

Die Geburt der Welt

Flