftliche Erforschung des Universums. Seither haben Astronomen und Astrophysikerinnen unsere Vorstellung des Kosmos revolutioniert. Den grossen Fragen der aktuellen Astrophysik, die auch an der Universität Zürich intensiv und erfolgreich erforscht werden, ist das Dossier dieses unimagazins gewidmet.

Die Bildstrecke des letzten unimagazin-Dossiers zum Thema «Kinder» hat zu reden gegeben. So erreichte die Redaktion ein Protestschreiben von Professorinnen und Professoren des Deutschen Seminars. Die Unterzeichnenden zeigen sich darin äusserst irritiert über die publizierten Porträts der Fotografin Caroline Minjolle. Kritisiert wurde unter anderem, die Fotos inszenierten die abgebildeten Buben der Fotografin in «Imaginationen der Macht, Gewalt und Käuflichkeit» hinein. Gerne hätte die Redaktion diese Kritik zum Anlass für eine Diskussion über Tabus und Grenzen der Porträtfotografie, insbesondere von Kindern, in diesem unimagazin gemacht. Leider war dies nicht möglich. Die Redaktion legt Wert darauf, dass sie in keiner Weise die Gefühle der Leserinnen und Leser verletzen wollte.

Seit kurzem leitet Roland Gysin die Fachstelle Publishing der Abteilung Kommunikation, die auch für das unimagazin verantwortlich ist. Gysin ist Historiker und war zuvor verantwortlicher Redaktor der juristischen Zeitschrift «Plädoyer». Wir heissen ihn herzlich willkommen. – Mit dieser Ausgabe erhält das unimagazin einen sanft renovierten Auftakt. Neue Kurzbroschüren wie die Kolumne «Philosophie des Alltags» von Georg Kohler oder «Heureka» mit Nachrichten aus der Forschung sollen die Lektüre des unimagazins noch kurzweiliger machen. *Thomas Gull, Roger Nickl*



26

GRAND TOUR IM ALL Eine aufregende Reise durchs Universum in zehn Bildern, kommentiert von Astrophysiker Ben Moore.

28 GALAKTISCHE GENERATOREN Schwarze Löcher verschlingen Sterne und halten ganze Galaxien am Leben. Von Theo von Däniken

32 REISE IN DIE FINSTERNIS Ben Moore über den Urknall, Gott und das Ende des Universums. Interview von Thomas Gull und Roger Nickl

36 KOSMISCHE KANNIBALEN Grosse Galaxien wie die Milchstrasse wachsen, indem sie kleinere «fressen». Von Thomas Gull

40 STURZGEBURTEN Die Erde und die Planeten unseres Sonnensystems müssen in kürzester Zeit entstanden sein. Von Ruth Jahn

45 TEILCHEN MIT TARNKAPPE Ein grosser Teil des Universums besteht aus rätselhafter Dunkler Materie. Von Roger Nickl

49 AUF EXPANSIONSKURS Das Universum dehnt sich immer schneller aus. Verantwortlich dafür ist die Dunkle Energie. Von Thomas Müller

51 HALO, SUPERNOVA Astrophysiker sind erfinderisch, wenn es darum geht, kosmische Phänomene zu benennen – ein Glossar.



goldschmied
bickel

Stampfenbachstrasse 103
8006 Zürich
044 362 95 87
goldschmiedbickel@bluewin.ch

Design und Ausführung
im eigenen Atelier

MALTA ✪

**Sprachaufenthalt
in Malta**

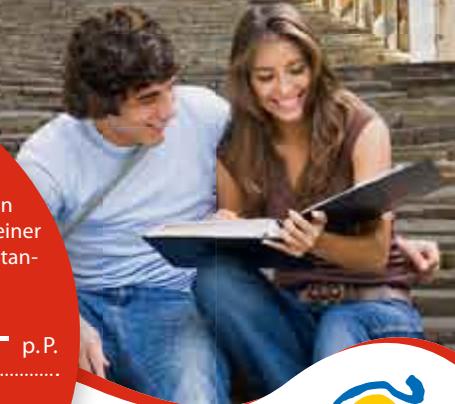
2-wöchiger Sprachaufenthalt
bei unserer Partnerschule ESE in
St. Julians inkl. Unterkunft bei einer
Gastfamilie im EZ mit HP und Stan-
dardkurs 20 Lektionen/Woche

ab **CHF 1090.-** p.P.

PRO LINGUIS
Sprachaufenthalte weltweit

www.prolinguis.ch
Gratisnummer 0800 777 224

Der Geheimtipp des
Mittelmeers
www.urlaubmalta.com



Viva Italia Cucina tradizionale!

Bei uns erleben Sie die wahre Italianità mit typischen Spezialitäten, wie man sie normalerweise nur in Italien genießt: Unsere hervorragenden Pizzas, hergestellt nach Originalrezepten des Pizza-Weltmeisters und ausgezeichnet mit dem Gütesiegel «Napoletanische Qualitätspizza DOC», unsere hausgemachten Teigwaren, erlesenen Fleisch- und Fischgerichte sowie feinen Dolci werden Sie ebenso begeistern wie unser freundlicher Service und südländisches Ambiente.

«Buon appetito!»



**SchülerInnen, StudentInnen und Lehrbeauftragte
essen gegen Vorweisung ihrer Legi 15 Prozent günstiger.
Gilt auch für eine Begleitperson!**

Wir sind sieben Tage in der Woche für Sie da:

Ristorante FRASCATI

Zürich, Bellerivestrasse 2, Tel. 043 / 443 06 06

Ristorante Pizzeria MOLINO

Zürich, Limmatquai 16, Tel. 044 / 261 01 17

Zürich, Stauffacherstrasse 31, Tel. 044 / 240 20 40

Winterthur, Marktgasse 45, Tel. 052 / 213 02 27

Wallisellen, Einkaufszentrum Glatt, Tel. 044 / 830 65 36

Uster, Poststrasse 20, Tel. 044 / 940 18 48

Dietikon, Badenerstrasse 21, Tel. 044 / 740 14 18

www.molino.ch



weiterbildung an der
universität zürich

Weiterbildung an der Universität Zürich – wo Forschung und Wissenschaft die berufliche Praxis prägen.

Unser Weiterbildungsangebot umfasst über 60 Weiterbildungsstudiengänge und über 30 ein- bis mehrtägige Weiterbildungskurse.

Fordern Sie bei uns Unterlagen an unter 044 634 29 67 oder informieren Sie sich auf unserer Website: www.weiterbildung.uzh.ch

Infoabend
21. september 09
18.00 – 21.00 uhr

zentrum für weiterbildung
der universität zürich

weiterbildung



IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN

Universitätsleitung der Universität Zürich
durch die Abteilung Kommunikation

LEITER PUBLISHING

Roland Gysin, roland.gysin@kommunikation.uzh.ch

VERANTWORTLICHE REDAKTION

Thomas Gull, thomas.gull@kommunikation.uzh.ch
Roger Nickl, roger.nickl@kommunikation.uzh.ch

AUTORINNEN UND AUTOREN

DIESER AUSGABE

Theo von Däniken, theo.vondaeniken@kommunikation.uzh.ch | Michael Ganz, michael.t.ganz@gmx.net | Dr. Susanne Haller-Brem, ds.haller-brem@vtxmail.ch | Maurus Immoos, maurus.immoos@bluewin.ch | Ruth Jahn, ruth.jahn@gmx.ch | Prof. Georg Kohler, kohler@philos.uzh.ch | Paula Lanfranconi, lanfranconi@dplanet.ch | Thomas Müller, thm@datacomm.ch | Adrian Ritter, adrian.ritter@kommunikation.uzh.ch | Simona Ryser, simona.ryser@bluewin.ch | Antoinette Schwab, a.schwab@datacomm.ch | Prof. Philip Ursprung, ursprung@khist.uzh.ch

FOTOGRAFINNEN UND FOTOGRAFEN

Ursula Meisser, foto@umeisser.ch | Meinrad Schade, meinrad.schade@gmx.ch | Jos Schmid, jos@josschmid.com | Gerda Tobler (Illustration), gerda@gerdatobler.ch

GESTALTUNG/DTP

HinderSchlatterFeuz, Zürich
mail@hinderschlatterfeuz.ch

KORREKTORAT, DRUCK UND LITHOS

NZZ Fretz AG, Schlieren

ADRESSE

Universität Zürich
Kommunikation, Redaktion unimagazin
Rämistrasse 42, CH-8001 Zürich
Tel. 044 634 44 50 Fax 044 634 43 55
unimagazin@kommunikation.uzh.ch

INSERATE

Kretz AG,
General Wille-Strasse 147, CH-8706 Feldmeilen
Tel. 044 925 50 60 Fax 044 925 50 77
annoncen@kretzag.ch

AUFLAGE

22000 Exemplare. Erscheint viermal jährlich

ABONNENTEN

Das unimagazin kann kostenlos abonniert werden: publishing@kommunikation.uzh.ch

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck von Artikeln mit Genehmigung der Redaktion



Dieses Produkt wurde klimaneutral produziert.

FORSCHUNG



SCHMELZENDE GIPFEL

Geografen erforschen den Permafrost

16 MOSES ALS COMICS-HELD

Wie Kinderbibeln erzählen

18 VEGETIERENDE FERKEL

Ein Virus wütet im Schweinestall

22 ZAHNSCHMELZ ZÜCHTEN

Gesunde Zähne dank neuen Geweben

24 DIE MORAL IM KOPF

Neuro-Revolution im Gerichtssaal?

RUBRIKEN



WENIG HARMONISCH

Lucien Criblez zur Bildungsreform

6 HEUREKA

7 PHILOSOPHIE DES ALLTAGS

8 SMALLTALK

9 EIN BUCH FÜRS LEBEN

11 KUNSTSTÜCK/RÜCKSPIEGEL

54 ESSAY

Der Teufel und das Latein

56 PORTRÄT

Brigitte von Rechenberg

64 BÜCHER

66 SCHLUSSPUNKT



Wer in alpinen Höhenlagen wie etwa in Arosa (Bild) wohnt, lebt länger.

GESUNDE HÖHENLUFT, NEUE PLANETEN

LÄNGER LEBEN IN DEN BERGEN

Höhenluft schont Herz und Kreislauf, dies belegt eine Studie des Instituts für Sozial- und Präventivmedizin, die in der Fachzeitschrift «Circulation» veröffentlicht wurde. David Fäh, Felix Gutzwiller und Matthias Bopp weisen darin nach, dass das Risiko, an einem Herzinfarkt oder an einem Hirnschlag zu sterben, mit der Höhe des Wohnorts korreliert. Es sinkt pro 1000 Meter Höhendifferenz um 22 beziehungsweise um 12 Prozent. Aber nicht nur das: Wer etwa in Sankt Moritz lebt und dort auch geboren wurde, läuft weniger Gefahr, an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung zu sterben, als Zuzüger aus dem Unterland. «Und im Engadin Geborene, die später in tieferen Lagen leben, behalten einen Teil des schützenden Höheneffekts», betont Forscher David Fäh. Möglich wird dieser schützende Effekt wahrscheinlich durch Anpassungen des Körpers an die Höhe und günstigere klimatische Faktoren wie Luftqualität und Son-

nenstrahlung. Basis der Studie waren Daten der Swiss National Cohort, einer Verknüpfung von Personendaten aus den Volkszählungen von 1990 und 2000 sowie dem Sterberegister.

QUELLE Circulation. 2009;120:495-501

JENSEITS DER MILCHSTRASSE

Bisher ist es der Wissenschaft noch nicht gelungen, Planeten ausserhalb unserer Galaxie, der Milchstrasse, nachzuweisen. Dies könnte sich jedoch bald ändern, wie Physiker Philippe Jetzer gemeinsam mit einem internationalen Forscherteam in einer Studie in der Wissenschaftszeitschrift «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» zeigt. Die Helligkeit eines Sterns wird durch die Gravitationskräfte eines vor ihm durchziehenden Planeten kurzzeitig vergrössert. Aufgrund dieses sogenannten Gravitationsmikrolinseneffekts konnten bislang acht Planeten in der Milchstrasse ausserhalb unseres Sonnensystems aufgespürt werden. Für den

Nachweis von Objekten, die mehrere Millionen von Lichtjahren entfernt sind, war es bisher nicht möglich, die winzigen Helligkeitsschwankungen einzelner Sterne festzustellen. Genau dies ist den Astrophysikern um Philippe Jetzer nun gelungen. Die Forscher haben auch bereits einen ersten Kandidaten geortet: einen Planeten von der sechsfachen Grösse des Jupiters in der benachbarten Andromeda-Galaxie.

QUELLE Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS), 2009, arXiv:0906.1050v1

SCHWEIZER SIND «JOB-KEEPER»

Schweizer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer schätzen ihre Bereitschaft zur Mobilität hoch ein. Dies belegt das aktuelle HR-Barometer, das alljährlich vom Betriebsökonom Bruno Staffelbach von der Universität Zürich und von der ETH-Arbeitspsychologin Gudela Grote erhoben wird. Fast ein Drittel der Befragten kann sich einen berufsbedingten Wohnortwechsel vorstellen, gar 40 Prozent könnten sich mit einem Berufswechsel anfreunden. Im vergangenen Jahr gehörten allerdings rund 80 Prozent der Schweizer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer zu den Job-Keepern. Sie wechselten weder den Beruf noch den Arbeitgeber. Doch was bewegt Arbeitnehmer, den Arbeitsplatz zu wechseln? Häufig werden das Fehlen eines angenehmen Betriebsklimas, einer abwechslungsreichen Tätigkeit und die Unvereinbarkeit mit der eigenen Lebensgestaltung und mit Karriereplänen als Gründe für einen Stellenwechsel genannt. Der Lohn spielt hingegen eine untergeordnete Rolle.

QUELLE HR-Barometer 2009, Verlag NZZ Libro

LEBER ALS IMMUNORGAN

Ziehen wir uns bei einem Sturz eine Schürfung zu, wird in unseren Lymphknoten Alarm geschlagen. Denn in den kleinen Organen, die in der Hals-, Achsel- und Leistengegend besonders dicht vorkommen, werden Immunreaktionen ausgelöst. Während in den Lymphknoten enthaltene T-Zellen die Verteidigungsreaktion gegen eindringende Erreger steuern, verwandeln sich die sogenannten B-Lymphozyten in antikörperproduzierende Zellen, die

VOM STAUNEN DER PHILOSOPHIE

den Organismus mit Antikörpern überfluten und so schützen. Der Immunologe Burkhard Becher von der Universität Zürich hat nun gemeinsam mit einem Team von Forscherinnen und Forschern bei Mäusen entdeckt, dass T-Zellen auch ohne Lymphknoten aktiviert werden können. «Das ist höchst überraschend», sagt der Wissenschaftler. Als Ersatzstruktur für die Immunreaktion haben die Forscher die Leber ausfindig gemacht. Sie ist während der Entwicklung eines Embryos das erste Organ, das diesen mit Blut und Immunzellen versorgt. Offenbar bleibt diese Funktion gespeichert, sodass die Leber uns noch im Erwachsenenalter als «Immunorgan» dienen kann.

QUELLE PLoS Biology Volume 7, Issue 5, 2009.
doi:10.1371/journal.pbio.1000109

ÜBERZÄHLIGE EMBRYONEN

Eine Mehrheit der Schweizer Paare wäre bereit, ihre überzähligen Embryonen entweder der Forschung oder anderen Paaren zur Verfügung zu stellen. Das zeigt eine Befragung des Instituts für Sozial- und Präventivmedizin. Die Verwendung von überzähligen Embryonen durch die Forschung ist heute gesetzlich erlaubt. 70 Prozent der Eltern, die fruchtbarkeitsmedizinische Verfahren in Anspruch genommen haben, um sich ihren Kinderwunsch zu erfüllen, würden ihre nicht verwendeten Embryonen der Forschung überlassen. 52 Prozent würden eine Embryonen-Spende an ein anderes Paar der Vernichtung der Embryonen vorziehen. «Obwohl sie verboten ist, wird die Embryonen-Spende der Zerstörung der Embryonen vorgezogen», resümiert Felix Gutzwiller, Professor am Institut für Sozial- und Präventivmedizin. Gutzwiller schliesst daraus, die Gesetzgebung müsse immer wieder «im Lichte der wandelnden Einstellungen der Bevölkerung hinterfragt werden».

QUELLE Human Reproduction, May 4, 2009,
doi:10.1093/humrep/dep105

«Heureka» informiert über neue Publikationen von Forschenden der Universität Zürich. Ausführliche Berichte: www.mediadesk.uzh.ch



«Nicht um des blossen Überlebens, um des guten Lebens willen, existieren wir.» So lautet einer der grundlegenden Gedanken von Aristoteles praktischer Philosophie. Er ist so einfach wie tiefinnig, Quintessenz ebenso wie Ausgangspunkt weitreichender Überlegungsgänge – in die Anthropologie, die Ethik, die Theorie menschlichen Geistes. Der Gedanke beschäftigt mich, seit ich ihm am Anfang meines Studiums begegnet bin. In einer klugen Zusammenfassung der aristotelischen Lehre übrigens, bei Habermas oder Höffe. Was unter anderem zeigt, dass auch in der Philosophie, wie im Theater, die grossen Stücke die Wiederholung in der Sprache der eigenen Zeit, die Neuinszenierung, benötigen, um lebendig zu bleiben.

Nicht um des blossen Überlebens, um des guten Lebens willen, existieren wir ... Wer das begriffen hat, weiss, dass Menschen Wesen sind, die unwillen ihrer Vorstellung von dem, was für sie gut und das Gute ist, ihr physisches Dasein aufs Spiel setzen und preisgeben können. Und es sind gewiss nicht bloss die schauderhaften Kriegshelden, die das immer wieder bezeugen – der trojanische Hector, der eidgenössische Winkelried, aber auch (man sollte diese Assoziation nicht unterdrücken) die gläubigen Fanatiker des Terrors des 11. September 2001.

Schon die tägliche Anstrengung im Umgang mit den anderen und uns selbst, es «richtig zu machen», besser und endlich gut – bei den Dingen des Lebens und der Liebe –, rechtfertigt den aristotelischen Satz. Alle Bemühung, unser Leben – im eigentlichen Sinn des Wortes – zu «führen», es also nicht bedingungslos passieren zu lassen; jede Wahl, die wir zu treffen

haben und jeder Ärger, jedes Hochgefühl und jede Verzweiflung über das Gelingen und Ungelingen unserer Daseinsvollzüge; all dies, was wir bewusst und vielleicht sogar auch das, was wir unbewusst sind, erinnert an die Triftigkeit dieser Einsicht, sofern man nur einmal begonnen hat, ihr ein bisschen nachzudenken. Was es heisst, auf menschliche Weise lebendig zu sein, erkennt man allein dann, wenn auf das Geflecht von Zielen, Werten, Normen geachtet wird, in welches unser Verhalten immer schon verstrickt ist – und zu dem wir uns notwendigerweise stets irgendwie verhalten müssen: indem wir eben das Richtige und nicht das

Menschen sind Wesen, die unwillen ihrer Vorstellung von dem, was für sie das Gute ist, ihr Dasein aufs Spiel setzen können.

Falsche, das von uns Bejehbare und nicht ausgerechnet das, was wir selber für verkehrt halten, zu tun versuchen.

Menschliches, bewusstes Leben ist deshalb wesensmässig auf die fundamentale Differenz zwischen guter und ungueter Selbsterhaltung geeicht und darum auf ursprünglichste Weise selbstreflexiv-intentional und nicht deterministisch verfasst. Anders gesagt: Die Erfahrung der Freiheit – und die der Qual der Wahl – sind vom menschlichen Selbstbewusstsein nur um den Preis seiner Zerstörung zu trennen. Damit man mich richtig versteht: Das ist kein Angriff auf Gehirnforschung und Neuropsychologie und deren Entdeckungen determinierender Strukturen, in die unser Denken und Fühlen unzweifelhaft, irgendwie, eingefügt ist. Es ist einfach ein Hinweis auf die alltäglich offenbare Rätselhaftigkeit unseres eigenen Selbst. Im Staunen, meinte Platon, beginne die Philosophie.

Georg Kohler ist Professor für Philosophie an der Universität Zürich



Brigitte Frizzoni untersucht Geschlechterpositionierungen im «Frauenkrimi».

«HOMME FATAL»

Brigitte Frizzoni, welchen Krimi haben Sie zuletzt gelesen?

BRIZZONI: Ich habe vor allem Sekundärliteratur zu Krimis gelesen. Kürzlich wieder hervorgehoben habe ich aber die Eva-Wylie-Trilogie der englischen Autorin Liza Cody.

Sie sind Oberassistentin am Institut für populäre Kulturen und haben sich wissenschaftlich mit Krimis von Frauen auseinandergesetzt – was ist denn ein «Frauenkrimi»?

FRIZZONI: Der Begriff ist sehr umstritten. «Frauenkrimi» ist ein Label, das sich eine kurze Zeit lang durchgesetzt hat. Heute ist es aus dem Buchmarkt verschwunden – das Genre, könnte man sagen, hat sich erfolgreich emanzipiert und ist heute ein selbstverständlicher Teil der Krimi-Literatur. «Frauenkrimis» in meiner Definition sind von Frauen geschrieben und haben eine weibliche Hauptfigur. Wichtig ist zudem, dass in diesen Krimis Positionen verhandelt werden, die vor dem Hintergrund

der zweiten Frauenbewegung seit den 1970er-Jahren diskutiert wurden. Autorinnen aus diesem Umfeld schlossen sich im Netzwerk «Sisters of Crime» zusammen. Die Autorinnen kämpften so gegen die Diskriminierung von Frauen im Kulturbetrieb an. Ihr Ziel war es, mehr Aufmerksamkeit für weibliches Schreiben zu schaffen und für subtile Diskriminierungsstrategien zu sensibilisieren.

Sie untersuchen in Ihrer Studie Frauenkrimis als Ort «der Verhandlung neuer Geschlechterpositionen».

Was meinen Sie damit?

FRIZZONI: Das Genre hat sich seit den 1970er-Jahren stark verändert: Frühe Frauenkrimis waren im Vergleich zu heute sehr kämpferisch und teilweise auch plakativ geschrieben. Der Wandel lässt sich gut an der Schilderung der Sexualität aufzeigen: In frühen Texten ist Sexualität – etwa im Zusammenhang mit Vergewaltigung – ein sehr problematisches Thema. Das ändert sich mit der Zeit: Sie wird immer mehr

zu einem lustvollen Ort. Damit verbunden, wandeln sich auch die literarischen Frauen- und Männer-Figuren. Der Mann und der schöne Männerkörper werden zum begehrten Liebesobjekt. In meiner Arbeit haben mich nicht nur die Romane selbst, sondern auch die wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und verlegerischen Diskurse, die sie ausgelöst haben, interessiert. Auch in diesen Diskussionen kann man feststellen, wie sich die Aufmerksamkeit verlagert. Die Blickstrukturen verändern sich: Der Mann wird zum erotischen Objekt und kann das auch genießen. Neben der «Femme fatale» entsteht der «Homme fatal», bei dem man nie so genau weiss, ob man ihm trauen kann.

Können Sie sich diesen Wandel erklären?

FRIZZONI: Das hat mit gesamtgesellschaftlichen Veränderungen zu tun. Typisch für Genre-Literatur ist, dass sie von gesellschaftlich virulenten Diskussionen geprägt ist, diese aber auch mitgestaltet. Die sozialen Bewegungen der 1970er-Jahre – Frauen-, Lesben- und Schwulen- und Bürgerrechtsbewegungen – haben zu einem tief greifenden gesellschaftlichen Wandel geführt. Das schlägt sich auch in der Populärliteratur nieder. Die Verschiebungen in den Geschlechterpositionen sind natürlich immer auch mit Verunsicherungen verbunden: In der Figur des «Homme fatal» etwa spiegeln sich auch Ängste. Denn klare Geschlechterpositionen haben ja auch etwas Versicherndes – wenn nun, sehr plakativ gesprochen, der Mann nicht mehr der Feind, sondern auch ein lustvolles Liebesobjekt ist, ist das mit Unsicherheit verbunden.

Nach Ihrer intensiven Beschäftigung mit dem Genre: Welchen «Frauenkrimi» würden Sie unbedingt empfehlen?

FRIZZONI: Die Bücher von Liza Cody sind für mich ein Highlight. *Interview Roger Nickl*

LITERATUR Brigitte Frizzoni: *Verhandlungen mit Mordsfrauen. Geschlechterpositionierungen im «Frauenkrimi»*, Chronos Verlag 2009

Die Krimis von Liza Cody sind im Goldmann-Verlag, München, sowie im Argument-Verlag, Hamburg, auf Deutsch erschienen.

WHAT IS LIFE?

Es war der letzte Sommer vor Beginn meines Universitätsstudiums. Ich hatte mich für Physik eingeschrieben und verbrachte nun meinen letzten sorgenfreien Sommer mit «leichter» Physik-Lektüre. Doch dann machte ich eine verhängnisvolle Entdeckung: ein kleines Büchlein von Erwin Schrödinger. Schrödinger, theoretischer Physiker, Nobelpreisträger, ehemaliger Professor an der Universität Zürich, ist bekannt unter Physikern für die nach ihm benannte Schrödingergleichung und bei der breiteren Bevölkerung für sein Gedankenexperiment mit der Katze in der Kiste, die nach Gesetzen der Quantenphysik gleichzeitig lebendig und tot sein soll, zumindest bis ein Beobachter mal nachschaut, wie es ihr wohl geht.

Nun, das merkwürdige an diesem Buch war, dass es nicht um Physik ging, sondern um Biologie. «What is life» (Was ist das Leben) hiess es, und es beinhaltete Schrödingers Gedanken

zu einer interessanten Frage: Genügen die Regeln der Physik und der Chemie, um das Leben zu beschreiben, oder braucht es neue, zusätzliche Regeln, die nur bei Lebewesen zur Anwendung kommen? Schrödinger kommt zum Schluss, dass das erste wohl richtig ist. Der Autor kommt auch, durch rein logisches Denken, ganz nahe an eine exakte Beschreibung des Erbmateri als (DNS), das er sich als einen «aperiodischen Kristall» vorstellt.

Dieses Buch gab mir zu denken. Warum befasst sich ein Physik-Nobelpreisträger mit Biologie? Ich ging der Sache nach und merkte, dass er nicht der Einzige war. Max Delbrück, Francis Crick und noch viele andere Physiker der Zeit machten denselben Sprung. Zusammen leisteten sie einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung einer neuen Forschungsrichtung – der Molekularbiologie. Damals war ich noch jung und ungeduldig. Ich dachte: «Warum soll auch ich diesen Umweg über die Physik machen? Wenn Biologie wirklich so interessant ist, dann lerne ich es sofort!» Und schrieb mich

prompt für ein Studium der Biochemie um. Diesen Schritt habe ich nie bereut. Heute bin ich aber weiser und weiss, dass das Studium der Physik kein Umweg ist, sondern dass die Physik einen essenziellen Beitrag zum Verständnis des Lebens liefert. In der Tat wagt heute wieder eine neue Generation von Physikern den grossen Sprung und trägt zur Entwicklung einer neuen Forschungsrichtung bei – der Systembiologie. Uns allen wünsche ich die gleiche offene, kritische Geisteshaltung wie damals Schrödinger. Mögen wir zu neuen Ufern aufbrechen!



Michael Hengartner ist Ernst Hadorn Stiftungsprofessor für Molekularbiologie an der Universität Zürich.

Ernst Schrödinger: *What is Life?* (1944) Deutsche Ausgabe: *Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet*, Piper Verlag 1989

Nicht nur in den Semesterferien Geld verdienen?

Ganz einfach.

Mit den neuen **Teilzeitjobs**

in unseren Sunrise centers.

Jetzt bewerben auf sunrise.ch/jobs



waterpik®



Die echte Schall- zahnbürste Waterpik Sensonic

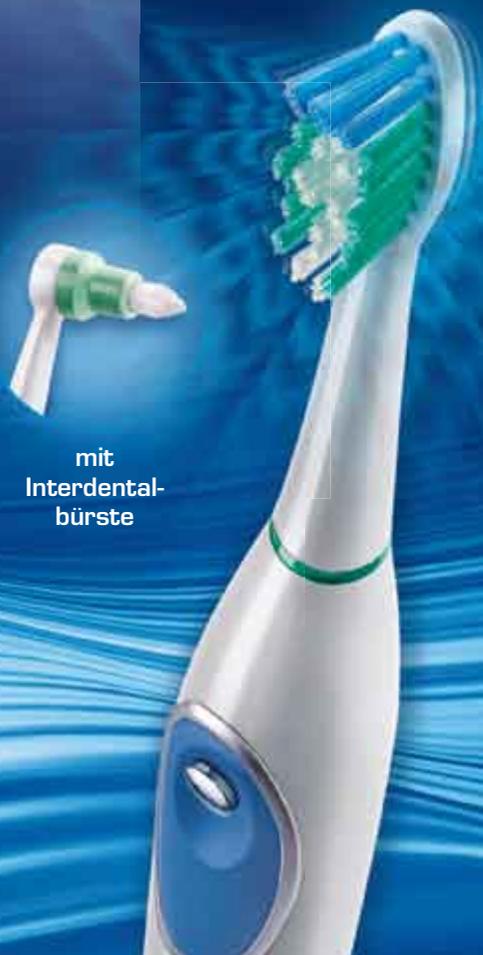
Professional SR 1000E

Die Waterpik Schallzahn-
bürste zerstört täglich
den immer wieder ent-
stehenden Biofilm im
Munde, an den Zähnen
und teilweise in den
Taschen (Abb. 13). Dies
einerseits durch die me-
chanische, sanfte Reini-
gung und andererseits
durch die Zerstörung des
Biofilmes (Swiss Dent: 11-
12/06, Therapiekonzept
Full Mouth Disinfection).

Mit 30000 wippenden
Bewegungen pro Minute –
entfernt hochwirksam den
Plaque-Biofilm.

- Reinigt schonend ohne Druck
- Mit zwei Funktionsstufen
- Geeignet bei empfindlichen Zahn-
hälsen, Implantaten und für
Spangenträger

Für gesündere Zähne
ein Leben lang!



mit
Interdental-
bürste

BioMed

Biomed AG
8600 Dübendorf

Tel. 044 802 16 16
Fax 044 802 16 00

biomed@biomed.ch

Warum ein Mac?

Das ist genau die Frage,
die wir gern beantworten.



Microsoft Office-tauglich
Auf einem Mac erstellte
Word, PowerPoint und Excel
Dateien sind mit Windows
kompatibel.



**Kameras lassen sich
leicht anschliessen**
Dank vorinstallierter Treiber
lassen sich Kameras und
Drucker einfach anschliessen.



Wi-Fi fähig
Jeder neue Mac ist Wi-Fi
fähig. Verfügbare Netzwerke
werden automatisch ange-
zeigt, sodass Sie mit einem
Mausklick auf ein Netzwerk
im Nu online sind.



Musik, Fotos und mehr
Mit einem Mac können Sie
ganz leicht Fotos weiterge-
ben, Musik geniessen, eige-
ne Fotobücher und Filme
erstellen und mehr. Sogar
sehr viel mehr.



Mac OS X Leopard
Das Betriebssystem des Mac
bietet mehr als 300 nützliche
und nutzerfreundliche Funktio-
nen, die alle sofort nach dem
Einschalten bereit sind.



**Und ja, ein Mac kann sogar
Windows verwenden.**

Wir sind die Apple Education Spezialisten in Ihrer Nähe.

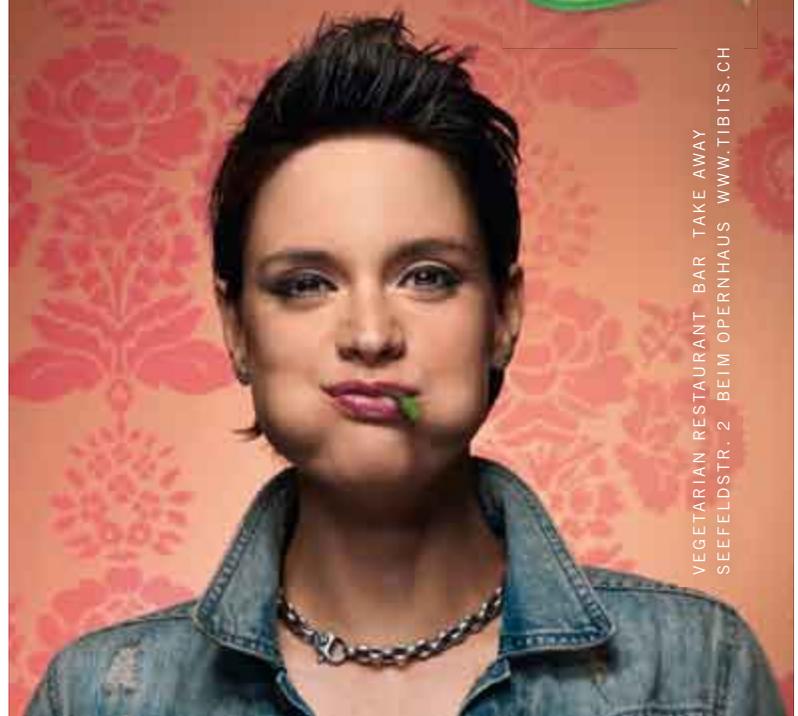


Infos unter: www.dataquest.ch/filialen
Bern, Biel/Bienne, Dietikon, Luzern,
Schaffhausen, Zug, Zürich



Männer, bei uns
behauptet die Freundin
nicht, ihr hört nie zu.

WO FRAUEN ESSEN STATT REDEN. **tibits**



VEGETARIAN RESTAURANT BAR TAKE AWAY
SEEFELDSTR. 2 BEIM OPERNHAUS WWW.TIBITS.CH

winz



Silvia Bächli: Zeichnungen und Fotografien im Schweizer Pavillon an der Biennale Venedig.

KUNST UND KLEBRIGE BELLINIS

Eines der angenehmsten Rituale der Kunstwelt ist alle zwei Jahre der Besuch der Preview der Kunstbiennale Venedig, die exklusiv für Kritiker, Künstler und Vermittler reserviert ist. Wie immer konnte ich nicht widerstehen und reiste Anfang Juni zur Vorbesichtigung nach Venedig. Das Gedränge ist zwar viel grösser als während der Eröffnung und man bringt die meiste Zeit in Warteschlangen zu. Alle klagen über die chaotische Organisation, überfüllte Vaporetti, astronomische Hotelpreise und die missratene offizielle Ausstellung. Aber niemand möchte das fröhliche Durcheinander missen, die klebrigen Bellinis zu den Ansprachen der Kulturfunktionäre, die Hitzewellen und Sommergewitter, die Spannung, wer den Goldenen Löwen erhält, und vor allem den Tratsch darüber, wie sich die jeweiligen Pavillons präsentieren.

Dieses Jahr drehten sich die Gespräche um die Frage, welche Auswirkungen die Krise auf die Kunstbiennale haben werde. Wer Anzeichen der Rezession erwartet hatte, wurde allerdings enttäuscht. Die Biennale erstreckte sich buchstäblich über die ganze Stadt. Noch die unscheinbarsten Lagerhallen und entlegenen Inselchen dienten als Bühnen für Interventionen und Performances. Die Quais konnten die Armada von mehrstöckigen Yachten von Oligarchen und Scheichs kaum fassen; überall wurde gefeiert, und sogar das Schweizerische Bundesamt für Kultur, das nicht im Ruf steht, rauschende Feste zu organisieren, gab sich spendabel und charterte kurzerhand die Bar des Restaurants «Paradiso».

Die beiden offiziellen Beiträge der Schweiz treffen im Unterschied zu vielen anderen Ausstellungen den Nerv der Zeit. Silvia Bächli zeigt im Schweizer Pavillon Zeichnungen und Fotografien. Ihre Papierarbeiten und Fotos verbinden monumentale, räumliche Wirkung mit subtiler Fokussierung auf Details. Die Ausstellung zeugt davon, wie aktuell die derzeit marginalisierte Gattung der Zeichnung ist, und bietet einen Kontrast zum allgemeinen Tumult. Fabrice Gygi stellt in der Kirche San Stae aus. Seit 1990 – und nun wohl zum letzten Mal – bietet diese Barockkirche in der Nähe des Bahnhofs eine Herausforderung für Künstlerinnen und Künstler aus der Schweiz. Gygi hat die Aufgabe souverän gelöst. Der spektakulären Architektur der Kirche begegnet er mit einer Installation von Gitterrosten und Käfigen. Der Zusammenhang zwischen Opulenz und Rohheit, topologischen Oberflächen und Abgründigkeit, Öffnung und Einschluss ist selten so klar formuliert worden.

Die Reise nach Venedig lohnt sich auf jeden Fall. Die Biennale ist noch bis zum 22. November geöffnet. Fast so gerne wie die Preview mag ich den Besuch Ende Oktober, wenn die ersten Pavillons schliessen, einige Beamer ihren Geist aufgeben haben und sich manche Leinwände wegen der Feuchtigkeit zu wellen beginnen. Dann hat man die Kunst für sich und muss die Giardini nicht mit Fernsehteams teilen, sondern allenfalls mit italienischen Schulklassen und Kunsthistorikern auf Exkursion.

Philip Ursprung ist Professor für Moderne und zeitgenössische Kunst an der Universität Zürich.

KLINGENDE KLOBRILLE

«Von den zahlreichen Anfragen und Angeboten europäischer Schulen und Musikinstitute hat mich keine so sehr geehrt und gerührt wie die Ihrige. Hinge eine Entscheidung lediglich von persönlichen Neigungen ab, so sähen Sie mich in Kürze dort anreisen und den so herzlich angebotenen Lehrstuhl übernehmen. Zürich wäre für mich das ideale Operationszentrum...». Diese Zeilen richtete der deutsche Komponist Paul Hindemith im November 1949 an Professor Heinrich Straumann.

Als Dekan der Philosophischen Fakultät oblag es Straumann, die Musikwissenschaftliche Abteilung der Universität Zürich von ihrem stillen Dasein zu befreien, was ihm aber nur mit einer «Berufung aussergewöhnlicher Art» gelingen konnte. Straumann und die Universität hatten Glück, denn Hindemith folgte trotz anfänglicher Bedenken dem Ruf nach Zürich und trat bereits im Herbst 1951 als erster Ordinarius in der Geschichte dieses Instituts vor eine interessierte Studentenschar, die er bis zu seinem Weggang 1957 begleitete.

Es mag erstaunen, dass Hindemith gerade Zürich den Vorrang gab und Angebote renommierter Hochschulen wie Frankfurt, Berlin und Salzburg ablehnte. Mitentscheidend war sicherlich die Treue, die das Zürcher Publikum seiner Musik auch während der Kriegswirren entgegengebracht hatte. Gerade als Hindemith von Goebbels als «atonaler Geräuschemacher» verunglimpft und seine Werke mit einem Aufführungsverbot versehen worden waren, zeigte die Limmatstadt den Mut, Hindemiths Oper «Mathis der Maler» im Zürcher Stadttheater uraufzuführen.

Hindemith, der sich in erster Linie als Komponist und nicht als Musikwissenschaftler sah, legte vor allem grössten Wert auf exakte Kompositionen, die er jeweils verinnerlichte und danach mit einem bissigen Kommentar dem Studenten aushändigte. Hindemith zeigte aber durchaus auch Humor: So demonstrierte er den Klang einer griechischen Lyra mit einem selbst gebastelten Instrument, dessen Korpus aus einer Klobrille bestand. *Maurus Immoos*

DEM BERG DEN PULS GEFÜHLT

Mit selbst entwickelten Sensoren untersucht ein Team von Geografen und Informatikern Veränderungen im hochalpinen Permafrost. Das Projekt PermaSense ist eine einmalige Synergie zwischen Wissenschaft und Engineering. Von Michael Ganz

Der Einsatzort liegt auf 3450 Metern über Meer am Hörnligrat, rund dreiviertel Stunden Kletterei von der Hörnlhütte in Richtung Matterhornspitze. Im Juli 2008 ging eine Gruppe seil- und helmbewehrter Zürcher Geografen dort erstmals ans Werk. Fünf Tage lang schufteten die Forscher in Fels und Eis. Das schwere Werkzeug liess sich das Team per Hubschrauber auf den Hörnligrat liefern, Bohrmaschinen, Felschrauben, Drahtseile, Kabel, einen Stromgenerator mit Ersatzbenzin. Und natürlich auch jene wertvollen Dinge, die es zu installieren galt: modernste Sensoren aus eigener Produktion, die ihre vielen Messdaten gleich noch in die Hochschullabors übermitteln sollten.

2001 hatte Stephan Gruber vom Geographischen Institut der Universität Zürich erste Messungen zur Untersuchung der räumlichen Muster und Veränderungen von Permafrost im steilen Fels gemacht. Im Jahrhundertsommer 2003 machte der schwindende Permafrost dann unerwartet Schlagzeilen: Am Matterhorn lösten sich ganze Felsflächen und donnerten zu Tal. «Von da an bekam die Untersuchung von Permafrost im Fels, die als Grundlagenforschung begonnen hatte, sehr rasch angewandte Relevanz», sagt Gruber. 2005 dann machten sich die Zürcher Geografen gemeinsam mit Computerwissenschaftlern der Universität Basel daran, ein modernes und zuverlässiges Messsystem für Permafrost im Hochgebirge – PermaSense – zu entwickeln.

Was ist Permafrost? Die Wissenschaft hat sich auf eine einfache Formel geeinigt. Permafrost nennt man Erd-, Schutt- oder Felsmaterial, dessen Temperatur während eines Jahres null Grad Celsius nicht übersteigt. Eis in Gesteinsporen und Felsritzen kann den Sommer also überdauern, ohne zu schmelzen. Im Alpenraum beginnt Permafrost grob gesagt oberhalb der Baumgrenze. Und genau wie in

den Ländern des hohen Nordens, verlangt das Bauen auf gefrorenem Boden auch hier besondere Vorsicht. «Früher», sagt Gruber, «hat man das oft nicht berücksichtigt. Frühe Bauten auf dem Jungfraujoch beispielsweise hatten ein beheiztes Fundament, damit der Beton nicht gefror. Dafür schmolz der Permafrost.» Heute macht man genau das Gegenteil. Teile der Bauten werden künstlich gekühlt, damit das Eis im Fels, in dem sie stehen, nicht schmilzt.

TAUWETTER NACH JAHRTAUSENDEN

Der Klimawandel gefährdet das subtile Gleichgewicht des Permafrosts. Dies ganz besonders in den Bergen, denn hier bietet das stark coupierete Gelände eine grosse Angriffsfläche für Veränderungen. «In den Bergen können sich die Verhältnisse deshalb sehr rasch und vor allem sehr unerwartet ändern», sagt Gruber. Und Veränderungen im Permafrost haben unter Umständen schwerwiegende Folgen. Bis anhin durfte der Mensch sich, wenn er in den Bergen Häuser und Dörfer, Strassen und Brücken, Seilbahnmasten und Clubhütten baute, auf uralte Erfahrungswerte verlassen. Wo es seit Generationen keinen Felssturz oder Steinschlag gegeben hatte, konnte man sich in der Regel sicher fühlen. «Doch mit der zunehmenden Erwärmung der Erdatmosphäre», sagt Stephan Gruber, «können auch Felspartien auftauen, die möglicherweise seit Hunderttausenden von Jahren nie mehr aufgetaut waren. Da müssen wir mit Überraschungen rechnen.» Es gilt also, neue Gefahren zu antizipieren und mögliche Szenarien zu berechnen – angewandte Forschung, die durch Messungen des PermaSense-Projekts unterstützt wird.

Der andere Teil des Projekts ist weiterhin die Grundlagenforschung. Wie funktioniert Permafrost wirklich, und wie reagiert er auf Veränderung der Umwelt? Um solche Fragen



Anspruchsvolle Forschung bei Wind und Schnee:



Geografen der Universität Zürich untersuchen den Permafrost am Hörnligrat/Matterhorn.

zu beantworten, baute das PermaSense-Team um Stephan Gruber eine erste Generation von Messgeräten mit drahtloser Datenübermittlung. «Wir haben wochenlang konstruiert und gelötet», erinnert er sich. Im Herbst 2006 fuhr man aufs Jungfrauoch und brachte die ersten Sensoren im steilen Fels gleich unterhalb des alten Observatoriums in Position. Die Sensoren funktionierten, aber die drahtlosen Sender machten schon nach einer Woche Probleme. Was tun? Die Geografen fragten beim Institut für Technische Informatik und Kommunikation der ETH Zürich an. «Die waren begeistert und brachten genau jene Expertise, die uns fehlte», sagt Gruber. Auf den Werkbänken und Bildschirmen der ETH entstand eine zweite Generation spezialisierter Hard- und Software, um die komplexen Messungen zu steuern. In Klimakammern wurden die Messgeräte auf ihren Einsatz in eisiger Höhe hin geprüft und mit einer Installation auf dem Dach der Hochschule die drahtlose Kommunikation der Messdaten getestet. Die Sache funktionierte nun tatsächlich besser und war wesentlich zuverlässiger.

EIN LOCH, ZWEI STUNDEN, DREI AKKUS

Die Messgeräte bestehen aus zwei Komponenten: aus Sensoren und drahtlosen Sendern. Die Sensoren gibt es in mehreren Variationen. Da sind Thermistorenketten, die, in offenen Felsklüften hängend, die Umgebungstemperatur messen. Oder Eis- und Wasserdrucksensoren, die Rückschlüsse darauf geben, wie Wasser und Eis zu Felsbewegungen führen. Dann gibt es Abstandsmesser, die verfolgen, ob sich Felsritzen vergrössern, und kaum fingerdicke Sensorstäbe, in denen sich winzige Messelektronik verbirgt. Sie werden bis zu 90 Zentimeter tief in den Fels getrieben. «Das ist das Äusserste, was man mit einer Handbohrmaschine noch bewältigen kann», sagt Stephan Gruber. «Ein solches Loch zu bohren dauert oft zwei Stunden und benötigt drei volle Akkus.» Die Sensorstäbe messen neben der Temperatur auch die elektrische Leitfähigkeit des Felses. «Daran erkennen wir, ob das Wasser in den Poren des Gesteins gefroren ist oder nicht.»

Jeweils mehrere Sensoren liefern ihre Messdaten via Kabel an einen drahtlosen Sender. Am Hörnligrat sind 15 solcher Sender instal-



Mit empfindlichen Sensoren messen die PermaSense-Forscher kleinste Veränderungen im hochalpi



nen Fels.

liert. Geschützt vor Wasser, Blitz- und Stein-schlag kleben die Kästchen am Fels. Sie beherbergen einen Computer, der die Daten verarbeitet, ein Funkmodul, das diese weiterschickt, und eine zündholzschachtelgrosse Batterie, die auf Temperaturen bis minus 55 Grad Celsius und auf drei Jahre Betriebszeit ausgelegt ist. Die so gewonnenen Messdaten gelangen zu einer dritten Komponente, dem zentralen Empfänger. Er speist die Bits und Bytes ins Internet ein. Am Matterhorn, wo keine Infrastruktur in der Nähe ist, geschieht dies mit einem eingebauten Handy; auf dem dicht bebauten Jungfrauoch hingegen gibt es direkten Zugang zum Internet.

«Unser Ziel ist es, die beiden Netzwerke drei Jahre lang laufen zu lassen, ohne sie vor Ort unterhalten zu müssen», sagt Stephan Gruber. Zurzeit steigen die PermaSense-Forscher noch zwei- bis dreimal jährlich in die Felsen, um an den Mess- und Sendeanlagen Wartungsarbeiten durchzuführen. Im Winter musste sich ein Team gar mit dem Hubschrauber auf den Hörnligrat fliegen und am Windenseil absetzen lassen, um einen technischen Fehler an der Anlage zu beheben. «Genau solche aufwendigen Einsätze», sagt Gruber, «wollen wir in Zukunft vermeiden.» Die Entwicklung der Messtechnik, das Engineering, verschlingt hohe Summen. Das Gesamtbudget des PermaSense-Projekts liegt denn auch bei über einer Million Schweizer Franken.

SENSOREN KOMMERZIELL VERTREIBEN

Nach fast vier Jahren Aufbauarbeit wird es in der kommenden Zeit vermehrt darum gehen, die Messdaten auszuwerten. «Bis anhin geschah mit diesen Daten noch nicht viel, weil wir vor allem damit beschäftigt waren, die Technologie zum Laufen zu bringen, zu schauen also, ob die Daten überhaupt vom Berg zu uns herunterkommen», erklärt Stephan Gruber. Seit kurzem besteht nun ein enger Kontakt zum Labor für Verteilte Informationssysteme (LSIR) der ETH Lausanne. Hier sind Forscher mit dem nötigen Know-how am Werk, um die Messungen in einer passenden Datenbank zu versorgen und einer Auswertung zugänglich zu machen.

Die disziplin- und institutionsübergreifende Zusammenarbeit ist für PermaSense unabding-

bar. Sie ist mitunter aber auch schwierig. «Geo- und Ingenieurwissenschaften sind zwei sehr unterschiedliche Welten, zwischen denen es ständig zu wechseln gilt», sagt Gruber. «Es braucht sehr viel interdisziplinären Dialog, und dieser wiederum erfordert viel Zeit. Auf der anderen Seite ist es genau das Zusammenspiel von Geo- und Ingenieurwissenschaften, das dieses Projekt auszeichnet, Erfolg bringt und den Wert des gut eingespielten Teams ausmacht.»

Konkrete Resultate für die Geowissenschaft bringt PermaSense den drei Projektmitarbeitenden der Universität Zürich erst seit kurzem. Seit Sommer 2008 ist die Anlage am Matterhorn online, seit dem Frühjahr 2009 auch jene am Jungfrauoch. Stephan Gruber hat aber bereits weitere Pläne. Er und seine Kollegen wollen die Messanlagen mit zusätzlichen Abtastgeräten bestücken. Seismik- und Akustiksensoren sollen die Bewegungen des Bergs registrieren, ein programmierbarer Fotoapparat Bilddaten sammeln. Langfristig hofft Gruber, ein Unternehmen zu finden, das die PermaSense-Sensoren in Serie baut und kommerziell vertreibt. So bliebe die entwickelte Technologie auch nach dem Projektende im Jahr 2013 für die Umweltforschung verfügbar.

Denn ganz abgesehen von der Grundlagenforschung liegt in PermaSense viel praktisches Potenzial. Gruber: «Menge, Bedeutung und Wert von Infrastruktur in den Bergen nehmen ständig zu; gleichzeitig verändert sich mit dem Klimawandel der Charakter vieler Naturgefahren, und obendrein wächst unser subjektives Sicherheitsbedürfnis. Die Budgets für entsprechende Massnahmen werden jedoch meist nicht grösser. In diesem Problemfeld kann Technologie wie jene von PermaSense dazu beitragen, ein kostengünstiges und verlässliches Frühwarnsystem zu schaffen – und birgt damit freilich auch grosses kommerzielles Potenzial.»

KONTAKT Stephan Gruber, stephan.gruber@geo.uzh.ch, Geographisches Institut der Universität Zürich,

ZUSAMMENARBEIT Universität Basel, ETH Zürich, EPF Lausanne

FINANZIERUNG Bundesamt für Umwelt, Schweizerischer Nationalfonds

TURMBAUER UND DINOSAURIER

Ob katechetisches Hausbüchlein oder Bibel-Comics: Biblische Geschichten kindgerecht aufzuarbeiten hat eine lange Tradition. Wie sich Kinderbibeln verändert haben, wird am Theologischen Seminar untersucht. Von Roger Nickl

Muskelbepackt, mit langem wallenden Bart, wehendem Gewand und hochgereckten Armen wird Moses auf dem bunten Cover der «Manga-Bibel» dargestellt. Hinter ihm türmen sich die gezähmten Wogen des Roten Meers. In den Bildern des englischen Zeichners Siku wird die biblische Figur zum phantastischen Comic-Helden für Kinder und Jugendliche. So ungewöhnlich und unerwartet eine Bibel im Manga-Format sein mag – das Bestreben, biblische Geschichten kindgerecht aufzubereiten, ist nicht neu. Die Tradition reicht bis in die späte Reformationszeit im 17. Jahrhundert zurück. Waren es früher mehr oder weniger reich bebilderte Hausbüchlein und Kinderbibeln, die eine erste Annäherung an christliche Themen und Werte ermöglichen sollten, so hat sich das Angebot im Medienzeitalter vervielfältigt. Neben illustrierten Büchern für alle Altersgruppen werden heute interaktive CD-Roms und eben Bibel-Comics veröffentlicht. «Offensichtlich ist für Verlage ein Markt da», sagt Thomas Schlag, «vor allem Eltern und Grosseltern wollen den Kindern und Enkeln die alten Geschichten erzählen und so religiöses Wissen vermitteln – dies aber auf eine moderne Weise, die die Kinder mit ihren Lebensfragen in das Geschehen mit einbezieht.»

SCHÖPFUNG MIT STEINZEITMENSCHEN

Wie sich Inhalte und Gestaltung von Kinderbibeln über die Jahrhunderte hinweg ausgeprägt und verändert haben, untersuchen Theologe und Religionspädagoge Thomas Schlag und seine Mitarbeiter Stephan Huber und Marcel Naas am Theologischen Seminar. In ihren interdisziplinären Studien interessiert die Wissenschaftler insbesondere, mit welchem Kinderbild Illustratoren und Autoren die biblischen Geschichten in verschiedenen Ausgaben und

Epochen aufbereitet haben. «In den frühen Kinderbibeln wurden Kinder vor allem als Objekte der Belehrung verstanden», weiss Schlag, «sie sollten die Texte lesen und danach teilweise am Rand vermerkte Fragen beantworten.» Kinderbibeln waren damals klassisch katechetische Medien, die das Ziel hatten, den Nachwuchs in den Glauben einzuweisen. Im 18. Jahrhundert begann sich dann der Blick zu öffnen: Im Zuge der Aufklärung sollten sich Kinder selbständiger mit der biblischen Überlieferung auseinandersetzen. «Dem Kind wurde auch nicht mehr nur eine abgeschlossene kirchliche Welt vorgeführt», sagt der Forscher. In die Illustrationen flossen neben christlichem Wissen auch kulturgeschichtliche Aspekte ein. Die Szenen spielten sich oft vor dem Hintergrund zeitgenössischer Architektur oder der neu entdeckten Pflanzenwelt ab.

In vielen Illustrationen älterer Kinderbibeln wurde der Blick des Betrachters von unten auf eine biblische Szene gerichtet. Das Heilsgeschehen wurde so in eine erhabene Position und gleichzeitig auf Distanz gesetzt. In den Kinderbibeln von heute hat sich diese Perspektive radikal gewandelt: Die biblischen Figuren rücken zusehends auf Augenhöhe mit ihren jungen Lesern – sie werden menschlicher und meist nicht mehr so heroisch wie in vergangenen Zeiten dargestellt. Auch werden die Geschichten häufig stark personalisiert. «In vielen heutigen Kinderbibeln ist Jesus nicht mehr der überweltliche Messias», betont Thomas Schlag, «er wird zum Freund und Gesprächspartner.» Zudem fliessen in die Bücher Informationen aus ganz unterschiedlichen, modernen Wissenszusammenhängen ein. So sind in der beliebten Ravensburger Kinderbibel von Ulises Wensell und Thomas Erne

aus dem Jahr 1995 etwa auch Dinosaurier und Steinzeitmenschen auf den Illustrationen der Schöpfungsgeschichte zu finden – ein Hinweis auf Evolutionsfragen. Für den Religionspädagogen Thomas Schlag sind dies Indizien dafür, dass die jungen Leser und ihre Lebenswelt ernst genommen werden.

BIBLISCHE EVERGREENS

Kinderbibeln haben ihre eigenen Gesetze: Je bildhafter eine Geschichte ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie in ein Buch aufgenommen wird. Aus diesem Grund kommt etwa die theologisch zentrale Figur des Paulus aus dem Alten Testament kaum vor, ebenso wird die im Neuen Testament wichtige, aber auch abstrakte Bergpredigt eher selten thematisiert. Im Gegensatz dazu gibt es richtiggehende Evergreens: Die Schöpfungsgeschichte gehört beispielsweise dazu, aber auch die Figur des Moses. Ebenso sind in Kinderbibeln die Geschichten zum Turmbau zu Babel oder zu Jona und dem Wal ein Renner. Das Neue Testament wiederum ist vor allem mit verschiedenen Wunder- und Heilungsgeschichten, der Kreuzigung und Auferstehung sowie der Apostelgeschichte vertreten.

Dennoch finden lange nicht alle bildgewaltigen Geschichten der Heiligen Schrift Eingang in Kinderbibeln. Ein Beispiel dafür ist die Erzählung von Kain, der aus Neid seinen Bruder Abel ermordet. «Viele neuere Kinderbibeln vermeiden im Gegensatz zu früheren Ausgaben diese Geschichte, weil sie für Kinder zu brutal ist», sagt Thomas Schlag, «auch die Kreuzigung wird unterschiedlich intensiv dargestellt – meist werden die jungen Leser aber vor gewalttätigen Bildern geschützt.» Generell stellt der Theologe in neueren Kinderbibeln einen Trend zu differenzierteren Illustrationen fest, in denen nicht mehr einfach nur zwischen Gut und Böse, Schwarz und Weiss unterschieden wird. So wurde etwa der Auszug aus Ägypten lange Zeit als eine Geschichte von Siegern und Verlierern dargestellt: Den Israeliten gelingt es zu entkommen. Die Aufmerksamkeit der Betrachter wird ganz auf sie gelenkt, die im Meer ertrinkenden Ägypter dagegen interessieren kaum. Heute wird der Fokus der Geschichte oft verschoben, sodass auch die



Kinderbibeln vermitteln Kindern bilderreich Geschichten und religiöses Wissen.

Thematik des Sterbens, die Teil der Geschichte ist, eine Bedeutung erhält – ein Angebot für die Kinder und Eltern, sich mit existenziellen Fragen auseinanderzusetzen.

RELIGIONS DIDAKTIK OHNE ZEIGFINGER

Als Religionspädagogen interessiert Thomas Schlag nicht nur die historische Entwicklung von Kinderbibeln, sondern auch die Qualität heutiger Ausgaben und die Frage, wie diese im Unterricht eingesetzt werden können. «Kinderbibeln sollten nicht mit dem Zeigefinger vermeintliche Wahrheiten vermitteln, sondern sie sollten in aller Offenheit positive Orientierungsangebote machen und individuelle Entdeckungsprozesse auslösen», ist er überzeugt. Problematisch sind seiner Ansicht nach Kinderbibeln, die schwarzweiss malen und die Dinge zu stark vereinfachen. Gerade die Freikirchen neigten heute dazu, wieder «neue Eindeutigkeiten herzustellen» und damit «die Kinder als Rezipienten ohne eigenes Potenzial zu behandeln.»

Aber auch in sprachlicher Hinsicht sind heutige Kinderbibeln nicht immer auf Augenhöhe mit ihrem Publikum: Sie neigen teilweise zu Infantilisierungen, die die Fähigkeiten von Kindern unterlaufen. Mit seiner Forschung hofft Schlag deshalb auch, weitere Kriterien für künftige, pädagogisch wertvolle Kinderbibeln zu gewinnen. Dass er dabei – etwa im differenzierten Umgang mit Bild und Text – auch vom Wissen älterer Autoren und Illustratoren profitieren kann, ist er überzeugt. Was die Kinderbibel der Zukunft leisten muss, ist für den Religionspädagogen jedenfalls schon heute klar: «Sie muss zu einer Erziehung zur Mündigkeit und Freiheit beitragen», sagt Thomas Schlag, «ob die Kinder durch die Lektüre zu fleissigen Kirchgängern werden, ist für mich sekundär.»

KONTAKT Prof. Thomas Schlag, thomas.schlag@access.uzh.ch, Theologisches Seminar der Universität Zürich

ZUSAMMENARBEIT Theologische Fakultät der Universität Wien, Theologische Fakultät der Universität Bamberg

FINANZIERUNG Schweizerischer Nationalfonds (Promotionsstellen zum Thema «Bild des Kindes»)

HEIMTÜCKISCHES SCHWEINEVIRUS

Die Schweine in der Schweiz leiden unter einem Virus. Vor allem Ferkeln macht die Infektion zu schaffen. Das Porcine Circovirus (PCV) ist schon länger bekannt, doch Probleme macht es erst seit kurzem. Von Antoinette Schwab

Schwein und Virus – die beiden Begriffe lösen heutzutage ungute Assoziationen aus. Doch das Virus, das die Forschergruppe um Veterinärmediziner Xaver Sidler untersucht, hat gar nichts mit dem Schweinegrippevirus zu tun, schon rein äusserlich nicht. Grippeviren sind kugelige stachelige Gebilde und viel grösser als das Virus, unter dem neuerdings die Schweizer Schweine leiden. Dieses ist das kleinste bekannte Virus und gehört mit seiner ringförmigen Struktur zu den sogenannten Circoviren. Entdeckt wurde es erst 1974 und bekam den Namen «Porcines Circovirus» (PCV), doch damals wusste noch niemand, wie sehr es Schweine krank machen kann.

Die häufigste Form der Krankheit trifft bevorzugt vier bis fünfzehn Wochen alte Ferkel. Diese mildere Variante überleben zwar die meisten Tiere. Sie wachsen aber nicht mehr richtig, leiden zudem oft an Durchfall oder Husten und verkümmern allmählich. Das Virus kann aber auch schwerwiegendere Symptome hervorrufen – punktförmige oder flächige Blutungen direkt unter der Haut. In diesem Fall sterben bis zu 80 Prozent der erkrankten Tiere. Mitte der 1990er-Jahre stellte man erstmals einen Zusammenhang zwischen den Symptomen der Schweinchen und dem Virus her. In dieser Zeit kam es in Frankreich, Kanada und den USA verbreitet zum Ausbruch der Krankheit. Schon vorher war das Virus in vielen Schweinen nachgewiesen worden. Dass sie nun plötzlich erkrankten, erklärte man sich damit, dass nicht das Virus allein dafür verantwortlich ist, sondern andere Faktoren eine Rolle spielen müssten, zum Beispiel andere Krankheiten.

In letzter Zeit nehmen Krankheitsfälle, bei denen PCV im Spiel ist, auch in der Schweiz

massiv zu. Waren im Jahr 2005 erst drei Tiere betroffen, so waren es 2006 bereits 133. «Doch in der Schweiz sind viele der Krankheiten gar nicht bekannt, die als mitauslösende Faktoren genannt werden», gibt Xaver Sidler zu bedenken. Es muss also einen anderen Grund für die Zunahme der Fälle geben. Der Veterinärmediziner hatte eine mögliche Erklärung dafür, und dank Schweizer Gründlichkeit war er sogar in der Lage, sie zu überprüfen. Denn in der Pathologie des Tierspitals lagern Materialproben von Schweinen, die über Jahrzehnte hinweg gesammelt und aufbewahrt wurden. Xaver Sidler und sein Team untersuchten diese Proben und stellten fest, dass es im Virus zu Mutationen gekommen war. Als erste machten die Zürcher Forscher eben diese Mutationen für das plötzliche Aufflammen der Krankheit verantwortlich und nicht, wie bislang vermutet, begleitende Faktoren.

VIEL PLATZ – GESUNDE SCHWEINE

Die Krankheit tritt nicht in der ganzen Schweiz gleichmässig verteilt auf, sondern gehäuft im Kanton Luzern, einem Gebiet mit vielen Schweinezucht- und Schweinemastbetrieben. Die Ansteckung geschieht in erster Linie durch direkten Kontakt. Xaver Sidler vermutet aber, dass dort, wo sehr viele Schweine zusammenleben, auch eine Ansteckung durch die Luft möglich ist. Auch das ist eine neue Erkenntnis. Dennoch erkrankt nicht jedes Tier, das das Virus in sich trägt. Warum die Krankheit bei den einen ausbricht und bei den anderen nicht, ist noch nicht ganz geklärt. Doch vieles weist auf einen Zusammenhang mit der Haltung hin. Ganz besonders gefährdet sind demnach Ferkel, die untergewichtig auf die Welt kommen und schwächer sind als ihre Geschwister. Im



Das Schweinevirus PCV kann durch die Impfung



der Muttertiere bekämpft werden.



Kennt die Probleme der Schweinezüchter aus erster Hand: Tiermediziner Xaver Sidler.

Verteilungskampf um die besten Zitzen sind sie im Nachteil, bekommen weniger Milch, bleiben kleiner und haben eine schlechtere Abwehr, da sie weniger Abwehrstoffe durch die Muttermilch aufnehmen.

Daneben spielt Hygiene im Stall eine grosse Rolle, aber auch die Form der Stallabteile und die Grösse des Stalls. «Je mehr Platz, je mehr Volumen die Tiere haben, desto gesünder sind sie», stellt der Fachmann fest, und: «Je grösser der Betrieb, desto höher das Risiko.» Dass die Schweiz erst seit 2005 von der Epidemie betroffen ist, hat vermutlich damit zu tun, dass in der Schweiz auch die grossen Betriebe im Vergleich etwa zu Grossbetrieben im EU-Raum immer noch klein sind.

MUTTERSAUEN IMPFEN

Inzwischen ist eine Impfung entwickelt worden. Damit wird die Muttersau geimpft, sie gibt die Antikörper über die Milch an die Ferkel weiter – eine passive Immunisierung, die bis zehn Wochen anhält. Später können die Ferkel noch direkt geimpft werden. Die Zürcher Veterinäre haben die Wirkung der passiven Immunisierung untersucht und festgestellt, dass die geschützten Ferkel deutlich seltener erkrankten und im Schnitt 30 Gramm Gewicht pro Tag mehr zulegten. Mastferkel werden geschlachtet, wenn sie ein Gewicht von 105 Kilogramm erreicht haben. Das ist in der Regel nach rund 180 Tagen der Fall. Dauert es länger, bis sie das erwünschte Gewicht erreicht haben, kostet das den Betrieb zusätzlich Geld.

Xaver Sidler, der bis vor wenigen Jahren Nutztierarzt im Luzernischen war und die Probleme der Schweinemäster und -züchter aus erster Hand kennt, hält die Seuche für die ökonomisch schwerwiegendste Erkrankung im Schweinestall. Wie hoch die Ausfälle durch PCV in der Schweiz sind, ist noch nicht berechnet worden. Die EU rechnet mit finanziellen Einbussen von 560 bis 900 Millionen Euro pro Jahr. Kein Wunder also, dass die Bauern ihre Tiere impfen wollen. Eine Impfung kostet pro Ferkel etwa drei Franken. Weil damit der Ertrag höher wird, lohnt sich dies aber auf jeden Fall, nur war im letzten Jahr noch gar nicht genügend Impfstoff vorhanden. Das soll sich in diesem Jahr ändern.

In der Schweiz gibt es rund 150 000 Mutter-sauen in 4000 Zuchtbetrieben. Die Ferkel sind bei der Geburt etwa 1,5 Kilogramm schwer. Mit einem Gewicht von 25 Kilogramm – das erreichen sie etwa nach zehn Wochen – werden sie an einen der 6000 Mastbetriebe verkauft. Pro Jahr werden in der Schweiz insgesamt 2,6 Millionen Schlachtsäuli aufgezogen.

DIE EPIDEMIE ALS CHANCE

Die Zahl der Schweine in der Schweiz ist aus einem ganz besonderen Grund interessant. Denn Xaver Sidler, der erst 2005 in die Forschung wechselte, hat schon bald festgestellt, dass Forschungsgelder immer schwieriger zu bekommen sind. Nun will er eine Stiftung gründen. Seine Idee: Diejenigen, die von Forschungsprojekten in der Schweinemedizin direkt profitieren, sollen diese mit 20 Rappen pro Schwein finanziell unterstützen. Mehr als eine halbe Million Franken an Forschungsgeldern würden so jedes Jahr zusammenkommen. Einkassiert würde das Geld von der Tierverskehrsdatenbank TVD. Sie hat den Überblick, denn jedes Schwein bekommt von ihr eine Ohrmarke.

«Bisher habe ich positive Signale bekommen, auch von den Bauernorganisationen», sagt der Initiant. Ein Stiftungsrat mit Vertretern aller Seiten würde dann entscheiden, welche Projekte relevant sind und unterstützt werden sollen. Gerade im Bereich PCV gäbe es noch viel zu tun, ist der Forscher überzeugt. «Wir verstehen vieles noch nicht.» Doch er sieht in der Epidemie auch eine Chance. «Jetzt, da so viele Schweine krank sind, können wir versuchen zu verstehen, was genau geschieht, und zwar möglichst, bevor das mutierte Virus auf neue Wirte verfällt, auf Rinder oder sogar auf Menschen.» Bis jetzt gibt es darauf aber keine Hinweise.

KONTAKT Dr. Xaver Sidler, xsidler@vetclinics.uzh.ch, Tierspital Zürich, Abteilung für Schweinemedizin

FINANZIERUNG Universität Zürich, Bundesamt für Veterinärwesen BVET sowie diverse Geldgeber aus der Privatwirtschaft



Im geöffneten Strommarkt trägt swissgrid als Betreiberin des Schweizer Höchstspannungsnetzes eine grosse Verantwortung für die Stromversorgung in der Schweiz und Europa.

Spannende und innovative Projekte machen swissgrid für Studierende, Studien- und Hochschulabsolventen aus den verschiedensten Bereichen interessant.

Haben Sie Pioniergeist? Dann gestalten Sie die Schweizer Energiezukunft mit!

www.swissgrid.ch

moving power www.game.swissgrid.ch

ZÄHNE AUS DER PETRISCHALE

Zahnkronen, fehlende oder dritte Zähne könnten dereinst «nachwachsen» – mit Hilfe von Stammzelltransplantation und Gentherapie. Thimios Mitsiadis erforscht die biologischen Grundlagen der Zahnentwicklung. Von Ruth Jahn

Stammzellen können Erstaunliches bewirken, wenn sie in einen anderen Organismus transplantiert werden. Das hat Thimios Mitsiadis 2003 mit einem Experiment aufgezeigt, das weltweit zu reden gab: Der damals in Lyon forschende Zahnmediziner verpflanzte zusammen mit Kollegen Neuralleistenzellen von Mäusen in Hühnerembryonen. Neuralleistenzellen sind Stammzellen, aus denen sich bei Säugern, Vögeln und anderen sogenannten Chordatiern unter anderem Zähne, Knorpel und Nervenzellen entwickeln. Die Transplantation der Mäusezellen in die Hühnerembryonen führte dazu, dass die werdenden Küken Zähne entwickelten. Dabei hatten Vögel während der letzten 70 Millionen Jahre nie ein Gebiss.

DENTALER DORNRÖSCHENSCHLAF

Wie sich herausstellte, brachten die Mäusestammzellen die Hühnerzähne nicht selbst hervor. Die eigentlichen Urheber der überraschend gewachsenen Zähne waren Zellen der Hühnerembryonen selber: «Das Experiment hat uns gezeigt, dass die genetische Anlage für die Zahnentwicklung bei Vögeln nicht verloren gegangen ist», erklärt Thimios Mitsiadis. Die hinzugefügten Zellen scheinen einfach das entsprechende Programm aus einer Art Dornröschenschlaf geweckt zu haben. Mitsiadis möchte diese schlummernden Entwicklungsmöglichkeiten in der regenerativen Zahnmedizin nutzen: Ihm schwebt eine Art Tissue Engineering für Zähne vor.

Mitsiadis, seit 2006 Direktor des Instituts für Orale Biologie der Universität Zürich, beschäftigt sich seit seiner Doktorandenzeit in Lyon mit der Entwicklung von Zähnen: «Sie sind eines der besten Modelle, um die zellulären Vorgänge bei der Embryonalentwicklung zu studieren.» Selbst die Evolution wäre ohne

das Wissen über die Entwicklung der Tiergebisse nur sehr schwer zu beschreiben. «Trotzdem fristen die Zähne in der Forschung immer noch ein wenig ein Schattendasein. Anders als zum Beispiel das Herz oder das Gehirn sind sie eben nicht unbedingt lebensnotwendig.» Doch erbliche Krankheiten von Zähnen machen den Betroffenen sehr zu schaffen. Mitsiadis nennt als Beispiele das Rieger-Syndrom oder die Amelogenesis imperfecta, die mit verkümmerten Zähnen oder solchen ohne schützenden Zahnschmelz einhergehen.

Das Team von Mitsiadis studiert, wie das Zahnepithel und das Zahnmesenchym, aus denen alle Zellen des Zahns hervorgehen, beeinflusst werden können. Die so gewonnenen Erkenntnisse sollen dereinst in der regenerativen Zahnmedizin genutzt werden. Während der Embryonalentwicklung müssen das Zahnepithel und das darunterliegende Mesenchym innerhalb eines schmalen Zeitfensters interagieren, damit ein Zahnkeim entstehen kann. Dabei initiiert das Epithel die Zahnentwicklung. «Deshalb haben Entwicklungsbiologen meist nur mit dem Epithel als eigentlichem Motor der Zahnbildung gearbeitet», erklärt Mitsiadis. Mittlerweile konnte der Zürcher Zahnmediziner zeigen, dass mesenchymale Neuralleistenzellen eine zentrale Funktion bei der Entwicklung der Zähne haben. Auch die Neuralleistenzellen der Mäuse, die Mitsiadis in dem spektakulären Experiment den Hühnerembryos einpflanzte, sind mesenchymalen Ursprungs.

Die im Zahngewebe vorhandenen Stammzellen könnten als Vorläuferzellen für die Regenerierung von anderen Geweben dienen. Genauso könnten aber auch Zellen mit Stammzelleigenschaften, die aus erwachsenen Gewe-



«Im geeigneten Medium können auch im Labor Zähne



wachsen – das ist unser Ziel», sagt der Zahnarzt und Grundlagenforscher Thimios Mitsiadis.

ben wie Haut, Darm oder Knochenmark isoliert wurden, *in vitro* zu zahnschmelzproduzierenden oder dentinproduzierenden Zellen umgewandelt werden. Stammzellforscher wie Mitsiadis interessieren sich deshalb für Faktoren, die für die sogenannte Pluripotenz junger Stammzellen verantwortlich sind. Was führt dazu, dass Zellen ihre Bestimmung erkennen, sich differenzieren und daraufhin alle hierzu nicht benötigten Gene abschalten? Oder umgekehrt: Was sorgt dafür, dass sie eingeschaltet bleiben?

Die Ergebnisse seiner Forschung möchte Mitsiadis nutzen, um die Zahnbildung beim Menschen zu reaktivieren. «Im geeigneten Medium können auch im Labor Zähne wachsen – das ist unser Ziel», unterstreicht er. Ist also bald Schluss mit Plomben, Kronen oder Implantaten aus Amalgam, Porzellan oder Titanium? Das dürfte noch eine Weile dauern. Mitsiadis betreibt in erster Linie Grundlagenforschung. Dabei setzt sein Team verschiedenste Techniken ein: Die Forscher untersuchen wichtige Gene für die Zahnentwicklung mit funktioneller Genomik. Sie kombinieren verschiedene Gewebe miteinander und transplantieren embryonale oder adulte Stammzellen.

WENN HÜHNER ZÄHNE HÄTTEN

Mitsiadis sprüht vor Ideen für weitere Forschungsprojekte. Derzeit versucht sein Team, in Zellkulturen von sogenannten induzierten pluripotenten Stammzellen, Dentin und Zahnschmelz produzieren zu lassen. Die Forscher verwenden dazu Zellen aus dem Zahnfleisch-Epithel von Mäusen. «Wir fügen vier bis fünf Gene für Transkriptionsfaktoren hinzu. Damit werden die Zellen zurückprogrammiert und erhalten wieder plastische Eigenschaften», erklärt Mitsiadis. Wenn sich auf diese Weise Zähne in der Petrischale herstellen liessen, könnte der Zahnarzt ein weiteres Mal die französische Redewendung widerlegen, die für ein unmögliches Unterfangen steht: «Quand les poules auront des dents» – «Wenn Hühner Zähne hätten.»

KONTAKT Prof. Thimios Mitsiadis, thimios.mitsiadis@zzmk.uzh.ch, Institut für Orale Biologie der Universität Zürich

FINANZIERUNG UZH, Schweizerischer Nationalfonds (SNF), Schweizerische Gesellschaft für Zahnmedizin (SSO), Hartmann-Müller Stiftung

GRAMMATIK DER MORAL

Dem Rechtssystem droht keine Neuro-Revolution. Juristen sollten sich aber bewusst sein, dass die Hirnforschung praktische Konsequenzen haben könnte und etwa elementare Persönlichkeitsrechte in Gefahr geraten. Von Roland Gysin

Rechtswissenschaft und Hirnforschung sind sich nicht immer ganz geheuer, auch wenn sie manchmal über dieselben Themen debattieren. Das gilt auch für die Frage, ob neurologische Prozesse den Menschen und sein Handeln bestimmen und er deshalb keinen «freien Willen» hat, womit seine Schuldfähigkeit in Frage gestellt wäre. Den Takt in dieser Diskussion gibt nicht die Rechtswissenschaft, sondern die Hirnforschung vor. Einer der wenigen Juristen, die sich bereits seit Jahren mit diesem Thema beschäftigen, ist Matthias Mahlmann, seit Anfang 2008 Professor für Rechtstheorie, Rechtssoziologie und Internationales Öffentliches Recht an der Universität Zürich.

Mahlmann nähert sich der Neuro-Debatte als Jurist und Rechtstheoretiker und nicht als Pseudo-Neurologe. Die Grundgedanken dazu bündelte er 1999 in seiner Dissertation «Rationalismus in der praktischen Theorie. Normentheorie und praktische Kompetenz.» Vor wenigen Monaten erschien eine aktualisierte Neuauflage. Die Hauptfragen, die über das Problem der Willensfreiheit hinausweisen, sind damals wie heute: Ist moralisches Urteil auf bestimmte angeborene mentale Strukturen zurückzuführen und welche Folgen hat dies für die Entwicklung des Rechts?

Die Neuropsychologische Forschung boomt. Das Zauberwort heisst: Magnetresonanztomographie, kurz MRI. MRI ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem Gewebeveränderungen im Körper- oder Gehirnnern sichtbar gemacht werden können. Nicht immer sind Versuchsanordnungen und Resultate von derselben Qualität. Kein Wunder forderte Lutz Jäncke, Professor für Neuropsychologie an der Universität Zürich, unlängst in der Neuen Zürcher Zeitung, «bei der Interpretation neurowissenschaftlicher Befunde mehr Zurückhaltung». Denn «im Grunde misst man bestenfalls die Aktivität von Nerven-

zellen, mehr auch nicht». Eine «schlüssige Hirntheorie» sei nicht in Sicht. Genauso wenig wie ein verlässlicher Rahmen, der neuronale Vorgänge und menschliches Verhalten miteinander verbindet. MRI hin oder her, der gläserne Mensch ist in weiter Ferne. Aus neuronalen Besonderheiten allgemein gültige Aussagen über das menschliche Verhalten abzuleiten, ist wissenschaftlich unhaltbar und unseriös.

DER MENSCH, EIN «ANIMAL MORAL»

Mit dieser Haltung rennt Jäncke offene Türen ein: «Daten können ohne eine fundierte Theorie nicht sinnvoll interpretiert werden», betont Mahlmann. Ausgangspunkt seiner Betrachtungen sind Normen und Regeln. Sie sind «das Skelett, das Knochengerüst» jeder gesellschaftlichen Ordnung. Und sie machen aus Handlungsanleitungen sinngebende Wegweiser und vermitteln den Menschen inhaltliche Orientierungen. Ein besonderes und allgegenwärtiges Ordnungssystem ist in Mahlmanns theoretischem Konstrukt das «Recht». Das Recht regelt das Zusammenleben von Liebespaaren ebenso wie das Verhalten von Geschäftspartnern, den Streit im Ausgang, den Verkehr auf der Strasse oder den Umgang mit Mördern und anderen Gewaltverbrechern. Menschliche Handlungen, betont Mahlmann, seien wesentlich von moralischen Maximen und rechtlichen Vorgaben bestimmt. Sie folgen «nicht allein der schwankenden Herrschaft von Launen, Neigungen oder kurzlebigen Antrieben.» Und die Wirkung von Normen ist weitreichend, weil sie «das Innere des Menschen nicht weniger als die letzten Winkel der äusseren Ordnung» ergreifen.

Die Philosophiegeschichte kennt die klassische aristotelische Beschreibung des Menschen als «animal rationale», als vernunftbegabtes Wesen. Doch Mahlmann geht und denkt weiter. Seine Forschungen sind der Versuch,

der langen Tradition der praktischen Philosophie – von Sokrates bis Kant –, «dass der Mensch auch ein animal morale, ein moralbegabtes Wesen» sei, neues Leben einzuhauchen. Normative Ordnungen haben «ihre Wurzeln in der menschlichen Natur».

KOGNITIVE GRUNDLAGEN DER MORAL

Dabei ist ein Gedanke wegweisend, der für viele mentale Phänomene inzwischen unstrittig sei, wie Mahlmann betont: Der Mensch hat einen «angeborenen kognitiven Kern mentaler Strukturen». Mahlmanns Intention ist es, zu ermitteln, ob sich solche konstitutiven Strukturen für Moral und Recht nachweisen lassen. Ein Forschungsparadigma, das international in den letzten Jahren in der ethischen, juristischen und moralpsychologischen Grundlagenforschung breit diskutiert worden sei. Und immer wieder auch den Weg in die Medien findet. Etwa ins deutsche Nachrichtenmagazin «Der Spiegel» mit einem Text über die «Grammatik des Guten».

Die Frage nach dem Ursprung von Moral und Recht im menschlichen Geist hat die allgemeine Öffentlichkeit erreicht. Was Mahlmann nicht verwunderlich findet, da es «um Grundprobleme der menschlichen, persönlichen und gesellschaftlich-politischen Existenz geht».

Mahlmann ist kein Biologist. Die Vorstellungen einer «umfassenden angeborenen Moral», eines «biologischen Determinismus» lehnt er ab. Der erwähnte «angeborene kognitive Kern mentaler Strukturen» bildet für ihn lediglich die «Grundlage einer Art universaler Moralgrammatik», ohne daraus abzuleiten, dass Handlungen vorbestimmt sind. Im Gegenteil: «Es ist ein Grundelement unserer moralischen Welt, dass wir etwas tun sollen, aber nicht zwangsläufig tun werden.»

Fragt man den Rechtsphilosophen Matthias Mahlmann, wie er die theoretische Arbeit mit praktischen rechtswissenschaftlichen Perspektiven verbindet, wird er bescheiden. Fragen nach den kognitiven Grundlagen von Moral und Recht seien Teil von rechtswissenschaftlicher Grundlagenforschung, nicht mehr und nicht weniger, sagt Mahlmann. Sie entsprechen einem Fundament für die Beantwortung praktischer Fragen, etwa für eine ethisch fundierte



Neurobiologische Gretchenfrage: Erlaubt der Blick ins Gehirn Rückschlüsse auf die Moral?

Grundrechtskonzeption. Ein Thema, mit dem sich Mahlmann ebenfalls auseinandersetzt.

BIOLOGIE VON WAHRHEIT UND LÜGE

Dennoch besteht die Gefahr, dass genau dies passiert. Mahlmann warnt davor, dass nicht abgesicherte Behauptungen der kognitionswissenschaftlichen Forschung gesellschaftspolitischen Schaden anrichten könnten. Nämlich dann, wenn aus ihnen rechtlich praktische Konsequenzen gezogen werden – und so nicht zuletzt elementare Persönlichkeitsrechte in Gefahr geraten. Ein mögliches Szenario könnte etwa sein, Menschen präventiv einzusperren, weil ihre Hirnstruktur allenfalls Anzeichen möglicher moralischer Unzuverlässigkeit zeigt.

Oder die routinemässige Anwendung von Maschinen, die mittels bildgebender Verfahren Hinweise auf neuronale Besonderheiten bei Menschen liefern, die durch dissoziales oder gewalttätiges Verhalten aufgefallen sind. In einzelnen Bundesstaaten der USA kamen solche Apparate, eine Art neuronale Lügendetektoren, bereits vor Gericht zum Einsatz. Der Hersteller, die Firma «No Lie MRI», verspricht, dass mit der «New Truth Verification Technology» der Nachweis erbracht werden könne, dass Wahrheit und Lüge neuronal strikt voneinander getrennt sind.

Ein Unsinn, meinen Kritiker und sagen klipp und klar, dass «nicht Gehirne Verbrechen begehen, sondern Menschen», so der Psychologe und Jurist Stephan Morse von der University of Pennsylvania. Umso mehr sind Juristen gefordert und gemäss Mahlmann ist die Stossrichtung eindeutig: «Die Rechtswissenschaft kann sich kognitionswissenschaftliche Naivität in praktisch-politischer Perspektive nicht mehr leisten. Genauso wenig, wie eine ernstzunehmende kognitionswissenschaftliche Forschung über normative Phänomene sich in Fragen der moralischen und rechtlichen Theorie unbeschlagen geben kann.»

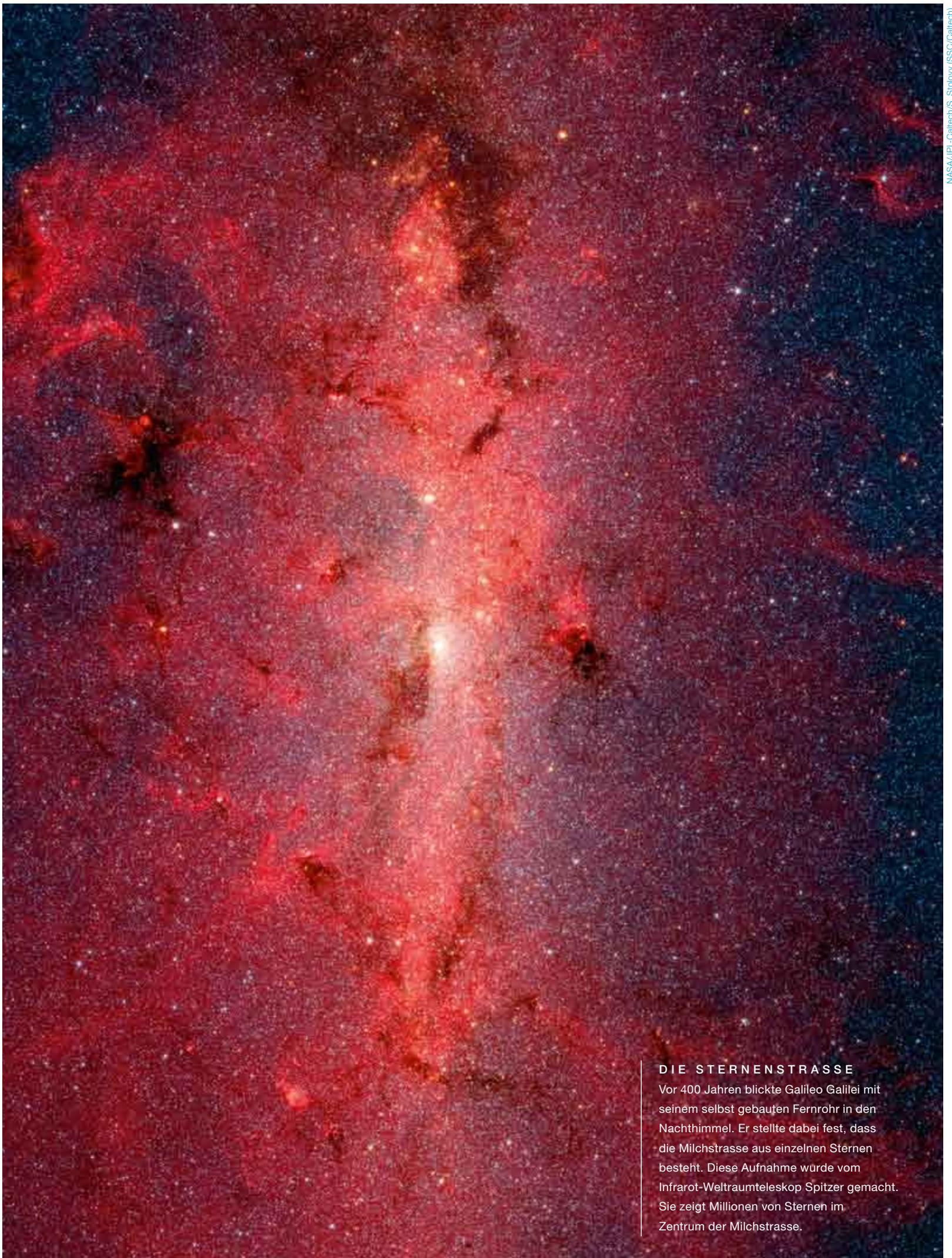
KONTAKT Prof. Matthias Mahlmann, m.mahlmann@rwi.uzh.ch, Rechtswissenschaftliches Institut der Universität Zürich

UNTERWEGS IM UNIVERSUM

1609 richtete Galileo Galilei sein Fernrohr auf den Nachthimmel. Dem italienischen Physiker und Astronomen offenbarte sich ein neues, faszinierendes Bild des Universums. Im gleichen Jahr veröffentlichte Johannes Kepler sein bahnbrechendes Buch über das Sonnensystem, «Astronomia nova». Mit den Beobachtungen und Beschreibungen Galileis und Keplers beginnt die moderne naturwissenschaftliche Erforschung des Kosmos. Das diesjährige Internationale Jahr der Astronomie erinnert an diese wissenschaftlichen Durchbrüche. In den vergangenen 400 Jahren hat die Forschung viele erstaunliche Erkenntnisse über die Entstehung und Entwicklung des Weltalls gewonnen – die Faszination für das Wunder des Universums ist damit nur noch grösser geworden. Und noch gibt es viele offene Fragen, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschäftigen. An der Universität Zürich hat Ben Moore als Direktor des Instituts für Theoretische Physik in den vergangenen Jahren einen hochkarätigen Hotspot der astrophysikalischen und kosmologischen Forschung aufgebaut. Die Artikel dieses Dossiers beschäftigen sich mit den grossen Fragen der Astrophysik, die an der Universität Zürich erforscht werden.

Die Bildstrecke dieses Dossiers bietet eine Reise durch das Universum von unserem Sonnensystem bis zurück zur Zeit nach dem Urknall. Der Astrophysiker Ben Moore hat die Bilder ausgewählt und kommentiert.

- 28 UNHEIMLICHE GIGANTEN Schwarze Löcher sind rätselhaft und «gefrässig»
- 32 «SCHRECKLICHES ENDE IM NICHTS» Astrophysiker Ben Moore im Interview
- 36 TANZ DER GALAXIEN Wie die Milchstrasse gross geworden ist
- 40 KOSMISCHER WIMPERNSCHLAG Die Erde entstand in kürzester Zeit
- 45 UNSICHTBARE SCHWÄCHLINGE Die Jagd nach der Dunklen Materie
- 49 INTERGALAKTISCHE SUPERHEFE Das Universum expandiert immer schneller
- 51 HALO, HUBBLE, SUPERNOVA Ein astrophysikalisches Glossar



DIE STERNENSTRASSE

Vor 400 Jahren blickte Galileo Galilei mit seinem selbst gebauten Fernrohr in den Nachthimmel. Er stellte dabei fest, dass die Milchstrasse aus einzelnen Sternen besteht. Diese Aufnahme wurde vom Infrarot-Weltraumteleskop Spitzer gemacht. Sie zeigt Millionen von Sternen im Zentrum der Milchstrasse.

UNHEIMLICHE GIGANTEN

Der Anziehungskraft von Schwarzen Löchern kann sich auch die Astronomie nicht erwehren. Physiker versuchen mit ihrer Hilfe die Entstehung des Universums zu erklären – und die Relativitätstheorie zu beweisen. Von Theo von Däniken

Lange Zeit galten sie lediglich als dunkler Schlusspunkt in der Entwicklung einstmaliger heller und funkelnder Sterne. Ausgebrannt kollabieren diese am Ende ihrer Lebenszeit und verdichten ihre Masse – bis zum Zehnfachen der Sonne – zu einer Kugel von wenigen Kilometern Durchmesser. Ein Objekt mit ungeheurer Anziehungskraft entsteht, das nichts wieder loslässt, was jemals in seinen Bann gezogen wurde, nicht einmal das Licht: Schwarze Löcher werden die unheimlichen Giganten deshalb genannt, weil sie alles verschlingen, was ihnen zu nahe kommt. Seit einigen Jahren geraten auch die Astronomen immer mehr in den Bannkreis ihrer Anziehungskraft. Denn das Bild der Schwarzen Löcher hat sich grundlegend gewandelt: Nicht mehr als vernichtendes Ende kosmologischer Entwicklungen, sondern als die treibende Kraft, die unser Universum formt und gestaltet, werden die Schwarzen Löcher nun angesehen.

Grund dafür ist eine neue Klasse von Schwarzen Löchern, die erst in den 1990er-Jahren entdeckt wurde: die sogenannten Supermassiven Schwarzen Löcher. Im Gegensatz zu stellaren Schwarzen Löchern, die höchstens die zehnfache Sonnenmasse erreichen, können diese kosmischen Monster die Masse von mehreren Millionen bis Milliarden Sonnen umfassen. In ihren aktiven Phasen verschlingen sie Gase in ungeheureren Mengen und machen auch vor ganzen Sternen nicht halt. Wie die Materie, die dabei derart beschleunigt und erhitzt wird, dass sie in allen Wellenbereichen zu strahlen beginnt und die hellsten beobachtbaren Objekte im Universum – die Quasare – schafft, so entbrennt auch immer mehr das Interesse der Wissenschaft an diesen gewaltigen Energiezentren.

Das ist verständlich, denn nicht nur die Kosmologen erhoffen sich von ihnen Antworten

auf bisher ungelöste Fragen. Die Supermassiven Schwarzen Löcher könnten auch einen lang gehegten Wunsch der modernen Physik Wirklichkeit werden lassen: den Beweis der Allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein. Kommen sich nämlich zwei solche Giganten nahe genug oder kollidieren gar miteinander, werden Kräfte frei, die das Universum richtiggehend aus den Fugen bringen. Dies jedenfalls sagt Einsteins Theorie voraus: Die Gravitationskräfte eines solchen Ereignisses müssten die Raumzeit verkrümmen und sogenannte Gravitationswellen entstehen lassen. Bisher ist es allerdings noch nicht gelungen, diese Wellen nachzuweisen. Zu gering sind die Ver-

tern bilden (zum Vergleich: Der Abstand Erde-Mond beträgt zwischen 360 000 und 400 000 Kilometer). Zwischen den drei Satelliten werden Laserstrahlen hin und hergeschickt. Das Lichtdreieck wird so im Schlepptau der Erde um die Sonne kreisen und sich dabei pro Orbit auch einmal um sich selber drehen. «Wenn eine Gravitationswelle auf LISA trifft, dann wird dieses Dreieck durchgerüttelt und deformiert», erklärt Jetzer. Die «Erschütterungen», die LISA messen soll, bewegen sich dabei im Bereich von Bruchteilen von Atomdurchmessern.

Die Anforderungen an die Technologie, die Satelliten zu stationieren, auszurichten und in der Bahn zu halten, sind deshalb gewaltig, der Zeitrahmen für LISA ist entsprechend gross: 2011 soll eine Pathfinder-Mission starten, in der einzelne Komponenten von LISA getestet werden. Die eigentliche Mission ist für 2018 geplant. Epo-

Supermassive Schwarze Löcher verschlingen Gase in ungeheuren Mengen und machen auch vor ganzen Sternen nicht halt.

zerrungen in der Raumzeit, um – selbst bei stärksten Ereignissen – auf der Erde spürbar zu sein. Gibt es die Wellen aber tatsächlich, dann wären sie ein Beweis für die grundlegende Theorie der modernen Physik.

In einem gross angelegten Projekt, der Laser Interferometer Space Antenna, kurz LISA, wollen deshalb die Amerikanische und Europäische Weltraumagentur, NASA und ESA, Gravitationswellen im Weltall messen. «LISA ist eines der ambitioniertesten und mindestens von seinen Abmessungen her sicherlich das grösste je in Angriff genommene physikalische Experiment», erklärt Philippe Jetzer, Professor am Institut für Theoretische Physik an der Universität Zürich und eines von rund 50 Mitgliedern des Wissenschaftlichen Beirats von LISA. Drei Satelliten sollen im Weltraum so stationiert werden, dass sie ein gleichseitiges Dreieck mit einer Seitenlänge von fünf Millionen Kilome-

ter bilden (zum Vergleich: Der Abstand Erde-Mond beträgt zwischen 360 000 und 400 000 Kilometer). Zwischen den drei Satelliten werden Laserstrahlen hin und hergeschickt. Das Lichtdreieck wird so im Schlepptau der Erde um die Sonne kreisen und sich dabei pro Orbit auch einmal um sich selber drehen. «Wenn eine Gravitationswelle auf LISA trifft, dann wird dieses Dreieck durchgerüttelt und deformiert», erklärt Jetzer. Die «Erschütterungen», die LISA messen soll, bewegen sich dabei im Bereich von Bruchteilen von Atomdurchmessern. Die Anforderungen an die Technologie, die Satelliten zu stationieren, auszurichten und in der Bahn zu halten, sind deshalb gewaltig, der Zeitrahmen für LISA ist entsprechend gross: 2011 soll eine Pathfinder-Mission starten, in der einzelne Komponenten von LISA getestet werden. Die eigentliche Mission ist für 2018 geplant. Epo-

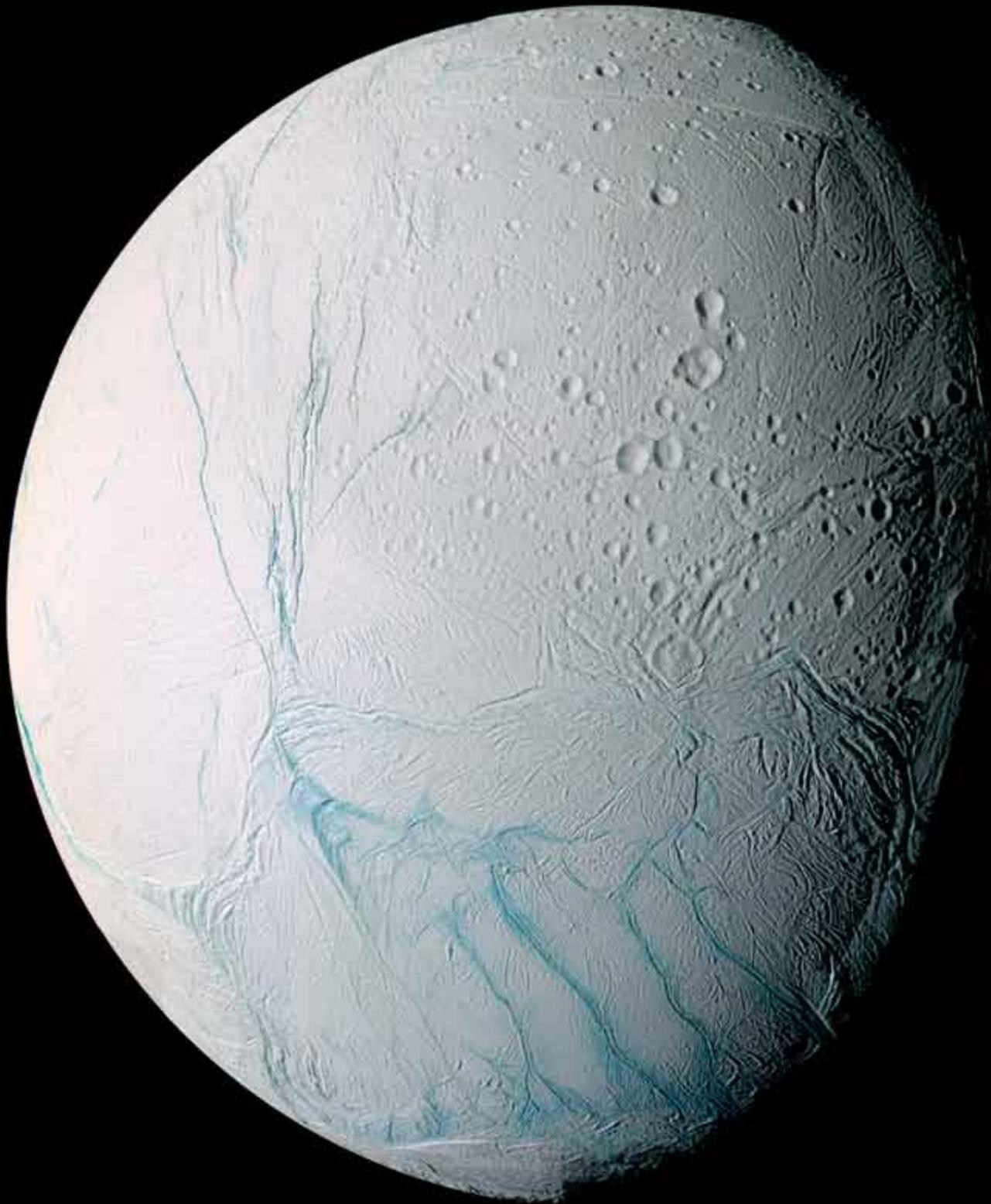
GALAKTISCHE GENERATOREN

Doch gibt es überhaupt Kollisionen zwischen Supermassiven Schwarzen Löchern, die Gravitationswellen erzeugen? Antwort auf diese Frage sucht der Kosmologe Lucio Mayer – SNF-Förderungsprofessor am Institut für Theoretische Physik der Universität Zürich – nicht am Himmel, sondern im Computer. Weil die galaktischen Zusammenstösse sich in Zeiträumen



KLEINER TITAN

Hyperion ist ein kleiner Saturn-Mond mit einem Durchmesser von rund 250 Kilometern. Seine schwammartige Struktur verdankt er den Kratern, mit denen seine Oberfläche übersät ist. Der Mond erinnert an die Bausteine grösserer Planeten, die durch die Kollision mit kleineren Himmelskörpern entstanden sind.



UNTERIRDISCHE OZEANE

Eine hoch aufgelöste Aufnahme des Saturn-Mondes Enceladus, festgehalten vom Satelliten Cassini. Es wird angenommen, dass Enceladus über riesige unterirdische Ozeane mit Salzwasser verfügt, in denen organisches Leben möglich sein könnte.

abspielen, die sich der direkten Beobachtung entziehen, simuliert Mayer solche Vorgänge in aufwendigen Berechnungen auf leistungsfähigen Supercomputern.

15 Milliarden Jahre – die Zeit 700 Millionen Jahre nach dem Urknall bis heute – laufen auf Mayers Computerbildschirm als Film in wenigen Minuten ab: Da klumpt sich eine amorphe Gasmasse zu kleinen Haufen zusammen, Nebelfetzen ziehen vorbei und werden aufgesogen. Langsam bilden sich rotierende spiralförmige Sternenhaufen, die wild durcheinanderwirbeln und immer wieder miteinander kollidieren. Dabei werden sie zunächst arg zerzaust, verbinden sich aber bald zu einem einzigen, grösseren Wirbel. Mit der Zeit bildet sich ein zentrales System, das sich immer mehr anreichert und weitere Stern- und Gasnebel in seinen Bann zieht. Am Ende präsentiert sich eine mittelgrosse Galaxie, unserer Milchstrasse nicht unähnlich.

Die treibende Energie, die dieses System entstehen und wachsen lässt, so die heute gängige Annahme, ist ein Supermassives Schwarzes Loch in dessen Zentrum. Innert weniger Jahre hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass Supermassive Schwarze Löcher die meisten spiralförmigen und elliptischen Galaxien im innersten zusammenhalten und antreiben. Direkte Beweise dafür fehlen zwar, doch verschiedene Beobachtungen machen die Hypothese sehr wahrscheinlich. Kronzeuge dieser Theorie ist unsere eigene Galaxie, die Milchstrasse. Astronomen des Max Planck-Instituts für Extraterrestrische Physik haben aufgrund langjähriger Beobachtungen der Umlaufbahn von Sternen im Zentrum der Galaxie berechnet, dass sich dort «mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit» ein Schwarzes Loch mit rund vier Millionen Sonnenmassen befindet.

Die Frage, die Mayer am meisten interessiert: «Was passiert, wenn zwei kleinere Galaxien zusammenstossen und sich die beiden Supermassiven Schwarzen Löcher im Zentrum verbinden?» In diesem Zustand, einem sogenannten binären System, müssten sie gemäss der Relativitätstheorie beginnen, Gravitationswellen auszustrahlen. Vor zwei Jahren ist es Mayer gelungen, erstmals die Annäherung zweier Galaxien und ihrer zentralen Super-

massiven Schwarzen Löcher in einer Computersimulation darzustellen. Rund zwei Millionen Stunden haben mehrere Supercomputer dafür gerechnet.

GALAXIEN AUF KOLLISIONSKURS

Die Simulation zeigte, dass zwei Galaxien auf Kollisionskurs in relativ kurzer Zeit ein System bilden, in dem die beiden Schwarzen Löcher einander umkreisen. Eine immer dichter werdende Gas-Scheibe im Zentrum dieses Systems bremst die Bewegung der Schwarzen Löcher auf ihrem Orbit umeinander und bewirkt, dass die Fliehkräfte geringer werden: Die beiden Schwarzen Löcher rücken in der Folge immer näher zusammen. Wie es genau weitergeht, das konnte Mayer noch nicht detailliert darstellen; dazu muss er die Auflösung seiner Simulationen weiter verfeinern. Doch jede Verfeinerung bringt wieder neue Parameter ins Spiel, da sich die Umgebungsverhältnisse im System dynamisch verändern. Mayer muss dabei verschiedenste Bereiche der Physik berücksichtigen, etwa die Teilchenphysik, um

men, dass sie Gravitationswellen auszustrahlen beginnen, so interessiert sich Jetzer als Relativitätstheoretiker dafür, wie die Gravitationswellen beschaffen sind, die von einem solchen System ausgehen. Denn wenn LISA dereinst tatsächlich Gravitationswellen misst, dann müssen diese möglichst genau interpretiert werden können. «Man muss aus den Signalen die Informationen über ihre Quelle wieder herausfiltern können», erklärt Jetzer. Die Gravitationswellen erlauben Rückschlüsse sowohl auf die Masse als auch auf die Position, die Distanz und den Spin, also die Drehung eines Systems, das die Wellen verursacht.

Die Berechnungen zu den Wellenmustern sind jedoch sehr komplex und werden umso aufwendiger, je mehr Parameter berücksichtigt werden. Jetzer und seine beiden Mitarbeiter Antoine Klein und Mauro Sereno haben in einer jüngst publizierten Arbeit Berechnungen für verschiedene Wellenmuster durchgeführt und gezeigt, welche Auswirkungen sie auf die Präzision, beispielsweise der Distanzbestimmung, haben. Je besser man weiss, wo genau und in

Supermassive Schwarze Löcher halten die meisten spiralförmigen und elliptischen Galaxien im Innersten zusammen und treiben sie an.

die Effekte der theoretisch angenommenen «kalten dunklen Materie» einzuschliessen, oder die aktuellste Forschung über Sternbildung und Strömungslehre. Denn selbst Prozesse auf der Ebene einzelner Sterne, wie etwa Supernova-Explosionen, können ungeahnte Rückkoppelungen und Wechselwirkungen auf das ganze System haben, die Mayer in seinen Modellierungen abbilden muss. So haben er und sein Doktorand Simone Callegari in einer kürzlich veröffentlichten Arbeit über die Fusion von Schwarzen Löchern mit ungleich grossen Massen herausgefunden, dass nicht nur Dichte und Temperatur des Gases wichtig sind, sondern auch dessen Verteilung: Ist es gleichmässig verteilt, ist die Bremswirkung und damit die Wahrscheinlichkeit, dass die beiden Schwarzen Löcher fusionieren, grösser.

Während Mayer sich damit befasst, wie Supermassive Schwarze Löcher so weit kom-

welcher Distanz sich eine Fusion von Supermassiven Schwarzen Löchern ereignet, umso eher kann man diese mit anderen Beobachtungsinstrumenten, etwa mit optischen Teleskopen, ebenfalls ins Visier nehmen.

Jetzer ist gespannt, ob es mit LISA gelingt, endlich mehr Licht in die dunkelsten Objekte des Universums zu bringen, die keineswegs nur tote Giganten sind, die mit dem Licht auch jegliche Erkenntnismöglichkeit zu verschlingen drohen. Vielmehr bergen die Schwarzen Löcher möglicherweise den Schlüssel zur uralten Menschheitsfrage, wie das Universum entstanden ist. Wenn nicht das, dann könnten sie immerhin einen Beweis für Einsteins Relativitätstheorie liefern, auf der die moderne Physik beruht.

KONTAKT Prof. Philippe Jetzer, jetzer@physik.uzh.ch, Prof. Lucio Mayer, lmayer@physik.uzh.ch

«SCHRECKLICHES ENDE IM NICHTS»

Astrophysiker Ben Moore modelliert mit einem Supercomputer die Entstehung und Entwicklung des Universums. Ein Gespräch über den Urknall, das Ende des Kosmos und die Erfindung von Gott. Von Thomas Gull und Roger Nickl

Ben Moore, weshalb sind Sie Astrophysiker geworden?

BEN MOORE: Das habe ich meinem Vater, der Förster war, zu verdanken. Obwohl nur ein einfacher Arbeiter, machte er sich Gedanken über die Natur und das Universum. Er fragte mich jeweils: «Was denkst du, wie dies alles entstanden ist – das Universum, die Erde, wir?» Er selbst konnte diese Fragen nicht beantworten und ermutigte mich, an die Universität zu gehen, statt im Wald zu arbeiten wie er. Von ihm bekam ich auch interessante Bücher, etwa die des Physikers Paul Davies. So wurde mein Interesse geweckt, und ich ging an die Universität, um Physik zu studieren und die Fragen meines Vaters zu beantworten.

Vor 400 Jahren entdeckte Galileo Galilei mit seinem Teleskop die Jupiter-Monde und Johannes Kepler berechnete die Gesetze der Planetenbewegung. Wie haben sich die Astronomie und die Astrophysik seit diesen Anfängen verändert?

MOORE: Galilei war der Erste, der mit einem Teleskop unsere Galaxie, die Milchstrasse, beobachtete. Mit blossen Auge betrachtet, ist sie nichts als ein Fetzen Licht am Himmel. Er war der Erste, der die Struktur der Galaxie entdeckte, der sah, dass sie aus Millionen von Sternen besteht. Eine der grossen Fragen der heutigen Astrophysik ist, wie Galaxien überhaupt entstehen konnten. Wir machen auf diesem Gebiet momentan grosse Fortschritte. Wir sind fast so weit zu verstehen, wie die Milchstrasse entstanden ist. Dazu brauchte es 400 Jahre Forschung.

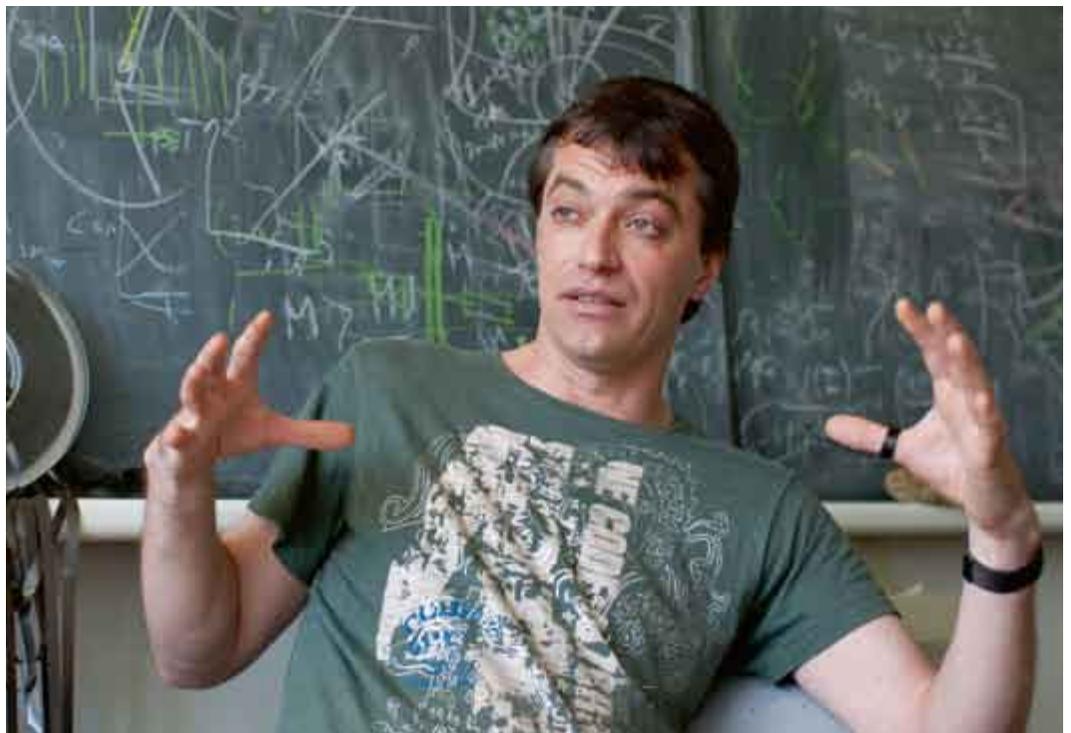
Woran arbeiten Sie zurzeit?

MOORE: Im letzten Jahrzehnt haben wir nicht nur ein Modell des Urknalls entwickelt, der am

Ursprung des Universums steht. Wir haben auch herausgefunden, wie und unter welchen Bedingungen die Strukturen des Universums entstanden sind. Wir wissen heute sehr gut, in welchem Zustand das Universum ein paar Stunden nach dem Big Bang war. Und wir wissen, woraus die Sterne, Planeten, Galaxien entstanden sind. Wir kennen aber noch nicht alle Bestandteile unseres Universums, das gilt insbesondere für die Dunkle Materie und die Dunkle Energie. Aber es gibt Modelle dafür, die wir in unsere Kalkulationen integrieren können. Mit unserem Supercomputer können wir – ausgehend von ursprünglichen Bestandteilen – die Entwicklung des Universums simulieren. Am Schluss solcher Simulationen sehen wir dann hoffentlich Sterne, Planeten und Galaxien, wie wir sie heute tatsächlich beobachten können.

Welches waren denn die ursprünglichen Bedingungen?

MOORE: Mit dem Urknall wurden Zeit und Raum geschaffen. Weshalb sich der Big Bang ereignete und was davor war, wissen wir nicht. Das sind grosse, offene Fragen. Tatsache aber ist: den Big Bang hat es gegeben. Und heute wissen wir auch, in welchem Zustand sich das Universum unmittelbar danach befand. Zu Beginn war die Materie sehr fein verteilt. Wenn wir bis zu den Anfängen des Universums zurückblicken, sehen wir eine Art Meer mit vielen ganz kleinen Wellen. Diese Wellen entstanden, weil sich dort besonders viel Materie und Partikel angehäuften. Es gab also kleine Unregelmässigkeiten bei der Verteilung der Materie im frühen Universum. Dank der Schwerkraft haben diese Materieansammlungen dann weitere Materie angezogen. So sind die ersten Strukturen des Universums entstanden, aus denen sich später Sterne, Planeten, Galaxien formierten.



Das heisst, die Gravitation ist einer der entscheidenden Faktoren für die Entstehung der sichtbaren Strukturen im Universum?

MOORE: Ohne Gravitation wären wir nicht hier. Die Gravitation sorgt dafür, dass sich die Masse an bestimmten Orten konzentriert. Eigentlich expandiert das Universum. Die Gravitation verlangsamt diese Ausdehnung jedoch. An jenen Stellen, wo sich genügend Materie angesammelt hat, wird sie vollständig gestoppt; ist die Konzentration an diesen Stellen genügend gross, kollabiert die Materie und geht in neue Strukturen über. Wir vergleichen das mit Wellen, die grösser werden, schliesslich brechen und eine neue Form annehmen.

Im Universum wirken also zwei antagonistische Kräfte – auf der einen Seite die Gravitation, die die Materie zusammenhält, auf der anderen Seite die Dunkle Energie, die sie auseinandertreibt?

MOORE: Ja, die Dunkle Energie ist eine abstossende Kraft, die der Gravitation entgegenwirkt. Heute ist sie noch nicht sehr stark, sie wird in Zukunft aber immer stärker werden. Wir wissen noch nicht, weshalb das so ist. Schlussendlich wird die Dunkle Energie aber

dominieren. Sie wird dafür sorgen, dass das Universum sich immer schneller ausdehnt und sich die Galaxien immer weiter voneinander entfernen.

Sie sind dabei zu erklären, wie das sichtbare Universum entstanden ist und wie es sich in Zukunft entwickeln wird. Doch wie sieht es mit dem Big Bang aus – gibt es Theorien zu seinem Ursprung?

MOORE: Wir verstehen die Entwicklung des Universums bis zur ersten Sekunde nach dem Urknall. Damals war die Materie des gesamten Universums auf die Grösse eines Atoms komprimiert – alles war unvorstellbar dicht und heiss. Die Kräfte, die dazu geführt haben, kennen wir aber nicht.

Wird die Frage nach dem Grund für den Big Bang überhaupt je beantwortet werden können?

MOORE: Wir können nur das sichtbare Universum erklären, das mittlerweile 13,7 Milliarden Jahre alt ist und seit seinen Anfängen Licht ausstrahlt. Mehr können wir nicht beobachten: Wir können also nicht sagen, ob unser Universum sich nur auf das beschränkt,

was wir sehen können, oder ob es letztlich unendlich gross ist. Viele Wissenschaftler glauben heute, es gebe eine Art Multiversum.

Wie muss man sich ein Multiversum vorstellen?

MOORE: Die Wissenschaft steht vor einem philosophischen Problem. Denn unser Universum wird, wie gesagt, immer stärker von der Dunklen Energie angetrieben, die dafür sorgt, dass es sich immer schneller ausdehnt. Das Universum hat also einen klar definierten Ausgangspunkt, den Urknall, und ein schreckliches Ende im Nichts – die Galaxien lösen sich auf, die Sterne sterben, alles wird dunkel und kalt. Philosophisch betrachtet ist das doch sonderbar. Wenn nun aber das Universum unendlich wäre, gäbe es folglich auch die Möglichkeit einer unendlichen Vielfalt von Erscheinungsformen. Teile dieses unendlichen Multiversums könnten über genügend Materie verfügen, um erneut zu kollabieren. Andere Teile wiederum könnten gerade jetzt neu geschaffen worden sein und sich ausdehnen wie unser Universum.

Das heisst, unser Universum könnte Teil eines viel grösseren Universums sein?



«Die Zukunft des Universums sieht finster aus: Galaxien lösen sich auf, Sterne sterben, alles wird dunkel und kalt.»

MOORE: Eines unendlichen Universums, von dem wir nichts wissen, ja.

Gibt es nicht noch eine andere Erklärung für den Big Bang – Gott, der den Urknall schuf? Weshalb beschäftigen Sie sich nicht mit einer solchen Erklärung?

MOORE: Weil es keine Erklärung ist, sondern eine Frage des Glaubens – eine Erklärung, die sich mit der Physik nicht verifizieren oder falsifizieren lässt. God and physics don't mix – Gott und Physik gehen nicht zusammen.

Welche Rolle spielt denn Ihrer Meinung nach Gott in der Ordnung des Universums?

MOORE: Keine. Gott wurde von den Menschen erfunden, um Dinge zu erklären, die sie nicht verstanden haben. Die meisten dieser Fragen sind in der Zwischenzeit durch die Wissenschaft geklärt worden. Es sind ein paar Fragen geblieben, auf die wir noch keine Antworten haben. Das bedeutet aber nicht, dass wir sie früher oder später nicht auch beantworten können. Wenn wir wissenschaftlich erklären können, wie das Universum entstanden ist, brauchen wir keine mythischen Figuren wie Gott mehr. Es ist sehr schwierig, Wissenschaft

und Religion zusammenzubringen. Wissenschaft basiert auf Experimenten und Fakten – etwas ist beweisbar oder eben nicht.

Die Griechen hatten auch ihre Götter, trotzdem waren sie ziemlich abenteuerlustig und erfolgreich in ihren wissenschaftlichen Unternehmungen. Es gibt demnach nicht unbedingt einen Widerspruch?

MOORE: Die Griechen wussten alles – sie wussten, dass wir nicht im Zentrum des Universums stehen, sie wussten, dass sich die Erde um die Sonne dreht, sie kannten die Dimensionen des Sonnensystems. Sie spekulierten sogar darüber, ob unsere Galaxie eine rotierende Scheibe von Sternen sei. Auf die Griechen folgten dann Hunderte von Jahren religiöser Verblendung. Es wurde versucht, den Menschen weis zu machen, die Erde sei flach, die Sonne bewege sich um die Erde und der Mensch stehe im Zentrum des Alls. Alles Wissen der Griechen ging verloren – bis Galileo, Kepler und Newton erneut begannen, das Universum zu erforschen und zu berechnen. Deshalb würde ich sagen: Gott hatte einen schlechten Einfluss auf die Entwicklung der Mensch-

heit. Aber auch die Griechen hatten Fragen, die sie nicht beantworten konnten. Deshalb brauchten sie ihre Götter.

Wenn Sie sich die Entwicklung des Universums anschauen – ist es ein Zufall, dass die Erde als bewohnbare Oase in einer kalten und lebensfeindlichen Umgebung existiert?

MOORE: (lacht) Das klingt poetisch. Doch die Antwort ist deprimierend: Ja, es ist nur Zufall. In unserer Galaxie gibt es rund 10 Milliarden Sterne wie unsere Sonne. Sie alle werden von Planeten umkreist. Wenn sich diese in der richtigen Distanz zu ihrer Sonne befinden und auch die anderen Bedingungen stimmen, gibt es eine Chance, dass auf vielen dieser Planeten Leben entsteht. Ich halte das für sehr wahrscheinlich.

Mit Ihrem Kollegen Lawrence Krauss beschäftigen Sie sich in einem Projekt mit der Zukunft unserer Galaxie. Was wissen Sie über die Zukunft?

MOORE: Sie wird wie bereits angetönt sehr düster sein: Denn zumindest in unserem Teil des Universums wird früher oder später alles

«Gott wurde von den Menschen erfunden, um Dinge zu erklären, die sie nicht verstanden haben.»



Leben aussterben. Alle Sterne werden erlöschen, unsere Sonne wird explodieren und das Zentrum der Galaxie kollabiert in das Schwarze Loch, das sich in der Mitte befindet – der Rest driftet auseinander. Am Schluss bleibt nur das Schwarze Loch und sonst nichts übrig. Nichts ist stabil, nichts dauert ewig. Die Galaxie wird sich ausdehnen, bis die Gravitation sie nicht mehr zusammenhalten kann und sie von der Dunklen Energie vollends auseinandergerissen wird.

Doch bevor alles auseinanderdriftet, kollidiert die Milchstrasse noch mit der Andromeda-Galaxie?

MOORE: Genau. Das passiert kosmologisch betrachtet in vergleichsweise kurzer Zeit, in zwei bis drei Milliarden Jahren.

Die Kollision wird stattfinden, trotz der expansiven Kräfte der Dunklen Energie?

MOORE: Ja. Aber nach der Kollision, in fünf bis zehn Milliarden Jahren, wird die Dunkle Energie die Oberhand gewinnen, und die anderen Galaxien werden sich mit wachsender Geschwindigkeit von uns weg bewegen.

Das heisst, Milchstrasse und Andromeda werden zuerst kollidieren und eine neue Supergalaxie bilden, die dann mit der Zeit auseinanderdriftet?

MOORE: So ist es. Die Hälfte der Galaxie wird im Schwarzen Loch verschwinden. Wir sind dabei, die entsprechenden Berechnungen zu machen. Die andere Hälfte wird ins Nichts auseinanderdriften.

In welchen Zeiträumen müssen wir uns dieses Ende im Nichts vorstellen?

MOORE: Das wird etwa eine Milliarde Mal das bisherige Alter unseres Universums dauern.

Die Menschheit wird das wohl nicht erleben?

MOORE: Der Punkt ist, dass nichts und niemand das erleben wird, ganz egal, wie intelligent das Leben ist, das das Universum hervorbringt. Denn Leben braucht irgendeine Form von Energie und diese wird nicht mehr vorhanden sein. Am Schluss wird die ganze Materie zerfallen und es wird nichts mehr übrig bleiben.

EIN BUCH VOLLER IDEEN

«An der Universität Zürich gab es seit Albert Einstein keine Kosmologie mehr», sagt Ben Moore im Verlaufe des Gesprächs mit dem «unimagazin». Das änderte sich 2001 mit seiner Berufung als Professor für Theoretische Physik. In den letzten Jahren ist es Moore als Direktor des Instituts für Theoretische Physik gelungen, einen international beachteten Hotspot für Astrophysik aufzubauen. Ihn habe die Aufgabe gereizt, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen, die sich mit den grossen Fragen der Kosmologie befasst, erzählt Moore: «Ich wollte mich nicht einfach einer etablierten Gruppe anschliessen. Hier in Zürich konnte ich die Mitarbeiter selber auswählen und die Forschungsziele festlegen. Als ich anfang, hatte ich ein Buch voller Ideen und nicht genug Zeit, um alle selber zu verwirklichen.»

Für seine Arbeit, die sich mit Berechnungen und Computersimulationen der Entstehung des Universums befasst, braucht Moore einen starken Computer. Den hat er zusammen mit seinem Kollegen Joachim Stadel selber entwickelt. Der Entwurf entstand in einem Pub auf einer Serviette. Stadel und Moore haben den Computer, die zBox, auch eigenhändig zusammengebaut. Der Supercomputer war deshalb unschlagbar günstig – 250 000 Franken hat der Hochleistungsrechner gekostet. «Als ich herkam, arbeiteten die Physiker an diesem Institut ausschliesslich mit Papier und Bleistift. Das genügt heute nicht mehr. Man kann beispielsweise nicht einfach in einer Gleichung festhalten, wie ein Stern entsteht und dann explodiert, weil diese Gleichungen nicht linear, sondern chaotisch sind. Das heisst, es gibt oft mehr als eine Möglichkeit. Diese muss man durchspielen», erläutert Moore seine Arbeitsweise. Er und seine Mitarbeitenden machen Modellrechnungen, die etwa die Entstehung einer Galaxie wiedergeben. Diese wird dann am Computer simuliert und mit den Galaxien verglichen, die es im Universum tatsächlich gibt. Wenn das Modell und die Realität nicht übereinstimmen, wird das Modell revidiert, bis es passt. «Dieses Vorgehen ist interessant, weil wir unsere Theorien

anhand der Realität testen können», betont Moore, räumt aber ein: «Wir können noch keine Vorhersagen machen und den Astronomen sagen, wonach sie suchen müssen.» Die Konstruktion einer Galaxie am Computer ist auch deshalb schwierig, weil es Milliarden von Galaxien mit zum Teil sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Erscheinungsformen gibt.

Die Zürcher Gruppe um Ben Moore ist auf zwei Gebieten weltweit führend: bei der Simulation und Berechnung der Entstehung von Galaxien und bei der Entwicklung von Modellen der Dunklen Materie. So hängt in Moores Büro das Bild einer Computersimulation, das die Verteilung der Dunklen Materie in der Milchstrasse wiedergibt. Solche Vorhersagen geben wichtige Hinweise für Experimentalphysikerinnen wie Laura Baudis von der Universität Zürich, die versucht, die Teilchen, aus denen die Dunkle Materie vermutlich besteht, direkt nachzuweisen.

Was ist aus Moores Buch voller Ideen geworden? «Wir haben es etwa zu einem Drittel durchgearbeitet», sagte der Astrophysiker und lächelt, «allerdings kommen immer neue Ideen dazu. Die Fragen werden oft detaillierter und schwieriger zu lösen, wenn man sich mit ihnen beschäftigt.» Doch Moore ist zufrieden mit seiner Gruppe von rund 30 Forschern – die grösste der Welt, die sich mit Computersimulationen des Universums befasst. Der Erfolg zieht weitere interessante Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an, die in Zürich arbeiten wollen. Moore, der ausgesprochen locker wirkt und auftritt, legt viel Wert auf eine gute Atmosphäre: Seine Türe ist immer offen, im Gang stehen Billiard- und Pingpongische für kreative Pausen und auch das Sozialleben kommt nicht zu kurz: «Heute Abend gehen wir zusammen Pizza essen und diskutieren. Doch vorher muss ich noch ein paar Projekteingaben bearbeiten», sagt Moore und lacht. *Thomas Gull*

KONTAKT Prof. Ben Moore, Direktor des Instituts für Theoretische Physik der Universität Zürich, moore@physik.uzh.ch

TANZ DER GALAXIEN

Weshalb gibt es Galaxien, die hell leuchten und glatt sind wie eine Frisbee-Scheibe, während andere klumpig und dunkel durchs Universum rotieren? Der Blick ins All und Computersimulationen liefern verblüffende Antworten. Von Thomas Gull

«So hat alles angefangen», Romain Teyssier zeigt auf den Bildschirm seines Laptops: «Das ist ein Bild des Universums im Alter von 400 000 Jahren.» Bis zu diesem Zeitpunkt war das Universum undurchsichtig, weil sich das Licht nicht ausbreiten konnte. Das änderte sich, als die Temperatur auf rund 3000 Kelvin fiel und sich stabile Atome bildeten, die mit den Photonen nur in geringer Wechselwirkung standen. Das junge Universum, das nun sichtbar wurde, war noch sehr homogen, ohne feste Strukturen, ohne Sterne und Galaxien. «Wir haben grosses Glück», freut sich Teyssier, «denn von diesem Ausgangspunkt entwickeln wir unsere Modelle der Entstehung von Galaxien.»

Die erste Aufnahme des Universums zeigt den kosmischen Mikrowellenhintergrund, der sich elipsenförmig auf dem Bildschirm ausbreitet wie ein grosser, ruhiger See, dessen Oberfläche in verschiedenen Farbtönen schimmert, die von Dunkelblau bis Rot variieren. Teyssier deutet auf die rot eingefärbten Stellen: «Da sehen wir sehr kleine Wellen auf der Oberfläche des Sees. Das sind Gebiete mit einer etwas höheren Dichte an Materie, vergleichbar mit einem Zentimeter in einer 1000 Meter hohen Welle. Das heisst, sie sind wirklich sehr klein.» Diese minimalen Ballungen von Materie sind der Ursprung. Durch die Gravitation entstanden aus ihnen zuerst Klumpen und dann die ersten Galaxien und Sterne. Bis es soweit war, dauerte es noch einmal 600 000 Jahre. Und es wurde noch einmal dunkel im Universum; die Astrophysiker sprechen von den «Dark Ages», dem Zeitalter der Finsternis, das dann nach einer Milliarde Jahren zu Ende ging, als die ersten Sterne zu strahlen begannen. Mit ihnen gingen im Universum die Lichter an, die die Astronomen und Astrophysiker noch heute beobachten können, wenn sie mit ihren hochsensitiven Teleskopen in den Nachthimmel schauen.

Eine dieser professionellen Sternenguckerinnen ist Kim-Vy Tran. Die junge SNF-Förderungsprofessorin studiert die Evolution der Galaxien, indem sie mit Hilfe von Teleskopen wie dem Hubble Space Telescope, dem Spitzer Space Telescope oder dem in Chile stationierten Teleskop der Europäischen Südsternwarte (ESO) Zeitreisen durch das Universum macht: «Ins Universum zu schauen, ist wie eine Zeitmaschine», erklärt sie lächelnd, «je weiter weg wir im Raum schauen, umso weiter blicken wir in der Zeit zurück.» Das heisst, je weiter weg die beobachteten Galaxien sind, desto älter sind sie.

Doch wie entstehen Galaxien? Während Kim-Vy Tran diese Frage durch den Blick ins Universum beantworten will, simulieren viele der Forschenden, die die Gravitationskraft von Astrophysiker Ben Moore in den letzten Jahren am Institut für Theoretische Physik versammelt hat, die Entstehung von Galaxien mit Computermodellen. Romain Teyssier, der eigentlich als Professor in Paris lehrt, aber für einen zweijährigen Forschungsurlaub nach Zürich gekommen ist und am liebsten hier bleiben möchte,

«Ins All zu blicken, ist wie eine Zeitmaschine: Je weiter weg wir sehen, umso weiter gehen wir in der Zeit zurück.» Kim-Vy Tran, Astrophysikerin

hat Filme solcher Simulationen auf dem Laptop gespeichert. Wenn er sie startet, werden im dunklen Nichts zuerst helle Punkte sichtbar – die ersten Sterne, die sich dann innerhalb von ein paar Sekunden in einer rotierenden Galaxie mit leuchtenden Spiralarmen zusammenfinden. «Alles, was wir für die Modellierung brauchen, sind die Bedingungen, wie sie am Anfang des Universums herrschten, und die Gravitation, et voilà», sagt Teyssier verschmitzt. In der am Schluss so stringent und

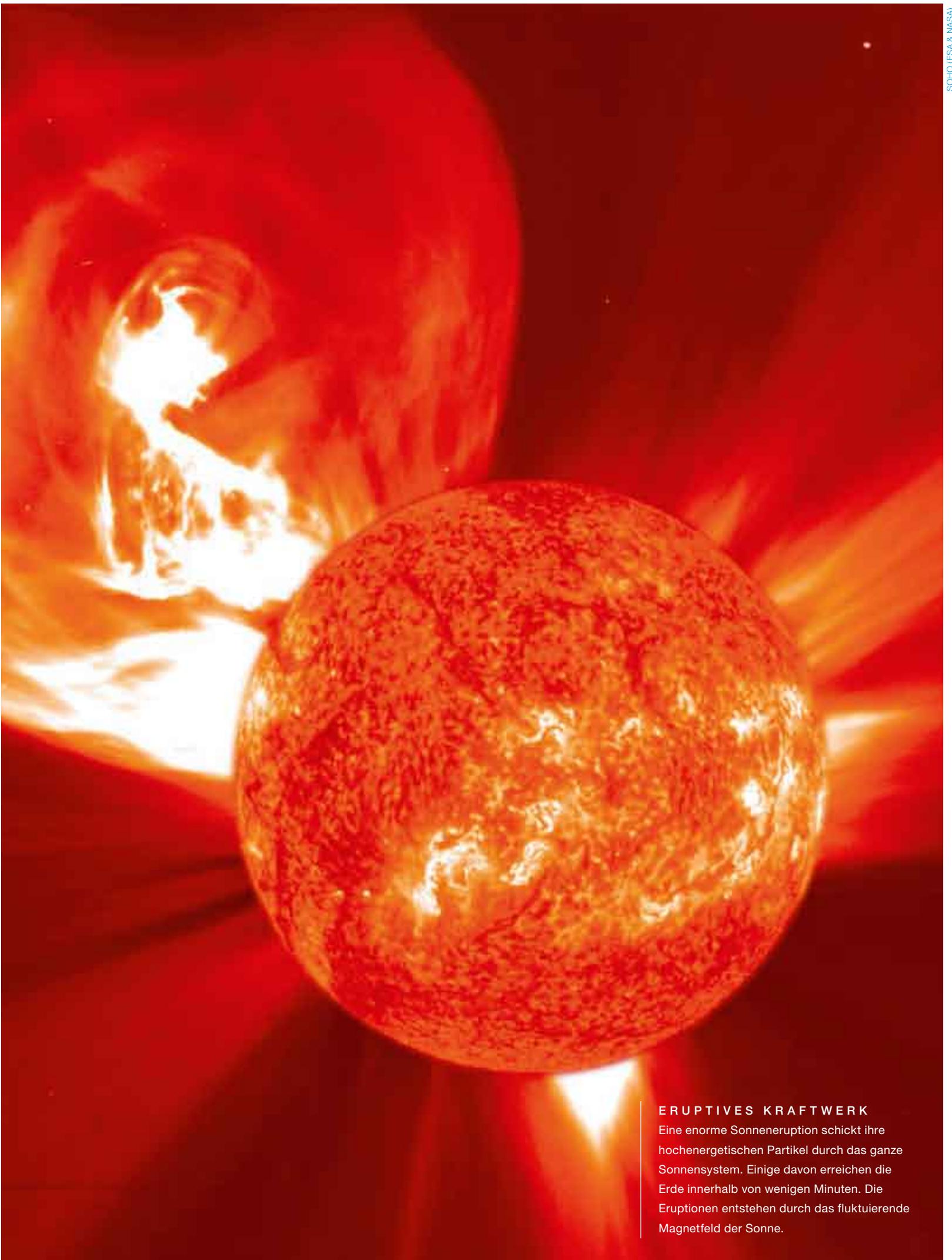
verspielt erscheinenden Simulation steckt jedoch viel Denkarbeit und die gewaltige Rechenleistung des in Zürich gebauten Supercomputers zbox. Ausserdem basieren die Modelle auf zwei Faktoren, die völlig unbekannt sind: der Dunklen Energie und der Dunklen Materie.

Was grundsätzlich vorging, als die ersten Galaxien entstanden, weiss man heute. Dunkle Materie bildet einen sogenannten Halo, in dem sich Wasserstoff sammelt und verdichtet. In diesen Materialwolken, sogenannten «Protogalaxien», entstehen die ersten Sterne. Durch die Rotation werden die kugelförmigen Protogalaxien zu flachen Galaxienscheiben mit einem kugelförmigen Kern. Galaxien leuchten umso heller, je mehr Sterne sie haben und je grösser diese sind.

GALAKTISCHER KANNIBALISMUS

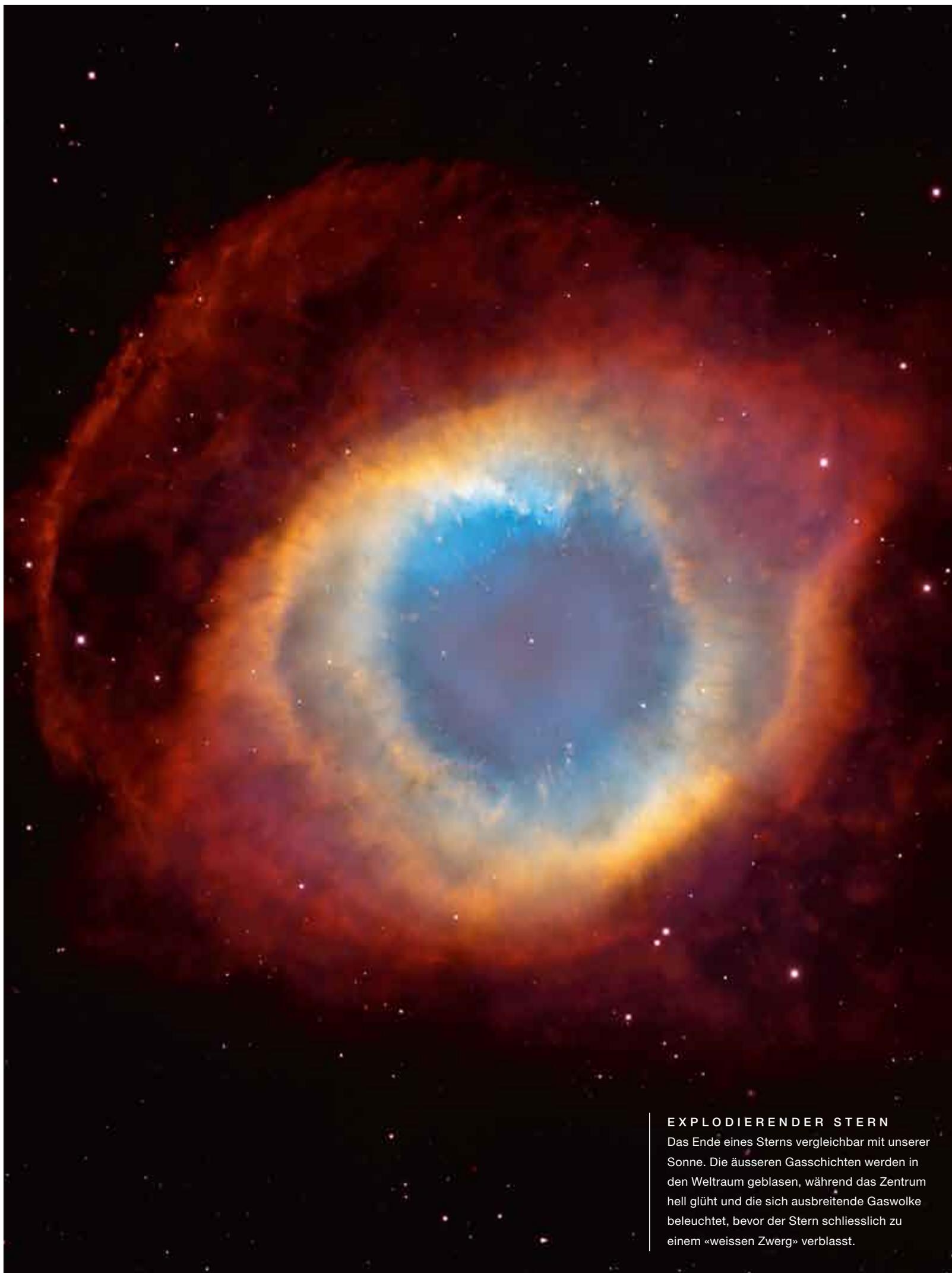
Die Frage, die die Astrophysik heute beschäftigt, ist, wie die grossen Galaxien und die Galaxienhaufen entstanden sind und wie sich ihre verschiedenen Formen erklären lassen. Dazu dienen die Modelle, wie sie die Zürcher Astrophysikprofessoren Romain Teyssier oder George Lake entwerfen. Lake hat auf diesem Gebiet Ende der 1990er-Jahre Bahnbrechendes geleistet, als es seiner Gruppe in Seattle gelang, Gala-

xienhaufen zu simulieren. Die bis zu diesem Zeitpunkt gängige Theorie zu Entstehung und Entwicklung von Galaxien ging davon aus, dass diese fusionieren und so immer grösser werden. Deshalb sollte es im Universum heute eigentlich nur noch grosse Galaxien geben, die die kleinen um sich herum geschluckt haben. Die Wissenschaft bezeichnet diese Prozesse als «hierarchische Formation» und «galaktischen Kannibalismus». Vor dem Hintergrund der gängigen Theorien zur Entstehung von



ERUPTIVES KRAFTWERK

Eine enorme Sonneneruption schickt ihre hochenergetischen Partikel durch das ganze Sonnensystem. Einige davon erreichen die Erde innerhalb von wenigen Minuten. Die Eruptionen entstehen durch das fluktuierende Magnetfeld der Sonne.



EXPLODIERENDER STERN

Das Ende eines Sterns vergleichbar mit unserer Sonne. Die äusseren Gasschichten werden in den Weltraum geblasen, während das Zentrum hell glüht und die sich ausbreitende Gaswolke beleuchtet, bevor der Stern schliesslich zu einem «weissen Zwerg» verblasst.

Galaxien war das Vorhandensein von Galaxienhaufen, in denen sich Tausende von Galaxien auf einem Raum versammeln, der nicht grösser ist als der Abstand zwischen der Milchstrasse und der Andromeda-Galaxie, ein Rätsel für die Wissenschaft. George Lake konnte zeigen, wie solche Strukturen entstehen und sich verändern. «Es gibt auch in den Galaxienhaufen Fusionen», erläutert Lake, «aber in der Regel sind die einzelnen Galaxien zu schnell, um von den anderen erwischt zu werden.» Einzig die grösste Galaxie im Zentrum des Haufens wächst, indem sie kleinere «frisst».

Lake sagte damals aufgrund seiner Computersimulationen voraus, dass eine grosse Zahl von Zwerggalaxien überlebt, wenn eine Galaxie entsteht. Diese Theorie war anfänglich umstritten, weil kaum solche Galaxien beobachtet werden konnten. Die Wissenschaft spricht deshalb vom «Missing Satellite»-Problem. Mittlerweile wurden zahlreiche solcher Strukturen entdeckt, die um die Milchstrasse kreisen. Vorher hat man diese «Zwerge» übersehen, weil sie «dunkel» sind, das heisst, keine oder nur sehr wenige Sterne haben, die leuchten. Lake, der nach einem Abstecher in die Privatwirtschaft heute an der Universität Zürich lehrt und forscht, scheint also Recht zu bekommen.

Lakes Simulation von Galaxienhaufen ist ein Beispiel dafür, wie sich bei der Lüftung galaktischer Geheimnisse Beobachtung und Computersimulation ergänzen können. Ein weiteres ungelöstes Rätsel ist die Entstehung sehr alter und gleichzeitig massiver elliptischer Galaxien. Diese unterscheiden sich von Galaxien wie der Milchstrasse, die glänzenden, rotierenden Scheiben gleichen, deren zahllose Sterne hell leuchten. Die alten Galaxien haben den Wasserstoff, den sie für die Bildung neuer Sterne benötigen würden, schon lange aufgebraucht. Deshalb bestehen sie nur noch aus alten Sternen, von denen viele schon verglüht sind.

Auch die Beobachtung, dass es bereits in der Frühzeit des Universums sehr grosse Galaxien gab, stellt die Theorie der «hierarchischen Formation» in Frage. «Die hierarchische Erklärung funktioniert sehr gut für unsere Milchstrasse und für kleinere Galaxien», erklärt Kim-Vy Tran, «die grossen alten Galaxien hingegen haben Charakteristika, die darauf hin-

deuten, dass sie monolithisch entstanden sein könnten, das heisst, sie wurden einmal gebildet und haben sich dann nicht mehr verändert.» Aufgrund ihrer Beobachtungen konnte Kim-Vy Tran nun zeigen, dass auch die alten Galaxien durch Fusionen entstanden sind. Dazu brauchte es auch etwa Glück, wie sie einräumt, denn wenn sich zwei Galaxien vereinigen, gibt es kosmisch betrachtet nur einen sehr kurzen Augenblick, während dem sie sehr nahe beieinander sind, aber noch als einzelne Galaxien erkannt werden können. Kim-Vy Tran hat einen solchen Moment erwischt und daraus die richtigen Schlüsse gezogen.

STERNE AUS KALTEN STRÖMEN

Während Kim-Vy Tran durch ihre Beobachtungen nachweisen konnte, dass auch alte, sogenannte «Redshift»-Galaxien durch Fusionen gewachsen sind, hat Romain Teyssier aufgrund seiner Computersimulationen eine andere bahnbrechende Entdeckung gemacht: die «cold streams», die «Kalten Ströme». Diese müssen den Redshift-Galaxien einen Teil des Wasserstoffs zugeführt haben, den sie für die Bildung von Sternen brauchten. «Bis vor ein paar Jahren glaubten wir, grosse Galaxien entstünden nur durch die Fusion mit anderen Galaxien», erklärt Teyssier. Der Wasserstoff, den es für die Bildung der neuen Sterne braucht, umgibt in diesem Modell die Galaxie. Er kühlt sich ab, fliesst langsam in die Galaxie und ermöglicht so die Bildung von Sternen. Teys-

bisherigen Modells. Die frühen Klumpengalaxien und Teyssiers Cold Streams gehören zusammen: Die Kalten Ströme gaben den Klumpengalaxien die Energie, die sie brauchten, um Sterne zu bilden. Interessant ist, dass die Kalten Ströme bisher empirisch noch nicht nachgewiesen werden konnten. Das Beispiel zeigt auf, wie die Modellierungen von Teyssier und die Beobachtungen von Kim-Vy Tran sich ergänzen. Teyssier: «Während die Astronomen die Klumpengalaxien entdeckten, bevor wir davon eine theoretische Vorstellung hatten, hat die theoretische Astrophysik das Konzept der Kalten Ströme beigesteuert. Diese müssen jetzt noch empirisch nachgewiesen werden.»

Wie wirkt sich der «galaktische Kannibalismus» aus – was passiert, wenn eine Galaxie die andere «frisst» – kommt es zu einem grossen Crash der Sterne? Kim-Vy Tran findet dafür ein anderes Bild: «Die Fusion von zwei Galaxien ist wie ein Tanz unter dem Einfluss der Gravitation.» Die Galaxien gehen ineinander über, die Sterne erhalten einen neuen Platz in der neuen, grösseren Galaxie, ohne dass es zu Kollisionen kommt. Und wenn noch genügend Wasserstoff vorhanden ist, entstehen viele neue Sterne, die bis zu zwanzigmal grösser sein können als unsere Sonne. Sie sorgen dafür, dass die neue Galaxie viel heller leuchtet als ihre Vorgängerinnen. «Die grossen Sonnen sind wie Scheinwerfer, die das Licht der anderen Sterne überstrahlen», erklärt Kim-Vy Tran mit einem Glänzen in den Augen. Doch die Herrlichkeit

Eine der letzten Fusionen im Universum wird jene unserer Milchstrasse mit der Andromeda-Galaxie in rund drei Milliarden Jahren sein.

siers Berechnungen haben diese Vorstellung verändert, wie er erläutert: «Heute glauben wir, dass die Galaxien am Anfang nicht ausschliesslich durch die Fusion von kleinen Galaxien gewachsen sind, sondern auch durch die Kalten Ströme.»

Teyssier geht davon aus, dass etwa die Hälfte der Masse einer Galaxie durch diese Kalten Ströme entstanden sein muss, die den Wasserstoff direkt ins Zentrum der Galaxie führen. Das ist eine fundamentale Veränderung des

ist schnell wieder vorbei, die neuen Sterne haben nur eine Lebensdauer von 10 Millionen Jahren. «Das ist so kurz», sagt Kim-Vy Tran und schnippt mit den Fingern. Wenn die neuen Sonnen verglüht sind, wird die Galaxie wieder dunkler – wie bei einer Party, wenn die Lichter gelöscht werden, nachdem sich die letzten Gäste auf den Heimweg gemacht haben.

Die Lichter gehen nicht nur in den einzelnen Galaxien aus, sondern nach und nach im ganzen Universum. «Das Universum kühlt langsam

KOSMISCHER WIMPERNSCHLAG

aus, indem es sich ausdehnt», erklärt George Lake. Er zeichnet ein düsteres Szenario: Das Universum, das in seinen Anfängen sehr dicht und dynamisch war, fällt in eine Art Totenstarre, weil es sich immer schneller ausdehnt, die einzelnen Teile damit immer schneller auseinanderdriften und deshalb kaum mehr interagieren können. Konkret bedeutet dies, dass es in Zukunft kaum mehr Fusionen von Galaxien geben wird. Eine der letzten wird jene unserer Milchstrasse mit der Andromeda-Galaxie sein, die in zwei Milliarden Jahren beginnen und in rund fünf Milliarden Jahren abgeschlossen sein sollte.

LICHTERLÖSCHEN IM UNIVERSUM

Durch die Fusion wird auch unser Sonnensystem disloziert und erhält einen neuen Platz in einer neuen Riesengalaxie. Uns braucht das allerdings nicht mehr zu kümmern, denn die Erde wird zu diesem Zeitpunkt bereits unbewohnbar sein, weil die Sonne sich ausdehnt und alles verschluckt, was auf unserem Planeten kreucht und fleucht. Eigentlich schade, denn der neue Nachthimmel über der Erde verspricht ein Spektakel zu werden, übersät mit Milliarden von Sternen.

Doch die Zukunft der neuen Riesengalaxie ist genauso düster wie jene des ganzen Universums: Im Laufe der Zeit werden alle Sterne verglühen und die Galaxie wird dunkel. Dann wird alles auseinanderdriften und schliesslich verschwinden. George Lake geht davon aus, dass im Laufe der Zeit nicht nur die sichtbare, die sogenannte baryonische Materie zerfällt, aus der alle Dinge im Universum gemacht sind, die wir heute sehen können, sondern auch die Dunkle Materie. «Vom Universum wird dann nichts mehr übrig bleiben als ein schwarzes Nichts», prophezeit Lake. Und anders als beim Anfang des Universums, über dessen erste sichtbare Zustände sich Forscher wie Romain Teyssier freuen können, wird niemand mehr da sein, um den finalen Untergang zu bezeugen.

KONTAKT Prof. Georg Lake, george@georgelake.org, Prof. Romain Teyssier, teyssier@physik.uzh.ch, Prof. Kim-Vy Tran, vy@physik.uzh.ch

Die Erde und die anderen Planeten unseres Sonnensystems müssen innerhalb sehr kurzer Zeit entstanden sein. Wie das möglich war und was dabei genau vorging, versuchen Joachim Stadel und Aaron C. Boley herauszufinden. Von Ruth Jahn

Das irdische Dasein von Pflanzen und Tieren verwundert den Menschen seit je. Dabei sollte uns nicht bloss erstaunen, dass auf unserem Planeten vor etwa 3,85 Milliarden Jahren erstes Leben entstanden ist, sondern vielmehr, dass es die Erde als Himmelskörper überhaupt gibt. Denn deren Entstehung ist einigen aus Menschensicht äusserst glücklichen Zufällen zu verdanken.

Niemand weiss dies besser als die Astrophysiker, die die Entstehung unseres Sonnensystems ergründen. Joachim Stadel vom Institut für Theoretische Physik der Universität Zürich ist ein solcher Forscher, den die Frage umtreibt, was in den Geburtsstunden unserer Sonne und ihrer Trabanten vorging. «Statt als Planet auf einer relativ stabilen Umlaufbahn um die Sonne zu kreisen, hätte die Erde durch gravitative Störungskräfte anderer Himmelskörper auch längst aus unserem Sonnensystem hinaus katapultiert werden können», sagt Joachim Stadel, «oder sie hätte genauso gut von der Sonne verschluckt werden können.» Statt ein blauer, bewohnter Planet könnte die Erde heute auch ein unwirtlicher Kleinplanet oder ein Gasriese sein.

Das Leben unter der Sonne steht wahrlich unter einem guten Stern. Unser Stern, die Sonne, geht neuesten Hypothesen zufolge auf zwei Supernovae zurück, das explosionsartige finale Aufleuchten und Vergehen von zwei anderen Sternen. Bei der ersten Supernova entstanden Staub und Gas. Dieses Material wurde durch die Schockwellen einer zweiten Supernova komprimiert. So entzündeten sich im Ursprungsnebel Kernprozesse und die junge Sonne begann zu leuchten. Was sie voraussichtlich noch weitere 10 Milliarden Jahre tun wird: «Die Sonne ist ein relativ stabiler Stern. Bevor sie dereinst verglüht und in sich kollabiert, wird sie uns noch lange und verlässlich

leuchten und wärmen», weiss Joachim Stadel. Im Vergleich zur Sonne sind Sterne, die mit grosser Masse geboren wurden, weit weniger stabil: «Ein Stern, der 10 Mal so massiv ist wie unsere Sonne, lebt nur gerade 30 Millionen Jahre», rechnet der Astrophysiker vor, «weil er seinen Wasserstoff in der Kernfusion viel zu schnell verbrennt.»

Auch unser «übergrosser» Mond ist gemäss Isotopenmessungen von Gesteinsproben durch den letzten grossen Crash in unserem Planetensystem entstanden, bei dem die Proto-Erde und ein anderes Objekt zusammengestossen sind. Die Grösse des Mondes sei ein Glücksfall, betont der Astrophysiker: «Es gibt einen schwerwiegenden Chaos-Effekt, der durch unseren Mond reguliert wird: Wenn die Erde nicht von einem so grossen Trabanten umkreist würde, dann würde der Winkel der Drehachse sporadisch – genau genommen innerhalb von ein paar hunderttausend Jahren – um über 90 Grad kippen.» Für das Leben auf der Erde wäre eine solche Achterbahnfahrt ziemlich sicher tödlich: «Höhere Lebewesen, die sich bei solch extrem schwankenden Bedingungen evolutiv adaptieren können, sind kaum vorstellbar», so Joachim Stadel.

DER MOND ALS CHAOS-STABILISATOR

Dass die Erde damals, als sie noch eine Proto-Erde war, mit einem marsgrossen Objekt zusammengestossen ist, hat sich also für das Leben auf der Erde als durchaus zuträglich erwiesen. Unter anderem, weil dabei der Mond entstand, unser Chaos-Stabilisator. Auf den Zusammenprall vor rund 4,5 Milliarden Jahren, das heisst etwa 50 Millionen Jahre nach der Entstehung unseres Sonnensystems, sind zudem auch die Erdrotation und somit unser Tag-Nacht-Rhythmus zurückzuführen. Der Crash hätte aber genauso gut ins Auge gehen können: Wäre die

Wucht des Zusammenpralls stärker gewesen, hätte die Erde nicht mit Teilen des Objekts «verkleben» und dadurch wachsen können, sondern sie wäre womöglich in kleine Streusel zerborsten, die wegen ihres leichteren Gewichts entweder in die Sonne gestürzt oder zum Beispiel in den Kuipergürtel jenseits von Pluto geschleudert worden wären.

Ein Glück für uns Erdenbewohner ist auch, dass unser Planet zur Zeit der Mondentstehung mit Asteroiden oder zu einem späteren Zeitpunkt gemäss einer anderen Theorie mit Eiskometen bombardiert wurde, die Wasser auf die Erde brachten. Vieles von dem, was unser Planetensystem zu dem gemacht hat, was es ist und wie es mit ihm weitergeht, steht für die Wissenschaft allerdings noch in den Sternen: «Wir verstehen etwa die Vorgänge rund um die junge Sonne noch nicht so gut», sagt Joachim Stadel.

KANTS SPEKULATION

Der Auftakt indes ist unbestritten: Schon der Philosoph Immanuel Kant tippte 1755 auf eine scheibenförmige Ansammlung von Gas und Staub, die die neugeborene Sonne umkreiste. Modernste Teleskoptechnik, etwa das Weltraumteleskop Hubble, bestätigt nun Kants Vorstellung: Astronomen entdecken unterdessen immer wieder sogenannte protoplanetare Scheiben rund um ferne, junge Sterne. Die erste solche Scheibe wurde 1993 im Orion-Nebel ausgemacht. Andere berühmte Beispiele sind die 1996 entdeckte Staubwolke um den Stern HH-30 oder der 2005 aufgespürte Staubring um den sehr hellen Stern Formalhaut. Für den Nachweis machen die Astronomen das Leuchten des Staubs in der Scheibe, die den Stern umgibt, durch Infrarotmessung sichtbar.

Protoplanetare Scheiben stellen die Vorstufe von Planeten dar. Diejenige unserer Sonne enthielt wohl nur einen Bruchteil der Masse der Sonne, versammelte aber mehrere Jupitermassen Gas und Tonnen von Staubeilchen. Bei der Entstehung von Planeten sei der Faktor Zeit wahrscheinlich kritischer als das vorhan-

dene Material, betont Joachim Stadel. Will heissen: In der Geburtsphase der Planeten unseres Sonnensystems war Eile angesagt. Aus Beobachtungen in anderen Sonnensystemen schliesst man nämlich, dass sich protoplanetare Scheiben innerhalb weniger Millionen Jahre wieder auflösen. «Die Erde und ihre Planetengeschwister hatten wohl nur gerade 10 Millionen Jahre Zeit, sich zu formen – nach astronomischen Massstäben ein Wimpernschlag», erklärt Stadel.

Steinige Planeten wie die Erde mussten sich sputen, um genügend rasch zu wachsen: Staub verklebt mit der Zeit zu Felsbrocken, diese kollidieren sanft untereinander und verfestigen sich weiter, zunächst zu kilometergrossen sogenannten «Planetesimalen», den Vorläufern von Planeten. Diese verdichten sich unter dem Einfluss der Gravitation weiter zu grösseren sogenannten «Embryonen» – Planetenkeimen. Gleichzeitig wird die junge protoplanetare Scheibe aber von kleinen Teilchen geräumt: Alles, was ungefähr einen Meter Durchmesser hat, verliert aufgrund von Bremseffekten durch das umgebende Gas an Geschwindigkeit, wird deshalb näher zur Sonne gebracht und stürzt schliesslich in die Sonne. «Nur was zu dem Zeitpunkt genügend gross war, konnte sich halten», beschreibt Joachim Stadel den Vorgang.

«Statt um die Sonne zu kreisen, hätte die Erde auch aus dem Sonnensystem hinauskatapultiert werden können.» Joachim Stadel, Astrophysiker

Auch den eben erst entstandenen Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun blies bald ein rauer Wind entgegen: Durch die Kernfusionsprozesse im jungen Stern bildeten sich starke Sternwinde – in diesem Fall Sonnenwinde, die alles Gas in der Scheibe ins Weltall wegpusteten. So entzogen sie den Gasplaneten, die gerade entstanden, quasi das «Futter».

Wie sich die Planeten und die anderen Himmelskörper unseres Sonnensystems in diesem

knapp bemessenen Zeitfenster trotzdem formen konnten, ist eines der Rätsel, an dem sich die weltweite Forschergemeinde der Astrophysiker derzeit die Zähne ausbeisst. Ein weiteres Rätsel, das die Forscher beschäftigt: Wie sammelt sich Gas auf den Planeten an? Also etwa Wasserstoff und Helium oder die Spuren von Methan und Ammoniak, aus denen planetare Gasriesen wie Jupiter oder Saturn, aber auch die kleineren Gasplaneten Uranus und Neptun grösstenteils bestehen?

WIE GASRIESEN ENTSTEHEN

Die Astronomengilde wälzt zur Zeit zwei Hypothesen, die die Entstehung von Gasplaneten, aber auch jene der Planeten mit fester Oberfläche wie Merkur, Venus, Erde und Mars erklären: Die Kern-Akkretions-Hypothese geht davon aus, dass sich die Staub- und Gaspartikel in der protoplanetaren Scheibe nach und nach zu grösseren Objekten verbinden. Von Felsbrocken zu Planetesimalen – mit einem Durchmesser von einigen Kilometern – zu Planetenembryonen. Embryonen, die sich zu Gasplaneten entwickeln, binden durch Gravitationskräfte das umgebende Gas zum Teil auch in flüssiger oder fester Form an sich. Das Problem des Kern-Akkretions-Modells: Diese Prozesse können nur mit einem gewissen Abstand von

der Sonne ablaufen. Denn zu nahe bei der Sonne ist es zu heiss; deshalb werden Flüssigkeiten und Gase nicht fest. Zu weit entfernt von der Sonne wiederum laufen die Kern-Akkretionsprozesse viel zu langsam ab: Die Entstehung des vor kurzem entdeckten Gasplaneten Formalhaut b, der etwa 100 Mal so weit entfernt von seinem Stern ist wie die Erde von der Sonne, würde laut Computerrechnungen durch Akkretion bis zu mehreren hundert Millionen Jahre

dauern. Doch die bereits nach zehn Millionen Jahren einsetzenden Sonnenwinde drohen dem Prozess ein viel früheres Ende zu bereiten. Auch die zweite Hypothese ist nicht ganz ohne Widersprüche. Sie geht davon aus, dass kleinste Gravitationsinstabilitäten zu grösseren Störungen anwachsen und sich dadurch Gas an einigen Punkten der Scheibe ansammelt. Dieser Vorgang würde nur einige tausend Jahre dauern. Nebulös ist aber, wie sich die Anhäufungen von Gas zur Dichte eines Gasriesen komprimieren, ohne dass ein solider Kern vor-

die um die Sonne kreisen, die sich allein durch die verschiedenen im Weltall herrschenden Kräfte teilweise zu Planeten geformt haben.» Die berechnete Verteilung von Himmelskörpern in der Grafik macht staunen. Die Verteilung gleicht unserem Sonnensystem viel stärker als vermutet: Es sind sieben grössere Planeten zu sehen sowie kleinere Bruchstücke, die dem Asteroidengürtel unseres Sonnensystems entsprechen. Doch Joachim Stadel ist noch nicht zufrieden: Der «Mars» sei etwas arg gross und ausserdem würde der Forscher gerne mit

Seit einigen Jahren geben unter Theoretikern auch die Bahnen der beiden grossen Aussenplaneten Jupiter und Saturn zu reden und zu rechnen: Gemäss dem Nizza-Modell von 2005 der Forschergruppe um Alessandro Morbidelli vom Observatoire de la Côte d'Azur in Nizza könnten Jupiter und Saturn nämlich ihre Position getauscht haben. «Diese Rochade hätte sicher alle kleineren Objekte und Planeten regelrecht aufgewirbelt!», illustriert Aaron C. Boley, der sich intensiv mit dem Jupiter beschäftigt. Auch bei Uranus und Neptun könnte ein solcher Orbit-Tausch stattgefunden haben. Und somit hätte der gute alte Schülermerksatz, um sich die Reihenfolge der Planeten Merkur-Venus-Erde-Mars-Jupiter-Saturn-Uranus-Neptun-Pluto einzuprägen, vor diesen Rochaden vor 4,5 Milliarden Jahren nicht «Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unsere neun Planeten» heissen sollen. – Die ja eigentlich auch nur acht sind, seit Pluto nicht mehr als eigener Planet gilt, sondern viel eher: «Mein Vater erklärt uns sonntags jeweils neuen Unsinn», wie ein deutscher Astronom einmal spöttelte.

«Die Erde hatte wohl nur 10 Millionen Jahre Zeit, sich zu formen – ein astronomischer Wimpernschlag.» Joachim Stadel, Astrophysiker

handen ist. «Zudem sagen Computermodelle bei so entstandenen Planeten elliptische Umlaufbahnen voraus, heutige Gasriesen aber haben eher konzentrische Umlaufbahnen», so Joachim Stadel. In anderen Sonnensystemen wurden solche anwachsenden Instabilitäten immerhin schon beobachtet: Gas häuft sich dort zuweilen in Spiralen an.

DIE GEBURT DES SONNENSYSTEMS SIMULIEREN

Um die Vorgänge bei der Entstehung von Planetensystemen zu untersuchen, arbeiten theoretische Astrophysiker wie Joachim Stadel oder sein Zürcher Institutskollege Aaron C. Boley mit Computermodellen. Die Forscher variieren hierzu verschiedenste Anfangsbedingungen in den Geburtsstunden des Sonnensystems, um diese dann später auf die plausibelsten einzuschränken: Etwa die Verteilung und die Masse der in der protoplanetaren Scheibe vorhandenen Teilchen oder den Zeitpunkt, zu dem das Gas weggeblasen wird. Modelle wie die Kern-Akkretions- oder die Gravitationsinstabilitäten-Hypothese fliessen in die Rechnungen ein.

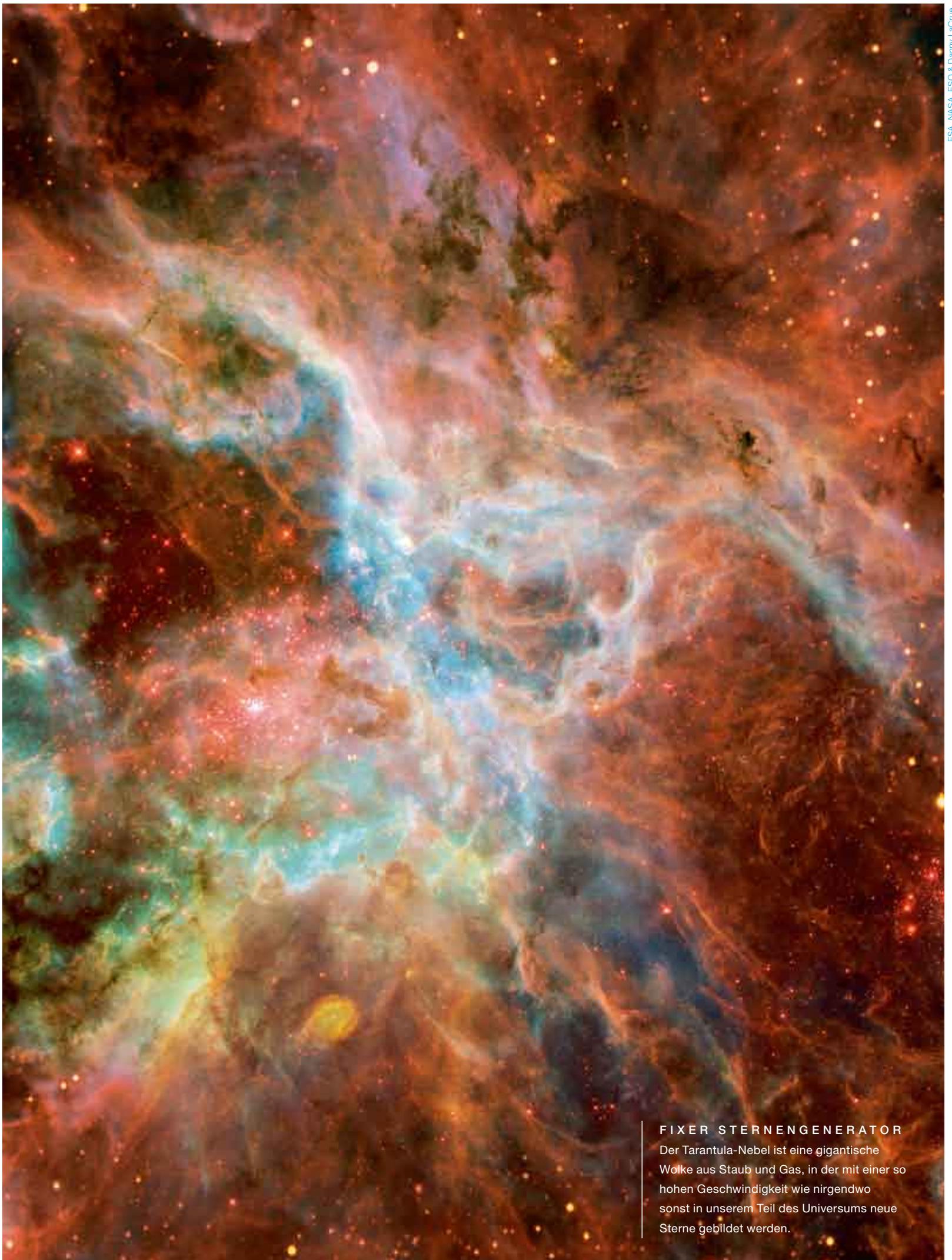
Joachim Stadel zeigt das Ergebnis einer Simulation am Computerbildschirm: Eine Grafik offenbart die Verteilung von mehreren Planeten und anderen terrestrischen Objekten wie etwa Asteroiden 150 Millionen Jahre nach der Geburt der Sonne. «Ausgangspunkt für diese Simulation waren 2000 Einzelbruchstückchen,

einer grösseren Anzahl Bruchstückchen rechnen, um eine noch genauere Simulation vom Computer errechnen zu lassen. In einer nächsten Simulation will der Forscher zudem auch chaotischen Effekten noch mehr Beachtung schenken.

ROCHADE IM ALL

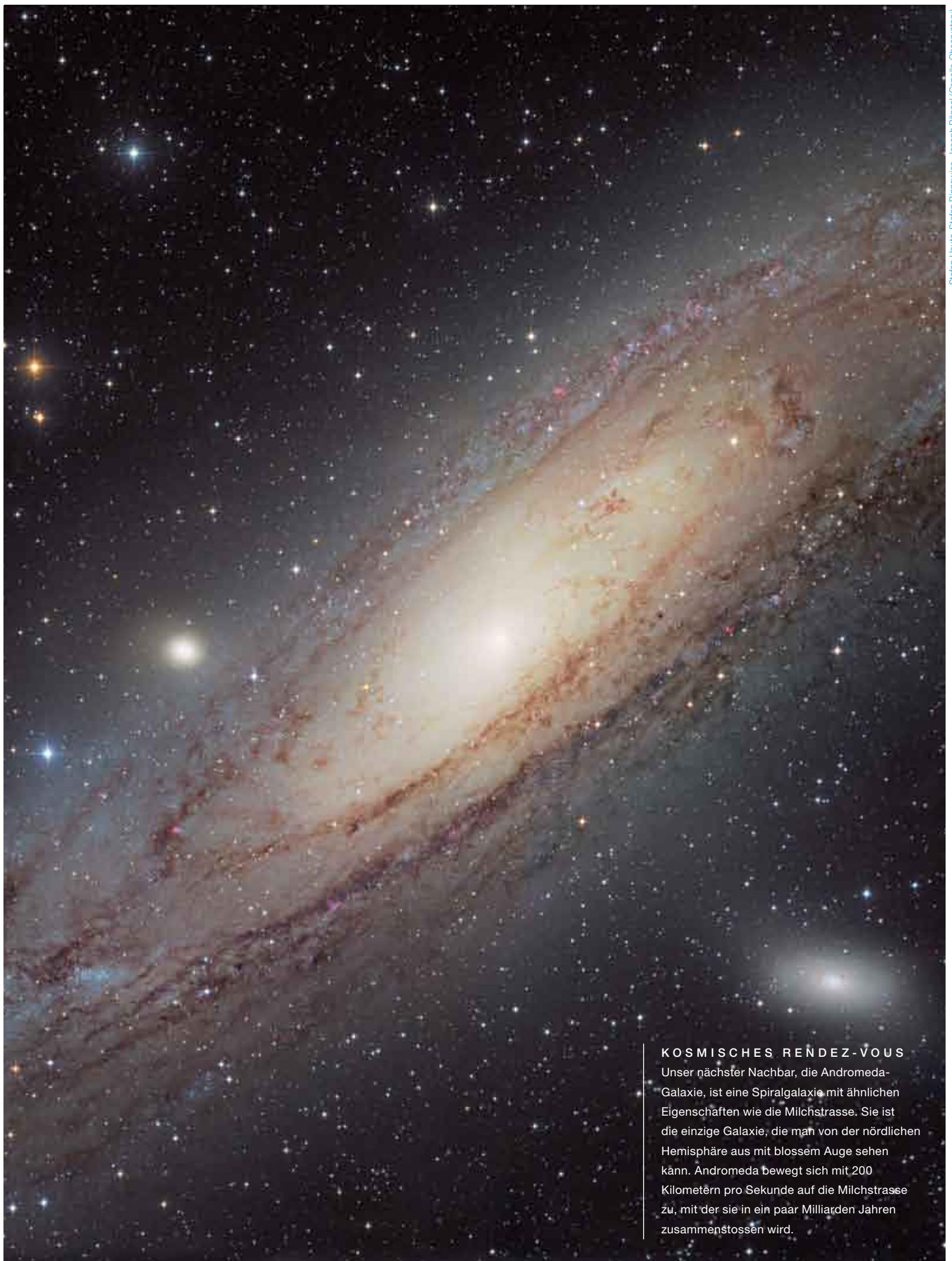
Bei der Entstehung von Planetensystemen spielt nämlich auch das Chaos eine Rolle. Denn die Himmelskörper unterliegen gegenseitigen Wechselwirkungen. Und diese können sich aufschaukeln. Dass sich zum Beispiel die Exzentrizitäten von Planeten – also die Abweichung von der kreisförmigen Umlaufbahn – mit der Zeit verändern, dass also die Umlaufbahnen zum Beispiel immer weniger elliptisch, dafür kreisförmig werden, interessiert Joachim Stadel: «Die Entwicklung der Exzentrizität und der Bahnen im Sonnensystem verläuft chaotisch, nicht unbedingt instabil.» Und so könnte unser Sonnensystem ursprünglich durchaus ein paar Planeten mehr besessen haben, die entweder durch Kollisionen verschmolzen oder aus dem System herauskatapultiert wurden. Es sei eben äusserst schwierig, für einen Zeitraum von 50 Millionen Jahren vorauszusagen, wo sich ein bestimmter Planet exakt befinde, so Stadel: «Es ist wie beim Wetter: Wenn man nicht bedeutend genauer messen kann, ist es auch nicht möglich, weiter in die Zukunft vorauszusagen, wie das Wetter wird.»

KONTAKT Dr. Joachim Stadel, stadel@physik.uzh.ch, Dr. Aaron C. Boley, boley@physik.uzh.ch



FIXER STERNENGEBÄUER

Der Tarantula-Nebel ist eine gigantische Wolke aus Staub und Gas, in der mit einer so hohen Geschwindigkeit wie nirgendwo sonst in unserem Teil des Universums neue Sterne gebildet werden.



KOSMISCHES RENDEZ-VOUS

Unser nächster Nachbar, die Andromeda-Galaxie, ist eine Spiralgalaxie mit ähnlichen Eigenschaften wie die Milchstrasse. Sie ist die einzige Galaxie, die man von der nördlichen Hemisphäre aus mit blosssem Auge sehen kann. Andromeda bewegt sich mit 200 Kilometern pro Sekunde auf die Milchstrasse zu, mit der sie in ein paar Milliarden Jahren zusammenstossen wird.

UNSICHTBARE SCHWÄCHLINGE

Nur ein Bruchteil der Materie im Universum ist sichtbar. Ein viel grösserer Teil besteht vermutlich aus Dunkler Materie. Darüber, wie diese beschaffen sein könnte, zerbrechen sich Astrophysiker noch heute den Kopf. Von Roger Nickl

Ein gigantisches Heer von Schwächlingen könnte massgeblich daran beteiligt sein, dass das Universum so beschaffen ist, wie wir es heute beobachten. WIMPs (englisch für «Schwächlinge») nennen Astrophysiker nämlich Teilchen, aus denen die bis heute rätselhafte Dunkle Materie vermutlich besteht – die Abkürzung steht für «Weakly Interacting Massive Particle». Denn die sichtbare Materie – die Atome und Moleküle, aus denen auch wir geschaffen sind – macht nur einen kleinen Teil der gesamten im ganzen Universum vorhandenen Materie aus. Heute schätzen Wissenschaftler deren Anteil auf rund 4 Prozent. Der Rest, vermuten sie, besteht zu zirka 22 Prozent aus dunkler, unsichtbarer Materie und etwa zu 74 Prozent aus einer nach wie vor sagenumwobenen Dunklen Energie. Noch sind dies aber alles Spekulationen. Weder konnte die Dunkle Materie bislang direkt nachgewiesen werden, noch gibt es konkrete Hinweise, worum es sich bei der Dunklen Energie handeln könnte. Doch verschiedene Beobachtungen von Astrophysikern und Astronomen lassen das Netz der Indizien immer dichter werden, das für deren Existenz spricht.

Als «Vater» der Dunklen Materie gilt der geniale Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky: In einer bahnbrechenden Arbeit, die er bereits 1933 in der Zeitschrift *Helvetica Physica Acta* publizierte, legte er seine Beobachtungen des Coma-Galaxienhaufens dar. Zwicky schätzte aus den Bewegungen der über 1000 Galaxien des Haufens dessen Gesamtmasse. Und er leitete daraus einen erstaunlichen Schluss ab: Die Galaxien bewegten sich im Mittel zu schnell, sodass die Masse der sichtbaren Materie – die Physiker sprechen auch von baryonischer Materie – allein nicht ausreichte, um den Haufen mittels Gravitation zusammenzuhalten. Es musste also noch mehr – unsichtbare – Masse vorhanden sein, die verhinderte, dass die Gala-

xien auseinanderdrifteten. Zwicky nannte diese unsichtbare Masse Dunkle Materie.* Der Schweizer Astrophysiker war damals, in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, noch ein einsamer Rufer in der Wüste. Doch seither tragen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit Belege zusammen, die Zwickys Hypothese stützen. Ohne Dunkle Materie, dies zeigen auch kosmologische Computersimulationen der Astrophysiker des Instituts für Theoretische Physik der Universität Zürich, hätten sich die Strukturen im Universum nicht so entwickelt, wie wir sie heute beobachten können.

KUGELN AUS DUNKLER MATERIE

Heute haben Wissenschaftler immer klarere Vorstellungen davon, wie sich nach dem Urknall vor 13,7 Milliarden Jahren erste kosmische Strukturen gebildet haben. Der theoretische Astrophysiker Ben Moore erforscht solche Prozesse der Strukturbildung. Auf einem selbstgebaute Supercomputer, der «zBox», modelliert und testet er die neuesten astrophysikalischen Hypothesen und Erkenntnisse. Die so entste-

sich verdichten. Ganz im Gegensatz zur Dunklen Materie, die nicht mit den Photonen wechselwirkte und die sich deshalb unter dem Einfluss der Gravitation zu formieren begann. Regionen, die eine hohe Dichte an Dunkler Materie aufwiesen, wurden dichter, lichtere Gebiete wurden lichter. So bildeten sich allmählich kugelförmigere Gebilde, sogenannte Halos aus Dunkler Materie. Nach 400 000 Jahren hatte sich das Universum dann so weit abgekühlt, dass sich die Photonen von der baryonischen Materie entkoppeln konnten. Das Weltall wurde allmählich durchsichtig und nun konnte sich auch der für uns sichtbare Teil der Materie verklumpen. Sie tat dies in den Gravitationsfeldern, die die Dunkle Materie bereits aufgebaut hatte. «Von der Gravitation angezogen, fiel die baryonische Materie genau ins Zentrum der Dunkle-Materie-Halos, wo sie sich sehr stark verdichtete», erklärt Ben Moore, «dadurch wurde letztlich die Bildung von Sternen und der ersten Galaxien möglich.» Wie leuchtende Inseln sind die Galaxien, so gesehen, aus einem riesigen Meer von Dunkler Materie entstanden.

Trotz all der schon weit entwickelten Modelle über die Entstehung des Universums bleibt das Wesen der Dunklen Materie für die Wissen-

«Es wird uns früher oder später gelingen, Dunkle Materie direkt nachweisen zu können.» Laura Baudis, Experimentalphysikerin

henden Simulationen zeigen ein immer differenzierteres Bild der Entstehung des Universums und auch der Rolle, die die Dunkle Materie damals und heute im Kosmos spielt.

Nach dem Urknall war das Universum zunächst undurchsichtig und unvorstellbar heiss. In dieser Phase, die rund 400 000 Jahre lang dauerte, wurde das Licht – genauer gesagt die Photonen – immer wieder von der baryonischen Materie absorbiert. In diesem Gleichgewichtszustand konnte sie keine Klumpen bilden und

schaft auch heute noch ein Rätsel. Astrophysikerinnen und Astrophysiker gehen davon aus, dass sie aus neuen Teilchen – eben den WIMPs – besteht, die eine relativ grosse Masse haben (100 bis 1000 Mal die Masse eine Protons), elektrisch neutral sind und nur sehr schwach mit dem Rest der Materie wechselwirken. Weil sie so schwach mit der herkömmlichen Materie interagieren, ist es äusserst schwierig, solche Teilchen direkt nachzuweisen und sie so aus dem Reich der Hypothesen in das der Realität

zu befördern. Jedenfalls konnte bislang noch kein WIMP dingfest gemacht werden. Dies könnte sich aber schon bald ändern. Astroteilchenphysikerin und Dunkle-Materie-Forscherin Laura Baudis vom Physik-Institut der Universität Zürich zeigt sich jedenfalls zuversichtlich: «Ich denke, es wird uns früher oder später gelingen, Dunkle Materie nachzuweisen.» Revolutionär wäre dagegen, wenn sich die Annahmen der Forscher als falsch erweisen würden und etwas ganz anderes am Werk wäre.

Bei der weltweiten Jagd auf die Dunkle-Materie-Teilchen sind Laura Baudis und ihr Team ganz vorne mit dabei. Die Forscherin versucht, die WIMPs aus dem Dunkle-Materie-Halo, in den die Milchstrasse eingebettet ist, mit einem eigens dafür entwickelten, hochsensiblen Detektor nachzuweisen. Mittlerweile steht das empfindliche Messgerät, dessen Kern aus 100 Kilogramm flüssigem Xenon besteht, in den Tiefen des Gran-Sasso-Labors in den italienischen Abruzzen – darüber ruhen 1400 Meter massiver Fels. Hier unten, abgeschirmt von der störenden kosmischen Strahlung an der Erdoberfläche, hofft die Physikerin, WIMPs direkt nachweisen zu können. Denn obwohl diese Teilchen nur schwach mit der sichtbaren Materie wechselwirken, kommt es in sehr seltenen Fällen dazu, dass sie mit einem Atomkern kollidieren. Darauf spekuliert Laura Baudis: Sollte ein WIMP in ihrem Detektor tatsächlich auf ein vermutlich etwa gleich schweres Xenon-Atom stossen, würden dadurch Elektronen und etwas UV-Licht abgestrahlt. Diese wiederum lassen sich mit hochempfindlichen Sensoren des Detektors messen.

Momentan ist die Astrophysikerin im Gran-Sasso-Labor mit den Vorbereitungen zur eigentlichen Messphase beschäftigt. Der Detektor und das darin enthaltene Xenon etwa müssen ultrarein sein, denn bereits kleinste Verunreinigungen würden die Signale, die bei einem Zusammenstoss eines WIMPs mit einem Xenon-Atom entstehen, absorbieren und die Messung so verunmöglichen. Zudem wird das Messgerät auf Neutronen geeicht. Diese wechselwirken ähnlich wie die vermuteten Dunkle-Materie-Teilchen durch Kernrückstoss. Im Gegensatz zu den WIMPs sind Neutronen jedoch stark wechselwirkend, das heisst, sie kollidieren nicht

nur einmal, sondern mehrfach mit den Atomen im Detektor. Ist das Messgerät darauf eingestellt, lassen sich Neutronen und Dunkle-Materie-Teilchen so unterscheiden.

Erst wenn alle diese Vorarbeiten abgeschlossen sind, kann Laura Baudis mit der Datenaufnahme beginnen. Sie hofft, dass sie dann innerhalb eines Jahres wenigstens zehn WIMPs nachweisen kann. Damit wäre bereits viel erreicht, weil so die Existenz der Dunklen Materie erstmals bestätigt werden könnte. Baudis denkt aber schon einen Schritt weiter. «Die aktuellen Experimente sind Prototypen für viel grössere Versuchsanordnungen in der

genauer einzustellen und damit die Chance zu erhöhen, tatsächlich eines WIMPs habhaft zu werden.

Ein für den Nachweis der Dunklen Materie wichtiges Forschungsergebnis hat kürzlich Justin Read von der Universität Zürich präsentiert. Er und sein Team haben mittels Computersimulation festgestellt, dass die Milchstrasse möglicherweise nicht nur, wie bislang angenommen, in ein riesiges, kugelförmiges Halo aus Dunkler Materie eingebettet, sondern zusätzlich von einer weniger dichten Scheibe aus Dunkler Materie umgeben ist, die sich wie ein Mantel um die Galaxie legt. Sollte diese

Wie leuchtende Inseln sind die Galaxien aus einem riesigen Meer von Dunkler Materie entstanden.

Zukunft», sagt sie. Denn um die Eigenschaften der Dunkle-Materie-Teilchen zu erforschen, müssen die Astrophysiker Hunderte, wenn nicht Tausende Kollisionsereignisse messen können. Dafür braucht es viel grössere Instrumente, deren Detektionsmedium aus mehreren Tonnen flüssigen Gases besteht. Um ein solches Projekt künftig auf die Beine zu stellen, hat sich Baudis nun mit verschiedenen europäischen Forschergruppen zusammengesetzt. Ihr Ziel ist es, bis 2013 ein solches Multitonnen-Experiment aufzubauen.

NADEL IM KOSMISCHEN HEUHAUFEN

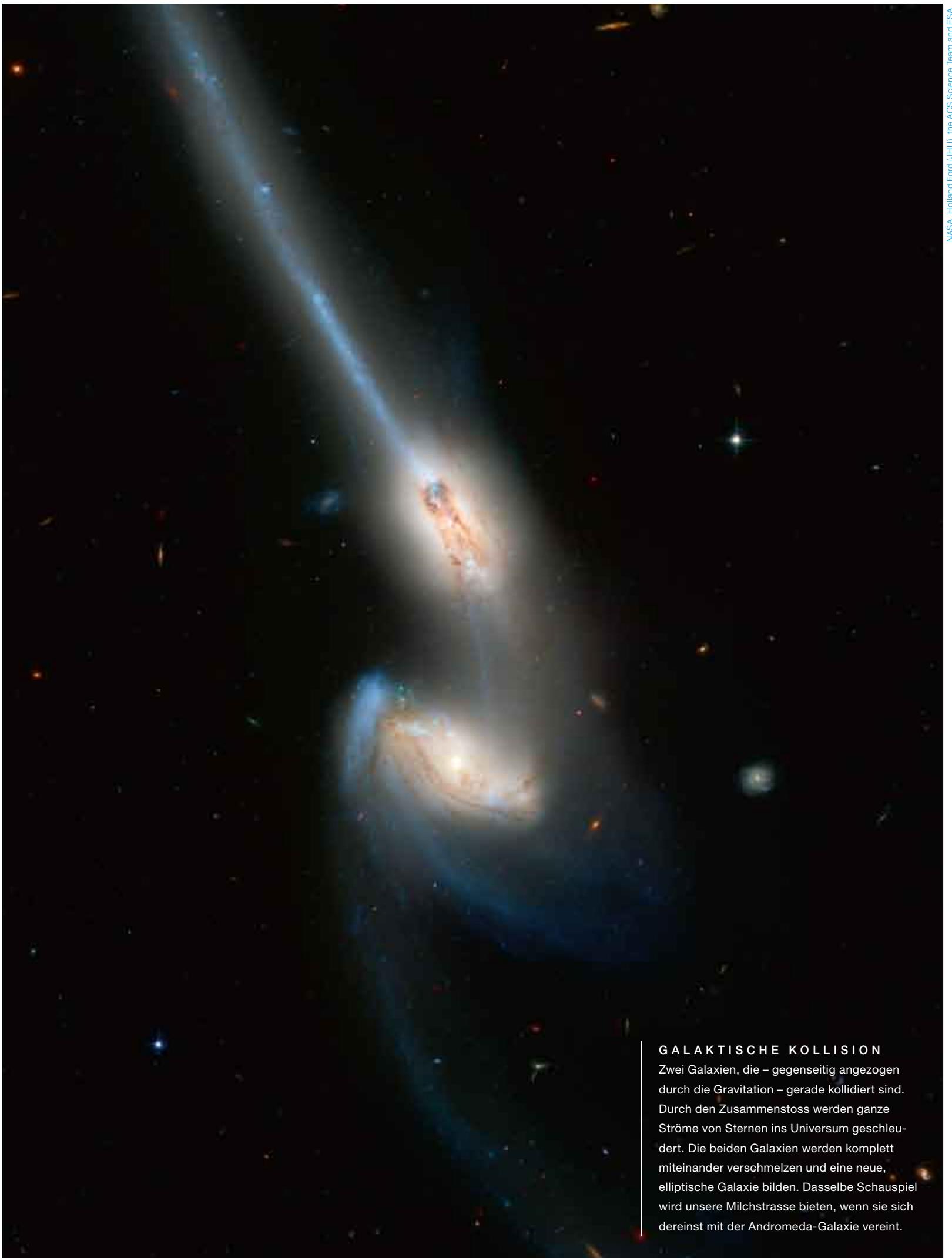
Der Versuch, Dunkle Materie aufzuspüren, gleicht der Suche nach der Nadel im kosmischen Heuhaufen. Um dabei erfolgreich zu sein, müssen Forscherinnen und Forscher aus ganz verschiedenen Gebieten der Astrophysik zusammenarbeiten. So können die Zürcher Physikertheoretiker Ben Moore und George Lake mit ihren Computersimulationen etwa modellieren, wie die Dunkle Materie im Kosmos verteilt ist. Oder sie können mit ihrem Hochleistungsrechner verschiedene hypothetische Teilchen testen, die als WIMP-Kandidaten in Frage kommen, und so mögliche Eigenschaften vorher sagen. Solche Prognosen ermöglichen es Experimentalphysikerinnen wie Laura Baudis wiederum, den Fokus ihres Detektors immer punkt-

Annahme stimmen, hätte das weitreichende Konsequenzen für das Aufspüren der WIMPs.

Denn Erde und Sonne drehen sich mit einer Geschwindigkeit von 220 Kilometern pro Sekunde um das Zentrum der Milchstrasse. Weil das Halo aus Dunkler Materie dagegen stillsteht, ist unser Planet im Prinzip einem ständigen Wind aus schnellen Dunkle-Materie-Teilchen ausgesetzt, der diesen durchdringt. Die von den Forschern der Universität Zürich vermutete Scheibe aus Dunkler Materie dreht sich dagegen mit der Galaxie mit, weshalb diese Teilchen von der Erde aus betrachtet wesentlich langsamer sind und damit einfacher im Detektor nachgewiesen werden können. Sollte sich dieses Ergebnis bestätigen, könnte es also durchaus sein, dass schon bald einer der unsichtbaren «Schwächlinge» aufgespürt werden kann. Damit würde die Astrophysik der Lösung eines der grossen Rätsel des Universums einen Schritt näher kommen.

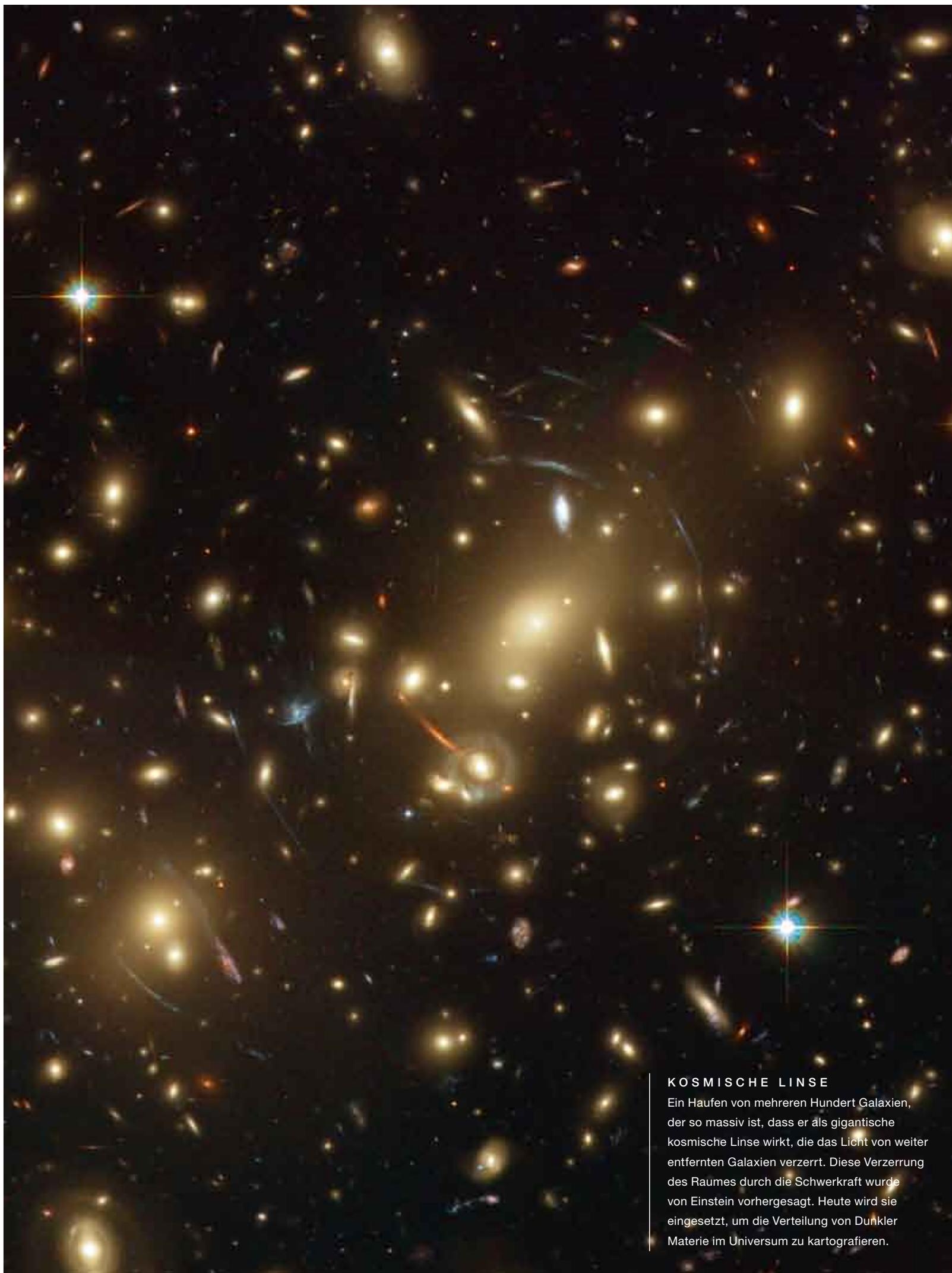
KONTAKT Prof. Laura Baudis, laura.baudis@physik.uzh.ch; Prof. Ben Moore, moore@physik.uzh.ch; Dr. Justin Read, justin@physik.uzh.ch

*Literatur: Alfred Stöckli, Roland Müller: *Fritz Zwicky, Astrophysiker. Ein Genie mit Ecken und Kanten*, Verlag Neue Zürcher Zeitung 2008



GALAKTISCHE KOLLISION

Zwei Galaxien, die – gegenseitig angezogen durch die Gravitation – gerade kollidiert sind. Durch den Zusammenstoß werden ganze Ströme von Sternen ins Universum geschleudert. Die beiden Galaxien werden komplett miteinander verschmelzen und eine neue, elliptische Galaxie bilden. Dasselbe Schauspiel wird unsere Milchstraße bieten, wenn sie sich dereinst mit der Andromeda-Galaxie vereint.



KOSMISCHE LINSE

Ein Haufen von mehreren Hundert Galaxien, der so massiv ist, dass er als gigantische kosmische Linse wirkt, die das Licht von weiter entfernten Galaxien verzerrt. Diese Verzerrung des Raumes durch die Schwerkraft wurde von Einstein vorhergesagt. Heute wird sie eingesetzt, um die Verteilung von Dunkler Materie im Universum zu kartografieren.

INTERGALAKTISCHE SUPERHEFE

Die Dunkle Energie zwingt das Universum zu immer rascherer Expansion. Seit ihrer Entdeckung vor zwölf Jahren ringen Astrophysiker um eine Antwort, was diese rätselhafte Dunkle Energie sein könnte. Von Thomas Müller

«Tief in unseren Herzen wissen wir doch, dass das nicht stimmen kann», seufzte Robert Kirshner im Dezember 1997. Der weitherum respektierte Astronom an der Harvard-Universität sprach von den damals heiss gehandelten Gerüchten, dass sich die Expansion des Universums beschleunigte. Jahrzehntlang hatten theoretische und beobachtende Astronomen diskutiert, ob das Universum dereinst wieder in sich zusammenfallen würde oder ob die «Explosionsenergie» des Urknalls ausreichen würde, die Galaxien auf alle Zeiten weiter auseinanderzutreiben. Doch nun behaupteten zwei voneinander unabhängige Forschungs-Konsortien um Saul Perlmutter (Universität von Kalifornien, Berkeley) und den damaligen Harvard-Astronomen Brian P. Schmidt, das Universum gebe Gas, anstatt auf die Bremse zu gehen oder ewig weiterzuwachsen.

SIEGREICHER GEGENSPIELER DER GRAVITATION

Gemessen hatten die beiden Konsortien die Beschleunigung anhand eines bestimmten Typs von Supernovae (SN1a), von denen man annimmt, dass sie immer mit der gleichen Energie explodieren und deshalb auch immer gleich hell aufleuchten. Astronomen sprechen deshalb von «Standardkerzen», mit denen sich Distanzen im Universum vermessen lassen, ähnlich wie sich die Entfernung einer Strassenlampe bestimmen lässt, wenn ihre Leuchtkraft bekannt ist. Kombiniert mit der «Fluchtgeschwindigkeit» einer Galaxie, die sich aus der Verschiebung des Lichtspektrums in den roten Bereich ergibt (Rotverschiebung), lässt sich die Hubble-Konstante bestimmen, die ein Mass für die Expansionsgeschwindigkeit des Universums darstellt. Verblüfft hatten die beiden Konsortien festgestellt, dass die fernsten noch messbaren Supernovae weiter weg sind als erwartet. Das heisst, die Expansion des Universums musste

eine Beschleunigung erfahren haben, von der bislang niemand etwas wusste.

Auch Philippe Jetzer und Uros Seljak, beide auf Kosmologie spezialisierte Professoren am Institut für Theoretische Physik, waren ob der Neuigkeiten überrascht und blieben eine Weile lang skeptisch. Die Resultate wurden jedoch durch eine komplett andere Messmethode ergänzt. Messungen des Echos des Urknalls, der sogenannten kosmischen Hintergrundstrahlung, hatten im Lauf der 1990er-Jahre ergeben, dass wir in einem «flachen» Universum leben, das der (euklidischen) Geometrie unserer Alltagswelt gehorcht. Das bedeutet, dass Licht auf «geradem» Weg zu uns gelangt und das Universum nicht gekrümmt ist.

Diese Feststellung zieht eine irritierende Konsequenz nach sich. Denn der bei weitem grösste Anteil der gesamten im Universum vorhande-

So kurz, so schleierhaft, denn die Natur der Dunklen Energie ist damit nicht erklärt. Auch Seljak und Jetzer ringen um Worte, sollen sie beschreiben, wie Dunkle Energie wirkt. Jetzer zieht einen Vergleich mit dem Verhalten von unterkühltem Wasser heran. Das ist Wasser, das ganz langsam unter den Gefrierpunkt von 0 Grad Celsius abgekühlt wird, sodass es flüssig bleibt. Dann genügt eine winzige Störung, ein Hauch oder ein leichtes Schütteln, und das Wasser gefriert schlagartig und setzt dabei Energie frei. So ähnlich könnte auch der Urknall abgelaufen sein. Das Universum befand sich in einer Art «überspanntem» Energiezustand, bis durch eine winzige (quantenphysikalische) Fluktuation der Knall ausgelöst wurde. Dabei wurde Dunkle Energie frei, die das Universum auseinandertreibt. Auch heute noch.

In den Anfängen des Universums war der Anteil der Dunklen Energie an der Gesamtenergie kleiner als heute; dunkle und helle Materie vermochten deshalb die Expansion zu bremsen. Vor etwa fünf Milliarden Jahren jedoch

Die Dunkle Energie stellt 74 Prozent der Gesamtenergie im Universum – sie durchdringt den Raum gleichförmig und bläht ihn unablässig auf.

nen Energie kann nicht in der hellen, sogenannte baryonischen Materie stecken, aus der wir, die Sterne und das intergalaktische Gas gemacht sind. Angesichts der beobachteten beschleunigten Expansion steuern nur etwa vier Prozent an die Gesamtenergie des Universums bei. Und die rätselhafte Dunkle Materie schlägt nur mit etwa 22 Prozent zu Buche. «Also muss da noch etwas sein, und dieses Etwas ist die Dunkle Energie», erklärt Uros Seljak. Sie stellt 74 Prozent der Gesamtenergie, durchdringt den Raum gleichförmig und bläht ihn unablässig auf. Sie ist somit der siegreiche Gegenspieler der (dunklen und hellen) Materie, die die Gravitation dazu treibt, sich in Form von Galaxien-Filamenten und -Clustern zu verklumpen.

nahm die Dunkle Energie überhand und die Beschleunigung setzte ein. Seither wirkt sie wie eine Superhefe, die einen Kuchen im Ofen immer schneller aufgehen lässt.

OCKHAMS RASIERMESSER

Die pragmatischste Lösung ist, die Dunkle Energie einfach als kosmologische Konstante zu deuten. Albert Einstein hatte sie 1915 erfunden, um seine Allgemeine Relativitätstheorie mit der damals herrschenden Vorstellung eines gleichförmigen, unendlichen und unveränderlichen Universums in Einklang zu bringen. Als der US-Astronom Edwin Hubble Ende der 1920er-Jahre die Expansion des Weltalls beobachtete, strich Einstein die Konstante wieder

und bezeichnete den Fehler als «meine grösste Eselei». Nun erlebt Lambda, wie Astronomen die kosmologische Konstante nennen, eine Renaissance. Diesmal jedoch soll sie in den Modellen der theoretischen Physiker aber kein statisches Universum hervorzaubern, sondern im Gegenteil eines, dass immer schneller expandiert. Die kosmologische Konstante ist Teil der sogenannten Zustandsgleichung des Universums und bewirkt eine stetige Bildung von «Raum» zwischen der Materie, gegen die die Gravitation in ihrem steten Bemühen, alles einander zu näherzubringen, nicht mehr ankommt. Aber eben, eine Erklärung der Natur der Dunklen Energie ist auch das nicht, nur eine Beschreibung ihrer Effekte.

Ein zweiter Erklärungsversuch der Dunklen Energie ist die Quintessenz. In der Astronomie steht sie für eine fünfte, noch unentdeckte Kraft und ihr zugehöriges Feld, die die bekannten vier Kräfte Gravitation, Elektromagnetismus und die beiden Kernkräfte ergänzen. Der Vorteil der Quintessenz aus Sicht der Theoretiker ist ihre Flexibilität. Sie ist keine Konstante, sondern dynamisch, kann sich im Lauf der Zeit verändern und könnte somit eine andere Erklärung dafür liefern, warum die Beschleunigung erst vor fünf Milliarden Jahren einsetzte.

«Aber es gibt keinen wirklich guten Grund, auf die Quintessenz oder andere, exotischere Theorien zu setzen», sagt Seljak und zitiert «Ockhams Rasiermesser», eine bei Astronomen beliebte Maxime, nach der bei einer Auswahl von Theorien diejenige weiterverfolgt werden sollte, die die beobachteten Umstände am einfachsten, aber dennoch richtig beschreibt – und das ist die Interpretation der Dunklen Energie als kosmologische Konstante. Da jedoch eine dingfestere Erklärung der Dunklen Energie bis auf Weiteres buchstäblich in den Sternen steht, bleibt vorderhand nichts anderes übrig, als deren Effekte noch genauer auszumessen.

Sowohl Jetzer wie auch Seljak sind an Forschungen beteiligt, die dazu einen Beitrag leisten können. Seljak versucht, die Verklumpung von dunkler und heller Materie und damit die grossräumigen Strukturen des Universums sowohl theoretisch als auch beobachtend zu erfassen. Er ist am Sloan Digital Sky Survey beteiligt, bei dem 100 Millionen Galaxien be-

obachtet werden. Sie sind nicht etwa gleichmässig über den Raum verteilt, sondern ballen sich in Clustern und reihen sich in Filamenten auf, die das Universum durchziehen wie die Anden, der Himalaya oder die Alpen unsere Kontinente. Zwischen den Galaxienhaufen und Filamenten weiten sich ozeanische Leeren, in denen es nichts gibt ausser Dunkle Energie, die die Expansion des Raumes unablässig vorantreibt.

Seljak und seine Mitstreiter verwenden bei dieser Vermessung des Universums den Gravitationslinseneffekt. Stehen zwei Galaxien von der Erde aus betrachtet hintereinander, wirkt die vordere wie eine Linse und lenkt das Licht der hinteren ab. Mit dieser Technik lässt sich ableiten, wie die Verklumpung des Universums in naher Vergangenheit vonstatten ging. Das lässt wiederum Rückschlüsse zu, wie sich die «Potenz» der Dunklen Energie, die der Verklumpung entgegenwirkt, entwickelte, und ob allenfalls doch regionale Unterschiede auftreten.

Um weiter zurück in die Vergangenheit zu blicken, sind kräftigere Lichtquellen nötig als Galaxien. Quasare sind hier das Objekt der Begierde, weil sie zu den strahlungskräftigsten Lichtquellen im Universum gehören. Sie sitzen im Zentrum von Galaxien und senden ähnlich wie ein Richtsender ein ungeheuer kräftiges Radiosignal aus, das, sofern man sich in dessen Abstrahlungskegel befindet, weit herum zu empfangen ist. «Noch ist es zu früh, um zwischen der kosmologischen Konstante und Quintessenz-Theorien zu unterscheiden, nicht zu-

Effekt verschiedener Ursachen, die in ihrer Summe bewirken, dass der sonnennächste Punkt der Planeten im Lauf der Zeit um das Zentralgestirn herum wandert. Auch die Krümmung des Raumes, wie sie von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie beschrieben wird, trägt zur Periheldrehung bei. Die korrekte Berechnung der Periheldrehung der Merkurlaufbahn war einer der ersten Triumphe von Einsteins Relativitätstheorie.

Jetzer hat nun aus heute zur Verfügung stehenden, wesentlich präziseren Daten über die Bewegungen der Planeten eine obere Grenze für die Grösse der kosmologischen Konstante abgeleitet. Da die Dunkle Energie wie eine Abstossungskraft wirkt, die proportional zum Abstand zwischen zwei Körpern – in diesem Fall zwischen Sonne und Planet – wächst, trägt sie einen kleinen Teil zur Periheldrehung bei. «Damit betreiben wir eine Art Hochpräzisionskosmologie, die es dereinst erlauben könnte, unsere «lokale» kosmologische Konstante mit derjenigen zu vergleichen, die sich durch Messungen der grossräumigen Strukturen des Universums ergeben hat.» Treten dabei Differenzen zutage, würde das bedeuten, dass die kosmologische Konstante nicht überall im Universum gleich gross ist.

Das wäre in der Tat spannend, aber ob es weiterhelfen würde, um die Natur der Dunklen Energie zu klären, erscheint fraglich. Tatsache ist: Zwölf Jahre nach ihrer Entdeckung weiss niemand, was hinter der Dunklen Energie

Zwischen den Galaxienhaufen und Filamenten weiten sich ozeanische Leeren, in denen es nichts gibt ausser Dunkle Energie.

letzt deshalb, weil es sich bei den Quintessenz-Theorien um eine ganze Familie von Theorien handelt, die alle unterschiedliche Ergebnisse prognostizieren», erklärt Seljak.

SUCHE IM ASTRONOMISCHEN HINTERHOF

Jetzer hingegen hat die kosmologische Konstante gewissermassen in unserem astronomischen Hinterhof bestimmt, und zwar anhand der Periheldrehung von Planeten in unserem Sonnensystem. Dabei handelt es sich um einen

steckt. Die Komponente, die drei Viertel der Energie im Universum ausmacht, ist zum neuen Mysterium der Kosmologie geworden. «Dass ich erkenne, was die Welt im Innersten zusammenhält», war Fausts Antrieb, sich der Magie zu ergeben. Jetzer und Seljak werden das nicht tun, doch wird sie die Frage, was die Welt im Äussersten auseinandertreibt, noch lange beschäftigen.

KONTAKT Prof. Phillipe Jetzer, jetzer@physik.uzh.ch; Prof. Uros Seljak, seljak@physik.uzh.ch

HALO, HUBBLE, SUPERNOVA

Astronomie und Astrophysik haben im Lauf ihrer Forschungsgeschichte ein kleines Universum von teils sehr bildhaften Fachbegriffen geschaffen.

DUNKLE ENERGIE Als Dunkle Energie wird eine besondere Form der Energie bezeichnet, die lange Zeit als hypothetisch galt. Die Dunkle Energie wurde als eine Verallgemeinerung der kosmologischen Konstante eingeführt, um die beobachtete beschleunigte Expansion des Universums zu erklären. Der Begriff wurde 1998 von Michael S. Turner geprägt.

DUNKLE MATERIE Dunkle Materie bezeichnet eine hypothetische Form von Materie, die zu wenig sichtbares Licht oder andere elektromagnetische Strahlung aussendet oder reflektiert, um direkt beobachtbar zu sein. Diese Eigenschaft teilt die Dunkle Materie mit der Dunklen Energie. Dunkle Materie macht sich durch gravitative Wechselwirkung mit sichtbarer Materie bemerkbar.

FILAMENTE Als Filamente (lat. «Faden, Faser») bezeichnet man die fadenförmigen Verbindungen im Universum zwischen Galaxienhaufen und Superhaufen.

GALAXIENHAUFEN (CLUSTER) Galaxiengruppen und Galaxienhaufen sind Ansammlungen von Galaxien im Universum. Galaxien sind nicht gleichförmig im Raum verteilt, sondern treten gehäuft in Strukturen auf, die sich seit Beginn der Expansion des Universums unter dem Einfluss der Schwerkraft gebildet haben und von dieser zusammengehalten werden. Galaxiengruppen und Galaxienhaufen bilden noch grössere Objekte, die Galaxiensuperhaufen. Galaxien, die nicht offensichtlich Teil einer Gruppe oder eines Haufens sind, heissen Feldgalaxien. Nach heutiger Vorstellung sind alle diese Strukturen Teile einer grossräumigen schaumartigen Verteilung von Haufen und verbindenden Filamenten, die sich um Hohlräume mit geringer Galaxiendichte gruppieren.

GRAVITATIONSLENSENEFFEKT Als Gravitationslinseneffekt wird die Ablenkung von Licht durch schwere Massen bezeichnet. Der Name rührt von der Analogie zu optischen Linsen und der wirkenden Kraft, der Gravitation, her. Grundsätzlich wird dabei das Licht einer entfernten Quelle wie eines Sterns, einer Galaxie oder eines anderen astronomischen Objekts durch ein, vom Betrachter aus gesehen, davorliegendes Objekt, die Gravitationslinse, beeinflusst. In deren Gravitationsfeld ändert sich die Ausbreitungsrichtung des Lichts, sodass die Position der Quelle am Himmel verschoben erscheint. Auch kann ihr Bild dabei verstärkt, verzerrt oder sogar vervielfältigt werden.

GRAVITATIONSWELLEN Gravitationswellen werden von der allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt. Sie entstehen immer, wenn ein massebehaftetes Objekt eine Beschleunigung erfährt und breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Dabei verändern sie die Struktur der Raumzeit, die sie durchlaufen; man kann sich anschaulich eine Streckung und Stauchung des Raumes vorstellen. In der klassischen Newtonschen Gravitationstheorie existieren sie nicht. Gravitationswellen wurden bislang noch nie direkt, jedoch indirekt durch ihre Wirkungen auf astronomische Objekte nachgewiesen.

HALO Der Halo (von griechisch hálos «Lichthof») einer Galaxie ist ein annähernd kugelförmiger Bereich, der grösser als die Galaxie ist und in dessen Zentrum diese eingebettet ist. Im Halo befinden sich Kugelsternhaufen und wenige, meistens alte Einzelsterne, die das Zentrum der Galaxie ausserhalb ihrer Rotationsebene, meistens auf exzentrischen Umlaufbahnen, umkreisen. Ausserdem findet man dort interstellare Gaswolken und Dunkle Materie, deren Gravitation die Galaxien zusammenhalten und deren Zusammensetzung noch unbekannt ist. Der Halo der Milchstrasse hat einen geschätzten Radius von 165 000 Lichtjahren.

HUBBLE-KONSTANTE Die Hubble-Konstante, benannt nach dem US-Astronomen Edwin Hubble, ist eine der fundamentalen Grössen der Kosmologie. Sie beschreibt die Rate der Expansion des Universums zum heutigen Zeitpunkt. Der zurzeit (Mai 2009) genaueste Wert für die Hubble-Konstante wurde durch Beobachtungen mit dem Hubble-Weltraumteleskop ermittelt und beträgt 74,2 Kilometer pro Sekunde pro Megaparsec.

KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG Bei der Hintergrundstrahlung handelt es sich um elektromagnetische Strahlung, die aus jedem Bereich des Himmels nachgewiesen werden kann. Strahlung, die nicht konkreten singularen Quellen zuzuordnen ist, wird dabei der Hintergrundstrahlung zugerechnet. Die Strahlung im Mikrowellenbereich wird wegen ihrer herausragenden Bedeutung für die physikalische Kosmologie häufig kosmische Hintergrundstrahlung – auch Drei-Kelvin-Strahlung (wegen derer niedrigen Temperatur bzw. Energiedichte), engl. cosmic microwave background (CMB) – genannt.

PLANET Ein Planet, im engeren astronomischen Sinn auch «solarer Planet» genannt, ist ein Himmelskörper, der (a) sich auf einer keplerschen Umlaufbahn um die Sonne bewegt, (b) dessen Masse gross genug ist, dass sich das Objekt im hydrostatischen Gleichgewicht befindet – und somit eine näherungsweise kugelhähnliche Gestalt besitzt – und der (c) das dominierende Objekt seiner Umlaufbahn ist, das heisst, der diese von weiteren Objekten «geräumt» hat. Im weiteren Sinn der Planeten versteht man darunter auch einen entsprechenden Körper, der einen anderen Stern als die Sonne umläuft. Diese Objekte wer-

den daher auch «Extrasolare Planeten» oder kurz «Exoplaneten» genannt. Zudem existieren auch Planeten ausserhalb der Schwerkraftfelder von Sternen, die daher auch als «Objekt planetarer Masse» oder kurz «Planemo» bezeichnet werden.

ROTVERSCHIEBUNG Als Rotverschiebung elektromagnetischer Wellen wird die Verlängerung der gemessenen Wellenlänge gegenüber der ursprünglich emittierten Strahlung bezeichnet. Der Effekt ist aus der Astronomie bekannt, wo das Licht weit entfernter Galaxien zum Roten verschoben erscheint.

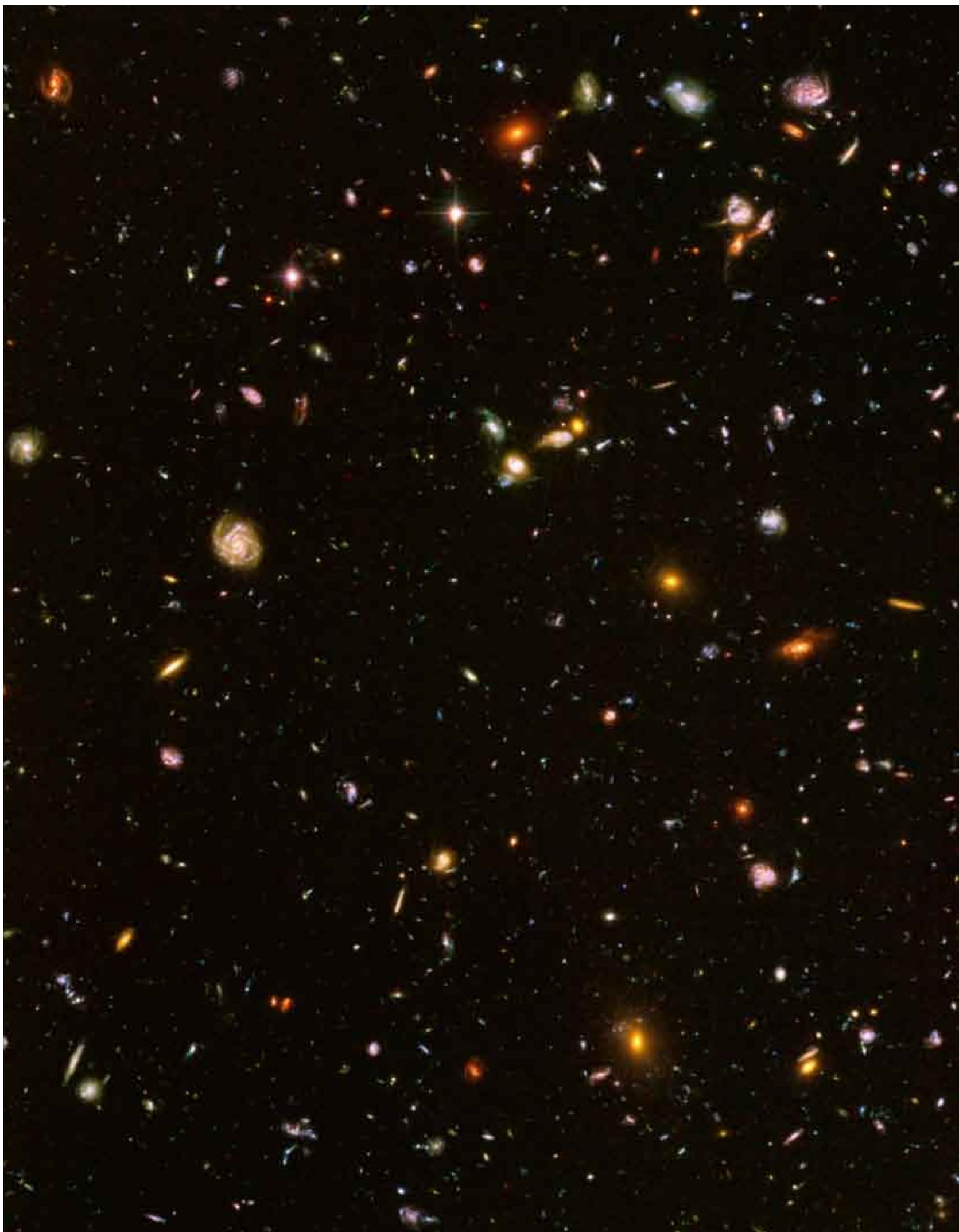
SCHWARZES LOCH Als Schwarzes Loch bezeichnet man ein astronomisches Objekt, dessen Gravitation so hoch ist, dass die Fluchtgeschwindigkeit für dieses Objekt ab einer gewissen Grenze, dem Ereignishorizont, höher liegt als die Lichtgeschwindigkeit. Der Ausdruck «Schwarzes Loch» wurde 1967 von John Archibald Wheeler geprägt und verweist auf den Umstand, dass auch elektromagnetische Wellen, wie etwa sichtbares Licht, den Ereignishorizont nicht verlassen können und es einem menschlichen Auge daher vollkommen schwarz erscheint.

STERN Als Stern (lat. stella, ahd. sterno) wird in der Astronomie eine massereiche, selbstleuchtende Gaskugel bezeichnet, in der Alltagssprache hingegen jeder Himmelskörper, der dem blossen Auge punktförmig erscheint. Dass fast alle diese Lichtpunkte am Nachthimmel weit entfernte Sterne sind, ist eine der wichtigsten Erkenntnisse der modernen Astronomie.

SUPERNOVA Eine Supernova (Plural: Supernovae) ist das schnell eintretende, helle Aufleuchten eines Sterns am Ende seiner Lebenszeit durch eine Explosion, bei der der Stern selbst vernichtet wird. Die Leuchtkraft des Sterns nimmt dabei millionen- bis milliardenfach zu, er wird für kurze Zeit so hell wie eine ganze Galaxie, bei einer Hypernova sogar das Billiardenfache, also so hell wie ein Galaxienhaufen.

URKNALL Der Urknall ist nach dem Standardmodell der Kosmologie der Beginn des Universums. Im Rahmen der Urknalltheorie wird auch das frühe Universum beschrieben, das heisst die zeitliche Entwicklung des Universums nach dem Urknall. Der Urknall bezeichnet keine «Explosion» in einem bestehenden Raum, sondern die gemeinsame Entstehung von Materie, Raum und Zeit aus einer ursprünglichen Singularität. Als Begründer der Theorie gilt der Theologe und Physiker Georges Lemaître, der 1951 für den heissen Anfangszustand des Universums den Begriff «primordiales Atom» oder «Uratom» verwendete. Der Begriff Urknall (engl. Big Bang, wörtlich also grosser Knall) wurde von Sir Fred Hoyle geprägt, der als Kritiker diese Theorie unglaubwürdig erscheinen lassen wollte. Der deutschen Übersetzung fehlt dieser ironische Unterton.

Quelle: Wikipedia





NACH DEM URKNALL

Das Hubble Ultra Deep Field ist das tiefste Bild des Universums, das jemals aufgenommen wurde. Dazu wurde das Hubble-Teleskop mit einer Belichtungszeit von einer Million Sekunden auf denselben kleinen Ausschnitt des Himmels gerichtet. Der Ausschnitt entspricht aus der Sicht der Erde nur etwa einem Zehntel des Monddurchmessers, enthält aber Zehntausende Galaxien. Die meisten dieser Galaxien sind mehr als zehn Milliarden Lichtjahre entfernt. Deshalb zeigt diese Aufnahme das Universum, wie es kurz nach dem Urknall aussah.

DER TEUFEL ALS LATINIST

In welcher Sprache spricht der Teufel? Es ist nicht einfach, anhand mittelalterlicher Texte eine Antwort auf diese Frage zu geben, denn der gefallene Engel und die kleinen Teufelchen in seinem Gefolge irrlichtern in unterschiedlichen Gestalten durch die Literatur. Nur selten finden sich Szenen, in denen ein Teufel direkt und offen zu den Menschen spricht. Die Verfasser lassen uns allerdings häufig über den konkreten Wortlaut oder die benutzte Sprache im Dunkeln; wenn sie aber sagen, wie der Teufel spricht, zeigt sich, dass er auch darin wandelbar ist: Er kann wie ein Tier grunzen, in den Volkssprachen sprechen, eine geheimnisvolle besondere Sprache verwenden oder sich eben auch als Latinist erweisen. Einige Autoren aus dem 13. und 14. Jh. bewerten sogar die Lateinleistungen des Teufels und geben uns dadurch Einblick in ihre eigene Einstellung zur lateinischen Sprache und zu deren Verwendung.

*

Wir beginnen mit einem kurzen Bericht des Zisterziensers Caesarius von Heisterbach. Caesarius setzt einen erfahrenen Mönch in Szene, der einen Novizen anhand von lehrhaften Erzählungen in das monastische Leben und in Fragen des Glaubens einweist. In einer von ihnen verfolgt der Teufel ein tugendhaftes, jungfräuliches Mädchen und will sie verführen. Sie widersteht ihm standhaft, was ihn in Rage bringt. In einem Haus, in dem sie sich aufhält, tobt der Plagegeist und wird von allen Anwesenden gehört. Ich übersetze nun Caesarius' Erzählung:

«Manche sagten zu ihm: ‹Teufel, kennst Du das Vaterunser?› Weil er antwortete, ‹kenne ich bestens›, baten sie ihn, es aufzusagen. Und er sagte: ‹Pater noster, qui es in coelum, nomen tuum, fiat voluntas et in terra, panem nostrum quotidianes da nobis hodie, sed libera nos a malo› [In etwa: Vater unser im Himmel, Dein Name, Dein Wille geschehe so in Erden, unser täglich

chem Brot gib uns heute, sondern befreie uns von dem Bösen]. Und nachdem er in diesem Gebet mehrere Sprünge und Fehler gemacht hatte, fügte er laut auflachend hinzu: ‹So sagt ihr Laien euer Gebet.› Als er über das Credo gefragt wurde, sagte er, er kenne es gut und bestens und begann so: ‹Credo Deum Patrem omnipotentem.› (Ich glaube, dass Gott Vater allmächtig ist). Und als einige sagten: ‹Du musst sagen, credo in Deum› (ich glaube an Gott), und er antwortete: ‹Credo Deo› (ich glaube Gott), drängten ihn einige gebildete Männer, die anwesend waren, die Wortwahl des Teufels beobachteten und die besondere Bedeutung des Akkusativs verstanden, zu sagen: ‹Credo in Deum.› Aber sie konnten ihn nicht dazu bringen.»

Der Teufel führt mit seinem Vaterunser die Gläubigen vor, die ihr Gebet nachlässig sprechen und verunstalten. Ähnliche Geschichten finden sich in anderen Sammlungen erbaulicher Erzählungen für Mönche oder für die Predigt. Namentlich bekannt ist der Teufel Titivillus, der die beim Gebet verschluckten Silben einsammelt; manchmal wird er im Chor gesehen, manchmal erscheint er dem Abt als ein Bettler, der mit einem schweren Sack unterwegs ist. Eng mit diesen Geschichten verwandt ist die Vision eines Klerikers, der in der Hölle eine grosse Zahl von Priestern sah, die unter riesigen Lasten gequält wurden; was sie erdrückte, waren alle Silben, die sie beim Psaltergebet ausgelassen hatten. Hinter diesen Geschichten verbirgt sich nicht etwa ein Glaube an die magische Kraft der Sprache und die damit einhergehende Furcht, dass ein verändertes Gebet seine Wirkung verlieren könnte. Die Prediger wollen mit diesen Erzählungen zur Aufmerksamkeit beim Gebet ermahnen, denn die Nachlässigkeit beim Gebet zeigt, dass der Betende sich nicht innerlich beteiligt. Es ist diese mangelnde Hingabe, die hier kritisiert wird, und nicht das schlechte Latein an sich.

Anders verhält es sich mit dem zweiten Teil der Geschichte, der Weigerung des Teufels, die Wendung ‹credo in Deum› zu verwenden. In Caesarius' Text erklärt dies der erfahrene Mönch inhaltlich: Der Teufel glaubt, dass es Gott gibt und dass er mächtig ist; er glaubt aber nicht an Gott, denn er wandelt nicht in der Gottesliebe. Für diese Weigerung könnte es aber einen anderen Grund geben, der als bekannt vorausgesetzt und deshalb von Caesarius nicht erwähnt wurde. ‹Credere in Deum› ist nämlich eine Wendung, die es in der Literatursprache der klassischen Latinität nicht gibt und deshalb von einem Puristen abgelehnt werden könnte.

Nun wird der Teufel, wenn er in anderen Texten dieser Zeit Latein spricht, zuweilen als Verfechter grammatikalischer Korrektheit dargestellt. Dies sieht man zum Beispiel bei den Geschichten von ungebildeten Besessenen, die auf einmal korrekt Latein sprechen. In der Chronik des Franziskaners Salimbene wird geschildert, wie sich ein Franziskaner, zu dem ein scheinbar besessener Bauer gebracht wird, vergewissert, ob sich wirklich ein Teufel seines Gegenübers bemächtigt hat, indem er den ungebildeten Mann auffordert, Latein zu reden. Allerdings zeigt sich in dieser Geschichte, dass auch der Teufel auf unüberwindbare Schwierigkeiten stossen kann. Der Bauer – oder soll man eher sagen, der Teufel in ihm – antwortet auf Latein, macht aber einen Fehler und wird vom Mönch wegen seiner schlechten Grammatik ausgelacht. Der Teufel verteidigt sich: ‹Ich kann so gut Latein reden wie du, aber die Zunge dieses Bauern ist so grob, dass ich sie kaum führen kann.›

Noch klarer erscheint diese Besorgnis um die grammatikalische Korrektheit im Text eines Zisterziensers, der den Abt Richalm von Schöntal seine Visionen in kleinen dialogischen Szenen schildern lässt. Richalm hat eine seltene und beunruhigende Gabe: Er kann die Teufel hören und verstehen, weshalb er über ihre Umtriebe im Kloster bestens informiert ist. Einmal erwähnt er einen lateinischen Satz, den die Teufel gesagt haben. Sein Gesprächspartner fragt nach, ob die Teufel wirklich Latein gesprochen hätten, und Richalm antwortet: ‹So ist es. Denn sie sprechen Latein und kümmern

sich eifrig um eine wohlgeordnete, nicht fehlerhafte Rede. Und wenn einer von ihnen es vermeidet, einen Fehler zu machen, freut er sich sehr darüber und prahlt damit. Nicht einmal Schüler, die sich vor der Rute fürchten, meiden Fehler so sorgfältig wie sie.»

*

Warum präsentieren diese Autoren die Teufel als gute, um Korrektheit bemühte Lateinsprecher? Darin spiegeln sich Spannungen, die tiefe Wurzeln haben. Sie gehen zurück auf das dritte Jahrhundert, als das Christentum die kultivierten Schichten der Bevölkerung erreichte. In dieser Zeit entstanden die ersten lateinischen Übersetzungen der Septuaginta (einer griechischen Übersetzung des hebräischen Kanons) und des Neuen Testaments, die heute mit dem Sammelbegriff «Vetus Latina» bezeichnet werden. Sie weisen eine eigentümliche Sprache auf, denn der Respekt vor dem heiligen Wort hat sie geprägt: Die Übersetzer folgten ihrer Vorlage wörtlich und passten sogar manche griechische Ausdrücke dem Lateinischen an, ohne sie zu übersetzen; auch Hebraismen finden sich darin, ferner Lehnwörter und Lehnprägungen, ungewöhnliche oder sogar ganz und gar unlateinische Konstruktionen und Wendungen.

Gleichzeitig steht die Vetus Latina dem gesprochenen Latein nahe und nimmt Wörter, Formen und Strukturen daraus auf, die der Literatursprache fremd waren. Die Heiden griffen dieses seltsame sprachliche Gebilde an. Im Gegenzug verteidigten die Christen die niedrige Sprache der Bibel: Die piscatores (Fischer) hatten eine Botschaft vorgetragen, die sich ohne Rekurs auf die Kunstgriffe der Rhetorik behaupten konnte und die sie über die oratores (Redner) siegen liess. Aber diese Verteidigungen der niedrigen Sprache bedeuteten nicht, dass die Christen die Pflege eines korrekten Lateins aufgegeben hätten. In ihrer Praxis orientierten sie sich an den antiken Stilmustern und bedienten sich der etablierten literarischen Gattungen. Diese etwas widersprüchliche Haltung findet sich auch im ganzen Mittelalter: Die niedrige, schlichte, demütige Sprache wird in einem gepflegten Stil verteidigt. Das eigentümliche Latein der Bibel – das durch die Redak-

tionsarbeit des Hieronymus in den meistbenutzten Bibelabschnitten kaum verändert wurde – wurde respektiert, es wurde aber auch als eine Besonderheit gesehen. Die lateinische Bibel wurde nie ein Stilmuster.

Besonders folgenreich für die lateinische Literatursprache im Mittelalter waren die Überlegungen des Kirchenvaters Augustinus über die Sprache der Predigt in seinem Traktat *De doctrina christiana*. Augustinus orientiert sich weitgehend an den Vorschriften der antiken Rhetorik, die er den Bedürfnissen der Predigt anpasst, doch muss er eine wichtige Verschiebung vornehmen. Die antiken Redelehren sehen die Latinitas (die sprachliche Korrektheit) und die Perspicuitas (die Klarheit und Verständlichkeit) als zwei Sprachtugenden des Redners. Beide gehen Hand in Hand, denn veraltete, fremdsprachige und erfundene Wörter erschweren das Verständnis.

Die Ausgangssituation war für Augustinus aber eine andere. Viele christliche Inhalte konnten nicht mit den vorhandenen sprachlichen Mitteln der Bildungssprache ausgedrückt werden: Neuschöpfungen und Gräzismen waren notwendig. Ausserdem orientierte sich das Latein der Gebildeten an den grossen Werken der klassischen Zeit und wich deshalb von der Umgangssprache ab; Augustinus wollte aber, dass die christliche Botschaft alle, auch die Ungebildeten, erreiche. Deshalb kann in seinen Augen die Latinitas in Widerspruch zur Perspicuitas stehen. Der christliche Redner – sagt Augustinus – muss sich vor allem verständlich ausdrücken. Er soll zwar auch korrekt reden, aber im Zweifelsfall muss er der Verständlichkeit den Vorzug vor der Korrektheit geben.

*

Diese Spannung zwischen Verständlichkeit und Korrektheit wurde im Laufe der Zeit immer stärker: In der Romania verwandelte sich die Sprache zutiefst, ausserdem erreichte das Christentum Völker, die kein Latein sprachen. Die Kirche hätte das Lateinische aufgeben müssen, um dem Gebot der Perspicuitas zu genügen, aber Augustinus' gleichzeitige Forderung nach einer korrekten Sprache wirkte dem entgegen. Auch das Prestige der antiken Literatursprache, das Vorbild der spätantiken

Kirchenlehrer und Kirchenväter wogen schwer. Latein blieb die Sprache der Liturgie und der kirchlichen Schriften; nur sehr langsam erschienen die Volkssprachen in Werken für die private Frömmigkeit; sogar die lateinische Predigt hielt sich bis in die Neuzeit, wenn auch mit einem immer eingeschränkteren Wirkungsbereich. Man sieht es gut am Beispiel der Hildegard von Bingen, die als Prophetin ihre Autorität von Gott selbst bezog. Obwohl sie als Sprachrohr Gottes fungierte, liess sie ihre Schriften auf grammatikalische Korrektheit überprüfen und verbessern.

Die Latinität hatte aber ihre moralischen Fallstricke. Man konnte auch zu viel Wert auf das Äussere legen, die Grammatik und den eleganten Stil mehr schätzen als die Inhalte, die sie vermitteln. Eine elegante Sprache konnte zu Stolz und Hochmut verführen. Autoren, die spöttisch auf die weniger Begabten herabblicken, finden sich immer wieder – mancher beichtet sogar diese Verfehlung. Die Verfasser der Erzählungen, die den Teufel als vollkommenen Latinisten inszenieren, gehören alle religiösen Orden an, die die Demut und die Einfachheit hochhielten und die Innerlichkeit beim Gebet forderten. Diese Autoren wollten mit ihren Geschichten auch die Ungebildeten erreichen und bedienten sich dafür einer schlichten, gut verständlichen und nach den Massstäben der klassischen Latinität häufig inkorrekten Sprache. Wie mir scheint, verteidigten sie ihre Sprache, auf die die Gelehrten herabblickten, indem sie den Teufel zu einem Verfechter grammatikalischer Korrektheit stilisierten.

Carmen Cardelle de Hartmann ist Ausserordentliche Professorin für Lateinische Philologie des Mittelalters und der Neuzeit am Mittellateinischen Seminar der Universität Zürich.

KONTAKT cardelle@access.uzh.ch

DURCH EUROPA REITEN

Brigitte von Rechenberg erforscht die Heilung von Frakturen, Knorpel- und Knochendefekten bei Schafen. Die Veterinärmedizinerin ist Vegetarierin, Tierschützerin und hat gelernt, mit Paradoxen zu leben. Von Paula Lanfranchi

Ein regnerischer Morgen. Auf dem Areal des Tierspitals fährt ein Transporter vor. Brigitte von Rechenberg begrüsst den Fahrer mit einem freundlichen Handschlag, man ist per Du. Der Transporter hat zwei Schafe gebracht. Sie stammen aus der 400-köpfigen Versuchstierherde des Tierspitals, untergebracht irgendwo im Aargau. «An einem wunderschönen Ort», betont die Forscherin in ihrem bodenständigen Bündnerdialekt. Die beiden Schafe gesellen sich blökend zu ihren zwei Artgenossen in der Stallbox. Ab heute müssen sie hungern, denn schon bald wird ihnen die Chirurgin und ihr Team einen knochenbildenden Knochenersatz injizieren. Gelingt das Projekt, wird diese Substanz irgendwann als Stimulans für osteoporotische menschliche Wirbel dienen.

«Unser wichtigstes Forschungsgebiet», sagt die feingliedrige Mittfünfzigerin, «ist die Heilung von Frakturen, Knorpel- und Knochendefekten.» Nach Tumorentfernungen beim Menschen etwa gelte es, den entstandenen Defekt rasch mit knocheninduzierendem Material zu füllen. Dazu verwendet man heute Knochen-späne, die man dem Patienten entnimmt – eine schmerzhaft und komplikationsanfällige Prozedur. Die Forschung sucht deshalb weltweit nach biologischen Ersatzstoffen. Dabei arbeitet man hauptsächlich mit Schafmodellen, da Schafe den gleichen Knochenmetabolismus und eine ähnliche Knochenstruktur aufweisen wie der Mensch. Brigitte von Rechenbergs Team hat bereits einen Knochenzement mitentwickelt, den die Unfallchirurgen bei Knochendefekten verwenden, und die Abteilung für Knochenhistologie der Musculoskeletal Research Unit (MSRU), die sie an der Vetsuisse-Fakultät aufgebaut hat, hat sich inzwischen als Referenzlabor etabliert – schöne Erfolge für die 1993 von Brigitte von Rechenberg gegründete Gruppe. «Meine Passion für Tiere»,

erklärt sie, «ist der Antrieb für die Forschung.» Und praxisbezogen wählt sie ihre Themen. Immer wieder war die Chirurgin auf die sogenannte subchondrale Knochenzyste gestossen, eine entzündliche Erkrankung beim Pferd. «Die Heilungsrate ist gering – wegen der gerade mal nussgrossen Zyste beim Sprunggelenk müssen 60 Prozent der betroffenen Pferde im Alter von drei bis vier Jahren abgetan werden.» Von Rechenbergs Gruppe fand den Mechanismus der Entstehung und arbeitet nun an biotechnologischen Therapiemethoden.

Als Forscherin ist die heute 56-Jährige eine Quereinsteigerin. Ursprünglich hatte sie zwar in die klinische Forschung gehen wollen, ent-

nicht alle Fachkollegen klar. Sie hat gelernt, mit Paradoxen zu leben. Einerseits engagiert sie sich aktiv im Tierschutz und ist Vegetarierin, andererseits führt sie Tierversuche durch und räumt ein, man mache sich schuldig, wenn man ein solches Tier töte. «Als Mitglied der kantonalen Tierversuchskommission versuche ich, die beiden Gegensätze zu verbinden.»

«PATRIARCHALES GEHABE»

Von Selbstdarstellungen auf Kongressen, «diesem patriarchalischen Gehabe», hält Brigitte von Rechenberg wenig. Viel wichtiger ist ihr, ihre Mitarbeitenden so zu fördern, dass sie «geseichte Forschung betreiben und publizieren können». Inzwischen arbeiten 20 Personen am MSRU. Ihre Gruppe, bemerkt sie mit einer Prise Mutterstolz, veröffentliche zusammen mit ihren Forschungspartnern acht bis zehn Originalpublikationen im Jahr; die Abgänger kommen oft zu Traumstellen.

Brigitte von Rechenberg ist beliebt, das sieht man an der herzlichen Art, mit der ihr die Mitarbeitenden begegnen. Und das liegt nicht an

«Statt Gehorsam zu fordern, versuche ich, meinen Leuten Wahlmöglichkeiten und ein Sicherheitsgefühl in der ‚Herde‘ zu geben.»

schied sich dann aber für die Chirurgie. 1993 dann ergriff sie die Chance, in Zürich eine Forschungsgruppe aufzubauen. «Damals», bekennt sie mit ihrer typischen Offenheit, «hatte ich keine Ahnung von den Möglichkeiten der Molekularbiologie; zu meiner Zeit wurde das im Studium noch nicht gelehrt.» Also tat sie das, was sie schon als angehende Chirurgin gemacht hatte: Sie besuchte führende Wissenschaftler in den USA und Kanada und Kongresse. Im Jahr 2000 habilitierte sie sich an der Universität Zürich.

Brigitte von Rechenberg, geboren als Tochter eines in der Kindheit aus Deutschland eingewanderten Ökonomen mit jüdischem Hintergrund und einer in Indonesien aufgewachsenen holländischen Mutter, strahlt die Souveränität einer intellektuell, aber auch materiell unabhängigen Persönlichkeit aus. Wissenschaftliche Tabus gibt es für sie nicht. Damit kommen

Kolma, dem herzigen Labradorbaby, das sie seit ein paar Wochen begleitet, sondern an der Art, wie sie ihre Gruppe leitet. «Ich nehme mir», betont sie, «die Mühe, meine Leute bewusst als Frau zu führen und – noch wichtiger – mir selbst entsprechend: Authentizität ist das oberste Gebot.» Von Rechenbergs Führungsstil orientiert sich an der Join-up-Methode. Monty Roberts, der «Pferdeflüsterer», hatte diese zum Zähmen von Pferden entwickelt. Ihr gefällt die Methode, weil sie aus dem Verhalten der Leitstute abgeleitet ist: «Statt Gehorsam zu fordern, versuche ich, meinen Leuten Wahlmöglichkeiten und ein Sicherheitsgefühl in der ‚Herde‘ zu geben.»

Frauenförderung ist Brigitte von Rechenberg wichtig. Deshalb hat sie das Vet Net gegründet, eine Gruppe zur Unterstützung von Wiedereinsteigerinnen. Denn trotz der Feminisierung der Tiermedizin, gibt sie zu bedenken, sei das Kader noch immer männlich. Auch sie selber



habe auf dem Weg nach oben etliche Federn lassen müssen, vor allem privat: «Das Zusammenleben mit mir», bemerkt sie trocken, «schadet offenbar dem männlichen Ego.»

GEWALTLOSES PFERDETRAINING

Knapp zehn Berufsjahre bleiben ihr noch. Sie will sie nutzen, um ihre Gruppe in eine gesicherte Zukunft zu führen. Anstelle des auf sie zugeschnittenen Extraordinariats brauche es einen Lehrstuhl. Und Nachwuchskräfte, die die vielen Funktionen der Gründerin übernehmen und auch Drittmittel einwerben können – Aufgaben, die Brigitte von Rechenberg bis vor kurzem im Alleingang bewältigte. «Aber dann», sagt sie dezidiert, «werde ich gehen.» Und dies in der Gewissheit, in ihrem Fach etwas verändert zu haben. Natürlich wird sie aktiv bleiben, will sich weiter um den Aufbau einer Fachhochschule für gewaltloses Pferdetraining kümmern. Und sie hat auch schon Vorstellungen, wie sie den Schritt vom aktiven Berufs- ins Privatleben vollziehen will: «Wie andere auf dem Jakobsweg wandern, möchte ich durch Europa reiten, Richtung Trakehnen.» Einem wunderschönen Reiterland im Osten Deutschlands, wo die Trakehnerpferde gezüchtet werden. Sie wird sich auch auf den Spuren von Schammar bewegen, ihrem ersten Araberwallach, der vor sechs Jahren als 24-Jähriger an einem akuten Herztod starb. «Ein Drama! Da drin», sagt sie und zeigt auf ihre Halskette, «sind seine Schweifhaare.» Schammar sei gewesen wie Rih, jenes Pferd bei Karl May, das einfach alles konnte.

Kürzlich hat sie skypen gelernt, weil zwei Mitarbeiter nach Finnland gehen und sie sehen will, wie sich deren Kinder entwickeln. Und da sind auch die früheren Mitarbeitenden, die sie jeweils anrufen, wenn sie vor einer wichtigen Prüfung oder Entscheidung stehen. Ihnen sagt sie zuweilen: «Schau, du machst das nicht wegen der Prüfung oder des Titels, sondern weil du ein besserer Tierarzt werden willst. Also: An die Bücher – hopp!»

KONTAKT Prof. Brigitte von Rechenberg, bvnonrechenberg@vetclinics.uzh.ch

«MIT WIDERSTAND HAT NIEMAND GERECHNET»

Das Schweizer Bildungssystem soll vereinheitlicht werden. Doch der Harmonisierung erwächst Widerstand. Weshalb? Und wo besteht der grösste Reformbedarf? Mit dem Bildungsforscher Lucien Criblez sprachen Roger Nickl und Thomas Gull

Herr Criblez, Sie haben ein Buch mit dem Titel «Bildungsraum Schweiz. Historische Entwicklungen und aktuelle Herausforderungen» herausgegeben. Gibt es diesen nationalen Bildungsraum heute überhaupt?

LUCIEN CRIBLEZ: Der Titel des Buches richtet sich nach der Überschrift eines neuen Artikels in der Bundesverfassung, wie er seit 2006 besteht. Ob es diesen Bildungsraum gibt oder nicht, ist eine Frage, die sich so allgemein nicht beantworten lässt. Man muss nach Bildungsstufen und Schulformen differenzieren. In der Berufsbildung, aber auch auf Stufe Gymnasium, existiert dieser nationale Bildungsraum bereits seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert. In diesen beiden Bereichen wurden Instrumente – national anerkannte Lehrabschlussprüfungen und Maturitätsausweise – geschaffen, die nicht mehr einfach der bildungsföderalistischen Tradition verpflichtet sind, wonach die Kantone allein für die Vergabe von Diplomen und Maturitätszeugnissen zuständig waren. In den anderen Bildungsbereichen sind erst seit rund 40 Jahren stärkere Harmonisierungstendenzen festzustellen. Sie haben durch die zunehmende Internationalisierung seit dem Ende der 1980er-Jahre eine neue Dynamik gewonnen.

2006 haben 86 Prozent der Abstimmenden den neuen Bildungsartikeln der Bundesverfassung zugestimmt, die eine stärkere Vereinheitlichung der kantonalen Bildungssysteme vorsehen. Der konkreten Umsetzung dieser Harmonisierung erwächst in den einzelnen Kantonen nun aber zum Teil grosser Widerstand. Wie erklären Sie sich das?

CRIBLEZ: Dieser Widerstand ist nicht neu. Die neue Bildungsverfassung hatte eine Vorläuferin, die 1973 am Ständemehr scheiterte. Schon damals kam der Widerstand aus der konservativen, damals von der CVP geprägten Schweiz. Weitere Gegner stammten aus bildungsföderalistischen Kreisen. Ähnliche Gruppierungen wehren sich auch heute gegen die Ratifizierung des Harnos-Konkordats, das die Harmonisierung der kantonalen Bildungssysteme auf Volksschulstufe anstrebt. Sie wollen einerseits den Bildungsföderalismus bewahren, andererseits bekämpfen sie die Idee, dass Kinder den Kindergarten obligatorisch während zwei Jahren besuchen müssen, dass das Schuleintrittsalter vorverlegt wird und der heutige Kindergarten integraler Teil des Schulsystems wird. Diese Positionen sind mit konservativen Familienvorstellungen, Rollenverständnissen sowie romantischen und verniedlichenden Vorstellungen einer heilen Kinderwelt verbunden. Solche Vorstellungen entsprechen nicht mehr der heutigen gesellschaftlichen Realität: Die Familienmodelle haben sich pluralisiert. Zudem: Der neuen Bildungsverfassung wurde auch zugestimmt, weil die Vorgaben relativ abstrakt sind und die Mehrheit der Bevölkerung offensichtlich den Sinn eines kleinräumigen Bildungsföderalismus nicht mehr einsehen. Wenn es aber um konkrete Veränderungen eines kantonalen Schulsystems hier und jetzt und vor Ort geht, von denen jeder Einzelne betroffen ist, manifestiert sich das konservative Potenzial viel stärker. Die SVP hat dieses Potenzial bei den letzten kantonalen Abstimmungen geschickt instrumentalisiert.

Bleiben wir bei dem von Ihnen angesprochenen Kinderbild: In Luzern wurde



«Die Opposition gegen Harnos ist mit verniedlichenden Vorstellungen einer heilen Kinderwelt verbunden.» Lucien Criblez

mit einem Plakat gegen die Schulharmonisierung angekämpft, das weinende Kinder zeigt. Unglücklich sind sie, weil sie schon zur Schule müssen und nicht mehr in den Kindergarten dürfen. Welche Vorstellungen repräsentiert dieses Bild?

CRIBLEZ: Das Plakat rekurriert auf Vorstellungen einer «heilen» Kinderwelt jenseits des institutionellen Schulzwangs, beides reformpädagogische Argumentationsfiguren: Die Individualität und Freiheit des Kindes wird dem Leistungsdruck und der Normierung durch die Institution Schule entgegengestellt. Der Kindergarten ist in diesem Denken ein Ort des freien Spiels und der freien Entfaltung, während die Schule für die Konfrontation mit der Realität der Leistungsgesellschaft steht. Beides trifft die gesellschaftlichen Realitäten und Institutionen relativ schlecht, entspricht aber einer offensichtlich weit verbreiteten kulturkritischen Grundhaltung. Der Kindergarten ist im 19. Jahrhundert als sozialpädagogische Einrichtung entstanden: In den 1820er-Jahren wurden erstmals Kleinkinderbewerhanstalten geschaffen für die Betreuung von Kindern, deren Mütter arbeitstätig waren. Seit der Bildungsexpansion ist der Kindergarten Schritt für Schritt ins Schweizer Bildungssystem integriert worden – in der italienisch- und französischsprachigen Schweiz früher als in der deutschsprachigen. Kindergärten haben heute einen Bildungsauftrag und verfügen in den meisten Kantonen auch über Lehrpläne. Die Bildungspolitik reagiert mit diesen Veränderungen auf – berechnete, zum Teil aber auch fragwürdige – Bildungsaspirationen einer Elterngeneration, die selber so gut ausgebildet ist wie keine zuvor und auf Frühförderung setzt. Gleichzeitig werden Vorstellungen einer Kindergartenwelt ohne institutionellen Zwang hochgehalten – das ist alles unglaublich widersprüchlich.

Kommen wir auf die nationalen Harmonisierungsbemühungen zurück: Wird es uns künftig gelingen, einen einheitlicheren Bildungsraum zu schaffen?

CRIBLEZ: Das Quorum von 10 Beitritten zum Harnos-Konkordat ist erreicht, so dass es auf



«Viele nichtakademische Berufe erfordern heute kognitive Leistungen, die eigentlich das Gymnasium aufbauen sollte.» Lucien Criblez

den 1. August 2009 in Kraft getreten ist. Einen einheitlicheren Bildungsraum wird es geben, aber kaum einen einheitlichen – das ist wahrscheinlich auch gar nicht erstrebenswert. Aber die Harmonisierung der Volksschule gelingt sicher nicht so schnell wie erhofft: Nach der Verfassungsänderung 2006 ging man davon aus, dass das Harmos-Konkordat in den Kantonen relativ schnell ratifiziert wird. Mit so grossem Widerstand in der deutschsprachigen Schweiz hatte damals jedenfalls niemand gerechnet. Durch die vielen Diskussionen werden notwendige Reformprozesse aber auch verzögert. Das ist nicht unproblematisch. Zudem lösen wir die bildungspolitischen Probleme

zurzeit mit einer Vielzahl multilateraler Staatsverträge zwischen den Kantonen und parallelen Erlassen von Bund und Kantonen (Maturitätsanerkennung, Hochschulkoordination) – was letztlich bedeutet: Um föderalistische Strukturen aufrechtzuerhalten, steigern wir die Komplexität von horizontaler und vertikaler Politikverflechtung im Bildungsbereich inschier Unermessliche – aus meiner Sicht eine Hypothek für die künftige Bildungspolitik.

Ist denn der Bildungsföderalismus in der Schweiz vor allem ein Hemmschuh für die Entwicklung eines modernen Bildungssystems?

CRIBLEZ: Der Bildungsföderalismus ist zunächst einfach unsere bisherige Art, Bildungssysteme politisch zu steuern und Bildung zu organisieren. Positiv gesehen: Er schafft ein grosses Laboratorium, in dem viele verschiedene Ideen entstehen können. Diese Vielfalt wurde bislang aber nicht systematisch genutzt, um von den besten Ideen zu lernen. Dazu wäre mehr Wissen – heisst: viel mehr Forschung – nötig. Den Bildungsföderalismus, wie er noch bis in die 1960er-Jahre existiert hat, gibt es heute aber nicht mehr. Ihm lag die Überzeugung zugrunde, dass es eine regionale beziehungsweise kantonale, massgeblich konfessionell und sprachlich geprägte Kultur gibt. Bildung war wichtiger Teil dieser Kultur. Deshalb sollten die Kantone auch selbstständige bildungspolitische Entscheide treffen. Mittlerweile hat sich die Konfessionsfrage stark relativiert. Zudem ist die Mobilität innerhalb der Sprachregionen

massiv gestiegen – aber die kleinräumige Definition der Bildungssysteme ist geblieben. Hier setzen die neue Bildungsverfassung und das sehr eng darauf bezogene Harnos-Konkordat eigentlich an. Aber um die Harmonisierungen, die im Harnos-Konkordat vorgesehen sind, in der ganzen Schweiz zu implementieren, sind 26 Beitritte zum Konkordat notwendig (in den meisten Kantonen referendumsfähig) und anschliessend entsprechende Anpassungen der 26 kantonalen Bildungsgesetzgebungen – wiederum referendumsfähig.

In welche Richtung wird die Entwicklung künftig gehen?

CRIBLEZ: Am Beispiel der Fachhochschulen lässt sich eine wichtige Entwicklung gut zeigen: Verschiedene Fachhochschulen sind nicht Hochschulen eines einzigen Kantons. Das heisst, wir befinden uns in einem Prozess, in

dem grosse Bildungsinstitutionen in multikantonaler Trägerschaft nicht mehr von einem einzelnen kantonalen Parlament und einer Kantonsregierung bildungspolitisch zu steuern sind. Insbesondere die Hochschulen wachsen über die Kantonsgrenzen hinaus, aber auch zusammen – Beispiele: Veterinärmedizin, Genfersee. In der Spitzenmedizin stellen sich die Probleme auf eine ähnliche Weise dar.

Sie haben vorher von notwendigen Reformen gesprochen. Welches sind die wichtigsten Probleme, die das Bildungsland Schweiz lösen muss?

CRIBLEZ: Die Gründung von Fachhochschulen und die Bologna-Reform im Hochschulbereich machen es deutlich: Die Bildungssysteme werden heute sehr viel stärker von internationalen Entwicklungen beeinflusst als früher – Diplome müssen vergleichbar sein. Wir kön-

nen nicht mehr so tun, als ob wir die Bildungssysteme in den einzelnen Kantonen autonom definieren könnten. Die internationale Homogenisierung wird weitergehen. Der Bedarf an qualifiziertem Personal ist heute zudem ein ganz anderer als noch vor zwanzig oder fünfzig Jahren. Wir würden dem Arbeitsmarkt mit einer Hochschulabschlussquote von 10 Prozent heute in keiner Weise mehr gerecht – noch vor 50 Jahren wäre eine solche Quote aber mit den schlimmsten Szenarien von akademischem Proletariat verbunden worden.

Wie hoch sollte denn die Akademikerquote künftig sein?

CRIBLEZ: Für mich steht nicht die Quote im Vordergrund; die öffentliche Diskussion der letzten Monate über die «richtige» gymnasiale Maturitätsquote halte ich für verkürzt. Sowohl die Maturitätsquote als auch die Hochschul-



Lust auf Erasmus?

abschlussquote sind keine fix zu definierenden Grössen, sondern funktional abhängig von Bildungsnachfrage und wirtschaftlichem Bedarf – und von der Art und Weise, wie Bildungssysteme auf der Sekundarstufe II und im tertiären Bildungsbereich organisiert sind. Aber die entscheidende Frage ist doch, wie wir Kindern und jungen Menschen auch in Zukunft optimale Bildungsmöglichkeiten anbieten und sie als Erwachsene bis ins hohe Alter sinnvoll weiterbilden können. Eines der grossen ungelösten Probleme im schweizerischen Bildungssystem besteht für mich darin, dass wir Bildung im nachobligatorischen Bereich nach wie vor in zwei stark getrennten «Welten» organisieren: auf der einen Seite Gymnasium und Universität, auf der anderen die Berufsbildung. Dazwischen sind mittlerweile zwar neue Zonen entstanden – die Berufsmatur, die Fachmatur und die Fachhochschulen, und Übergänge sind

einfacher als früher. Die Bildungsanforderungen in Gesellschaft und Wirtschaft verändern sich heute aber so schnell wie nie zuvor: Viele nichtakademische Berufe erfordern kognitive Leistungen, die eigentlich das Gymnasium aufbauen sollte. Vom Bildungssystem der Zukunft dürfte wohl Einiges mehr an Flexibilität verlangt werden. Dank der Schaffung der Fachhochschulen ist es uns immerhin gelungen, die in der Schweiz im internationalen Vergleich (OECD-Durchschnitt 2007: 37,3 Prozent) vorher sehr geringe Hochschulabschlussquote anzuheben (Schweiz 2007: 29,8 Prozent).

Die Fachhochschulen fordern jetzt auch das Promotionsrecht. Gibt es da in Zukunft eine Konvergenz mit den Universitäten?

CRIBLEZ: Wenn man die internationale Entwicklung seit den 1960er-Jahren ansieht: Ja, der Hochschulstatus dürfte früher oder später

auch zum Promotions- und Habilitationsrecht an Fachhochschulen und Pädagogischen Hochschulen führen; das sind Entwicklungsprozesse, die in ganz Europa ähnlich verlaufen. Die Fachhochschulen und die Pädagogischen Hochschulen sind meines Erachtens aber von der Qualifizierung des Personals her noch nicht so weit. Apropos Verleihung akademischer Titel: Mit der Bologna-Reform ist ein neues Schnittstellenproblem entstanden: Die Frage der Zulassung zum Master-Studium in einem Bildungssystem mit unterschiedlichen Hochschul-«Typen» ist im Bologna-Prozess wohl unterschätzt worden.

In Ihrem Buch heben Sie einerseits den Trend zur Internationalisierung des Bildungssystems hervor, andererseits denjenigen zur zunehmenden Autonomie einzelner Bildungsinstitutionen.

UZH News

Täglich online:
Neuigkeiten und Hintergründe
aus Forschung und Lehre
von der grössten Universität der Schweiz.

www.uzh.ch/news

Nichts verpassen mit dem Newsletter:

www.uzh.ch/news/subscribe.html



Universität Zürich



Was sind letztlich die Konsequenzen dieser Entwicklungen?

CRIBLEZ: Die Internationalisierung führt dazu, dass Bund und Kantone nicht mehr völlig autonom bestimmen können, wie sie ihre Bildungssysteme organisieren wollen. Die Kantone verlieren einen Teil ihrer traditionellen Steuerungsmacht. Auch der Kanton Zürich kann heute seine Universität nicht mehr ungeachtet dessen organisieren und führen, was das entsprechende Bundesgesetz besagt und welche Strategien die Universitätskonferenz und die Schweizer Rektorenkonferenz etablieren. Die Internationalisierung führt also zu stärkerer Regelung der Bildungssysteme auf interkantonalen und nationaler Ebene. Ein Teil der kantonalen Definitionsmacht ist zudem verloren gegangen, weil mehr Entscheidungskompetenzen an die Bildungsinstitutionen übertragen worden sind. Die Bedeutung dieser Entwick-

lungen für die Bildungspolitik der Kantone, insbesondere der kleinen und mittleren Kantone, wird erst allmählich deutlich werden. Sicher sind Internationalisierung und Autonomisierung zwei Zentrifugalkräfte, die die bildungspolitische Position der Kantone relativieren. Die Frage ist, wie die Kantone auf diese Entwicklung reagieren werden. Das Projekt Bildungsraum Nordwestschweiz beispielsweise verfolgt eine Regionalisierungsstrategie. Es geht meiner Meinung nach in die richtige Richtung, weil es den kleinräumigen Bildungsföderalismus zu überwinden versucht.

ZUR PERSON

Lucien Criblez ist Ausserordentlicher Professor für Pädagogik mit Schwerpunkt Historische Bildungsforschung und Steuerung des Bildungssystems an der Universität Zürich. Zurzeit führt er unter anderem ein Nationalfondsprojekt zur Schweizer Lehrerbildungsreform seit 1990 in Zusammenarbeit mit der Pädagogischen Hochschule FHNW durch, in dem die bildungspolitische Dynamik zwischen kantonaler Reform und interkantonalen Koordination untersucht wird. Schwerpunktmässig beschäftigt er sich mit Bildungsgeschichte und Analysen der Bildungspolitik seit 1950.

LITERATUR Lucien Criblez (Hg.): *Bildungsraum Schweiz. Historische Entwicklungen und aktuelle Herausforderungen*, Haupt Verlag 2008



Weltweit Geld abheben mit der PostFinance Card.

Studieren Sie nicht, wenns ums Konto geht

Jetzt per Gratis-SMS: **KONTOAUF** an **8181**

Besser begleitet.

PostFinance
DIE POST

IM DSCHUNGEL DER GEFÜHLE

Menschen sind Gefühlswesen. Eine aufwendig gemachte und sinnlich gestaltete Publikation des Collegium Helveticum gibt nun spannende Einblicke in die Wissenschaft der Gefühle und darüber hinaus. Von Maurus Immoos

Mögen Sie Bücher oder sind Sie eher der Internet-Typ? Falls ersteres zutrifft, dann wagen Sie einen Blick in das jüngste Werk des Collegium Helveticum, denn dabei handelt es sich nicht um eine lieblos präsentierte digitale Buchstabensuppe, sondern um ein 500 Seiten starkes, aufwendig gemachtes Buch. Selbst der Schutzumschlag fordert die Sinne heraus. In blankem Weiss gehalten, offenbart er bei genauerem Betrachten, oder besser gesagt bei genauerem Ertasten, einen reliefartigen Schriftzug, der folgende Zeilen zu Tage fördert: «Wer immer Sie jedoch sind oder sein mögen, es freute mich ausserordentlich, hätte ich in Ihnen jemanden gefunden, der von diesem Dossier «Gefühle zeigen. Manifestationsformen emotionaler Prozesse» ebenfalls Kenntnis hat.» Quasi eine Einladung, den Wälzer endlich in Angriff zu nehmen.

BLICK ÜBER DEN TELLERRAND

Doch was in aller Welt wissen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler denn mit Gefühlen anzufangen? Ist ihr Metier nicht vielmehr das emotionslos Rationale? Nicht wenn sie am Collegium Helveticum arbeiten, müsste die Antwort wohl lauten. Das Collegium versteht sich als eine Institution, die den Dialog zwischen den Wissenschaften sucht und vor allem auch transdisziplinäre Ansätze fördert. Im Gegensatz zu rein interdisziplinärer Forschung, die versucht, Methoden und Denkansätze verschiedener wissenschaftlicher Fachrichtungen zu integrieren, bedeutet Transdisziplinarität, über den Tellerrand der Wissenschaften hinauszuschauen und andere gesellschaftliche Akteure in den Forschungsprozess miteinzubeziehen. So auch in dieser Publikation geschehen, denn nicht nur Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Couleur, sondern auch Vertreterinnen und Vertreter aus bildender Kunst, Musik, Theater und Tanz ver-

binden gekonnt das vermeintliche Gegensatzpaar Wissenschaft und Gefühl – differenziert, durchaus farbig und nuanciert.

Die Transdisziplinarität schlägt sich auch in der Gestaltung des Buches nieder. So sind die einzelnen Artikel jeweils durch schwarze, aus dünnem Seidenpapier bestehende Einlageblätter getrennt, die zudem leicht über den oberen und seitlichen Buchrand herausragen. Diese Einlageblätter stellen nicht nur eine hilfreiche Wegmarke für die Leser, sie versinnbildlichen auch, dass Transdisziplinarität nicht per se bedeutet, einem universellen theoretischen Einheitsprinzip zu folgen, sondern dass multiperspektivische Ansichten getrennt nebeneinander existieren können.

Trotz der unterschiedlichen Herangehensweisen der Autoren lassen sich bei der Lektüre Gemeinsamkeiten entdecken. So werden der Umgang mit Gefühlen sowie deren Manifestationsformen in allen Beiträgen nicht einfach als anthropologisch gegebene Tatsache beschrieben, sondern auch als soziokulturell geformt verstanden. Die Sozialen Neurowissenschaften gehen beispielsweise davon aus, dass das Gehirn nicht mehr allein als «isoliertes Forschungsobjekt» betrachtet werden kann, sondern in einen sozialen Kontext eingebettet werden muss. Ihre Untersuchungen befassen sich primär mit sozialen Entscheidungsprozessen und deren Verarbeitung im Gehirn. Bei Liebespaaren konnte man dabei mittels Magnetresonanzuntersuchungen zeigen, dass ein gegenseitiges Empathieverständnis auch im Hirn lokalisiert werden kann. Was bisher vernachlässigt wurde, sind Langzeitstudien, die aufzeigen könnten, inwiefern Empathie erlernbar ist und wie sich die neuronalen Prozesse aufgrund dieses Lerneffekts verändern. Ein anderer Beitrag befasst sich mit der Frage nach dem emotionalen Ausdruck. Ausgehend von der Annahme, dass

Gefühle zwar über die Gesichtszüge wiedergegeben, Gefühlsregungen aber auch bewusst manipuliert und kontrolliert werden, stellen die Autoren die Frage, welche Aspekte der Emotionen sich denn tatsächlich im Gesichtsausdruck widerspiegeln. Jeder kennt das Gefühl, welchen Energieaufwands es bedarf, bei einem schlechten Witz ein Anstandslächeln zustande zu bringen, doch niemand weiss genau, wie das zentrale Nervensystem sich bei solch einem aufgesetzten Lächeln verhält. Diesen Regulations- und Kontrollmechanismen kommt die Wissenschaft aber immer mehr auf die Spur.

MÄNNLICHE ARROGANZ

Geradezu paradox mutet es an, wenn man sich als westlich geprägtes Gemüt dem Nō-Spiel hingibt. Bei dieser traditionellen japanischen Theaterform wird eben gerade auf den individuellen Gesichtsausdruck des Schauspielers verzichtet, indem er eine Holzmaske vor dem Gesicht trägt. Diese Masken sind jedoch so geschickt geschnitzt, dass je nach Bewegung des Schauspielers verschiedene Gefühlsstimmungen zum Ausdruck kommen.

Ein weiteres Beispiel dafür, dass unser Denken über die Verortung von Gefühlen soziokulturellen Mustern unterworfen ist, zeigen die Ansichten über das weibliche Gehirn. Bereits im 19. Jahrhundert lokalisierte man das Sprachzentrum in der linken Hirnhälfte. Intellektuelle und rationale Dominanz wurden damals mit der Sprache assoziiert, und demnach war diese Hirnhälfte fortan männlich konnotiert. Heute dagegen wird diese Dominanz eher mit einer methodisch-analytischen Vorgehensweise in Verbindung gebracht, die jedoch in der rechten Hirnhälfte verortet ist. Die linke Hirnhälfte wurde an die Frauen abgetreten. Was die Frauen zu dieser Art von männlicher Arroganz sagen, dürfen Sie gerne selber nachlesen.

Gerd Folkers und Johannes Fehr (Hg.): *Gefühle zeigen*, Edition Collegium Helveticum Bd. 5, Chronos Verlag 2009, 496 Seiten, 48 Franken





GENERATIONEN DENKEN

Die Jugend ist respektlos und die Alten sind konservativ. An generationenspezifischen Vorurteilen hat es noch nie gemangelt. Schon Sokrates soll sich vor mehr als 2000 Jahren über die schlechten Manieren der Jugend beklagt haben. Das vom Zürcher Soziologen Marc Szydlík mit herausgegebene Buch «Generationen. Multidisziplinäre Perspektiven» vermag, mit einigen Vorurteilen zum Verhältnis von Jung und Alt aufzuräumen.

Der Pädagoge Helmut Fend zeigt darin auf, dass keineswegs von einem Wertezwischenfall der jungen Generation die Rede sein kann. Die Übermittlung von Werthaltungen in der Familie funktioniere erstaunlich gut, zwischen den Generationen sei weniger Konflikt als vielmehr Kontinuität zu finden. Von übertrieben dargestellten Konflikten berichtet auch Christoph Butterwegge. Er zeigt aus Sicht einer kritischen Politikwissenschaft, dass unter dem Schlagwort «Generationengerechtigkeit» heute Sparpolitik betrieben wird. Dass der Staat sich verschulde, um die Renten der Alten zu sichern, sei kein Drama. Schlimmer als die «Schuldenberge» sei für die jüngere Generation, wenn ihnen Sparmassnahmen im Bildungsbereich die Zukunftschancen verbauen.

Klischeierte Darstellungen älterer Menschen findet die Ethnologin Erdmute Alber auch im eigenen Fachgebiet. Weder das Bild der alten Patriarchen noch das der alten Weisen, die unter einem Schatten spendenden Baum sitzend Schiedssprüche von sich geben, werde der Realität gerecht. Das Verhältnis der Generationen sei in Afrika aufgrund von Modernisierung und Globalisierung massiven Veränderungen unterworfen. So leben etwa in den Städten Südgehanas immer mehr alte Menschen in den neuen Häusern ihrer Kinder, die sich auf den Weg nach Europa gemacht haben. *Adrian Ritter*

Harald Künemund, Marc Szydlík (Hg.): *Generationen. Multidisziplinäre Perspektiven*, VS Verlag für Sozialwissenschaften 2009, 252 Seiten, 41 Franken

WAHRHEIT KONSTRUIEREN

Wie eine Fototapete im wandfüllenden Grossformat präsentiert sich das Bild «Mountain Top» der beiden Schweizer Künstler Monica Studer und Christoph van der Berg. Zu sehen ist eine menschenlose Berglandschaft mit weissen Gipfeln, schroffen Felswänden und kargen Alpwiesen. Was auf den ersten Blick wie das authentische Abbild unberührter Natur in der Tradition der Alpenmalerei erscheint, ist letztlich nichts als Täuschung. Denn entstanden ist das Bild rein rechnerisch am Computer. Dem Spiel der Künstler mit unserer Wahrnehmung und der «Aussicht auf digitale Authentizität», so der Titel, ist ein Aufsatz im kürzlich erschienenen Band «Das Authentische. Referenzen und Repräsentationen» gewidmet, den die Zürcher Germanistin Ursula Amrein herausgegeben hat.

Seien es Fernsehbilder aus Kriegsgebieten, literaturkritische Diskussionen am Bildschirm oder Editionsfragen nach dem gültigen Text: «Was als authentisch qualifiziert wird, trägt das Siegel der Wahrheit, gilt als echt, steht ein für eine nicht hintergehbare Realität», schreibt die Herausgeberin. Im Sammelband beleuchten Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Disziplinen die Figur des Authentischen in unterschiedlichsten Konstellationen und Diskursen. Der Linguist Martin Luginbühl etwa untersucht im historischen Vergleich der CBS Evening News und der Schweizer Tagesschau sich verändernde Authentizitätsinszenierungen in Fernsehnachrichten. Der Historiker Andreas Schwab wiederum zeigt auf, wie Lebensreformer Anfang des 20. Jahrhunderts auf dem Monte Verità, dem Berg der Wahrheit oberhalb Ascona, nach dem unverfälschten Leben suchten. Auf demselben Tessiner Berg fand im Frühling 2006 auch der Kongress «Das Authentische. Zur Konstruktion der Wahrheit in der säkularen Welt» statt, der Anlass für den aktuellen Band war. *Roger Nickl*

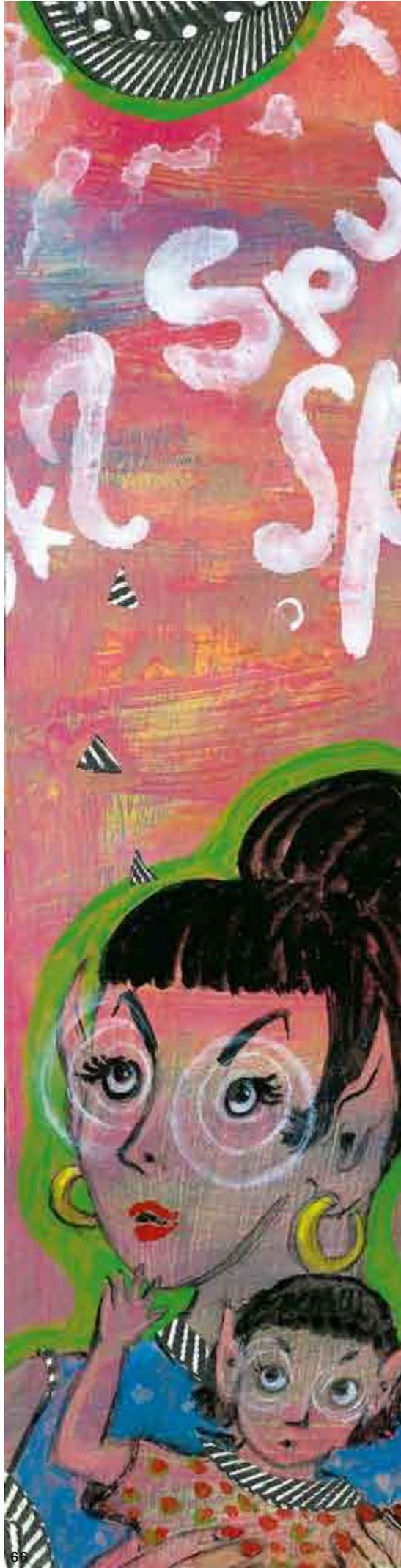
Ursula Amrein (Hg.): *Das Authentische. Referenzen und Repräsentationen*, Chronos Verlag 2009, 360 Seiten, 48 Franken

CHRONIK EINES NIEDERGANGS

Der Kanton Graubünden ist der einzige Schweizer Kanton mit drei autochthonen Landessprachen: Deutsch, Rätoromanisch und Italienisch. Die kleinste der drei, das Rätoromanische, ist ein Sorgenkind. Das belegt die jüngste Studie zur Sprachenproblematik im grössten Schweizer Kanton von Matthias Grünert, Mathias Piconi, Regula Cathomas und Thomas Gadmer, die das «Funktionieren der Dreisprachigkeit in Graubünden» untersucht haben. Die grosse Mehrheit der Bündnerinnen und Bündner spricht Deutsch: Im Jahr 2000 gaben mehr als 68 Prozent an, Deutsch sei ihre Hauptsprache; 14,5 Prozent nannten Rätoromanisch und gut 10 Prozent Italienisch. Obwohl die Zahl der Italienischsprechenden klein ist, ist die Position des Italienischen relativ komfortabel: Die drei grossen italienischsprachigen Gebiete Misox, Bergell und Puschlav haben direkten Anschluss an den italienischen Sprachraum; Italienisch verfügt über eine anerkannte Standardform und wird in Deutschbünden als erste Fremdsprache gelernt.

Ganz anders die Situation des Rätoromanischen, das kein grosses kulturelles Hinterland hat und in fünf Dialekte zerfällt. So dokumentiert die Studie einmal mehr den Niedergang der Sprache, der unaufhaltsam scheint. Das hat vor allem ökonomische Gründe: Selbst in den ehemaligen romanischen Stammlanden ist die «Brotssprache» Deutsch. In den Tourismusregionen gibt es viele Zuzüger, die nicht Romanisch sprechen und die peripheren romanischsprachigen Gebiete entvölkern sich, weil die Menschen anderswo ein Auskommen suchen. Hinzu kommt, dass Teile der rätoromanischen «Basis» der vom Zürcher Linguisten Heinrich Schmid geschaffenen Standardsprache «Rumantsch Grischun» nach wie vor skeptisch gegenüberstehen. *Thomas Gull*

Matthias Grünert, Mathias Piconi, Regula Cathomas, Thomas Gadmer: *Das Funktionieren der Dreisprachigkeit in Graubünden*, A. Francke Verlag 2008, 458 Seiten, 117 Franken



SCHLUSSPUNKT von *Simona Ryser*

MISS SPOCK

Als ich am Morgen vor dem Badezimmerspiegel stand und meine verformten Ohren entdeckte, schob ich das auf meine Müdigkeit ab. Kein Grund zur Beunruhigung, sagte ich mir, streckte meinen Kopf vor und untersuchte eifrig mein Gesicht nach weiteren Ungereimtheiten. Mit Daumen und Zeigefinger inspizierte ich Nase, Mund, Augen. Die Augenbrauen waren elegant nach oben geschwungen. Als meine Tochter fragte, was ich denn da tue, lachte ich laut auf. Natürlich tat ich nichts, nur mal genau hinsehen. Von nun an vermied ich vorerst den Spiegel und versuchte mich nicht zu fragen, ob meine Ohren schon gestern so seltsam gekrümmt gewesen waren und am Tag zuvor und überhaupt fiel mir auf, als ich ganz zufällig am Garderobenspiegel vorbeiging, dass sie auch etwas in die Länge gezogen waren. Eigentlich waren sie ziemlich spitzig.

Schnell holte ich die Familienfotos der ersten Tage hervor, und wirklich, es war eindeutig, meine Tochter hatte auch spitzige Ohren. Zumindest in den ersten Wochen nach der Geburt. Unterdessen hatte sich das aber wieder normalisiert, ein rundes Ohr. Mehr oder weniger. Ich verwarf den Gedanken. Nein, wir sind keine Ausserirdischen. Auch in der Verwandtschaft gab es keine solchen extraterrestrischen Wesen. Meines Wissens. Vielleicht müsste ich im Familienstammbaum nochmals nachschauen. Spot? Spuk? Spock? Wie hiess noch mal die Cousine der Urgrossmutter? Das war doch die mit den Antennen im Garten. Aber nein, ich verwarf meine Zweifel. Jedem kann das passieren. Spitzige Ohren. Man ist ja individuell gestaltet.

Ich warf mir den Regenmantel über (denn an diesem Tag regnete es besonders heftig) und verliess das Haus. Es fiel mir nicht auf,

dass meine Beine bei jedem Schritt quietschten. Faszinierend, das Geräusch, wenn die Knochen knackten. Und auch mein Blick war nur so, wie man es sich wünscht. Ich konnte jede noch so kleine Aufschrift problemlos entziffern. Sperberaugen. Faszinierend, dass ich durch die Leute hindurch sah, die mir entgegenkamen. Wohlgeordnete Eingeweide, schwimmende Organe, blubberndes Blut. Und als ich im Tram einige Stationen später wieder aussteigen sollte und es immer noch so stark regnete, beschloss ich, den Ort per Überlichtgeschwindigkeit zu wechseln. Ich liess den Raum in meinem Rücken sich exponentiell ausdehnen und denjenigen vor mir kollabieren. Schon sass ich an meinem Bürotisch. Faszinierend.

Die Arbeit erledigte sich dann gewissermassen selbst. Ich unternahm einfach eine Zeitreise in die Zukunft. Nachdem ich auf diese Weise ein paar Stunden eingesackt hatte, verliess ich mein Büro und machte mich auf den Heimweg, neugierig, in welche Richtung sich die Ohren meiner Tochter entwickelt haben. Und richtig, sie strebten nach oben wie zwei kleine Antennen. Der Kuss meines Holden hingegen liess mich seltsam kalt. Auch seine Bemerkung, ich wirke so fremdbestimmt, ich solle mir doch mal wieder was Gutes tun, vermochte mich nicht zu rühren.

An das Quietschen beim Gehen hat er sich unterdessen gewöhnt (andere haben Flatulenz!). Ich treffe mich nun öfters mit einer Gruppe von Leuten, die spitzige Ohren haben. Die meisten sehen die Welt mit Sperberaugen. Alle haben grünes Blut. Es werden immer mehr. Wir haben so unsere Pläne.

Simona Ryser ist Autorin und Sängerin.

X-treme Unlimited

Immer mehr MUSIC & unlimitierte SMS



1.-

Sony Ericsson W705

X-treme Unlimited/24 Monate
Unlimitierte SMS inklusive

Ohne Preisplan 399.-

Orange Young
gratis
telefonieren
am Abend + am Wochenende

Inkl. MwSt. Gültig bei Neuabschluss von X-treme Unlimited für 24 Mt., CHF 29.-/Mt. Exkl. SIM-Karte CHF 40.-. Nur solange Vorrat. Bei mehr als 3000 SMS pro Monat behält sich Orange vor, den Versand von SMS einzuschränken. Gratis-Option Orange Young: für alle unter 27 und Studenten. Mehr Infos unter orange.ch/x-treme

orange™

FLYER

Swiss Innovation in Mobility

Erleben Sie die neue Freiheit ... mit dem original Schweizer Elektrovélo FLYER



Tag der offenen Tür
im neuen FLYER-Werk
in Huttwil / BE
12.+13. Sept. 09



Ich interessiere mich für:

- FLYER Produktkatalog
- FLYER-Land Schweiz Karte
- Gratis Probefahr-Gutschein (Wert CHF 45.-)

Name Vorname

Strasse

PLZ Ort

E-Mail Telefonnummer

Einschalten, aufsitzen, losfahren – und genussvoll mit einem Lächeln auf den Lippen über Berg und Tal flitzen. Sie treten in die Pedale und der lautlose Elektromotor verstärkt Ihre eigene Muskelkraft um maximal 150%. Die Reichweite beträgt bis 80 km mit einem Akku. Für die Einen ist das einfach eine genussvolle Art Rad zu fahren, für Andere ermöglicht der FLYER Touren mit Partner, Familie und Freunden, die mit dem «normalen» Rad nicht möglich wären.



Neues FLYER-Werk in Huttwil ist bezogen

Um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden, hat FLYER in eine neue Produktionsstätte und einen neuen Firmensitz in Huttwil, Emmental investiert.

Interessiert an einer Werksbesichtigung? www.flyer.ch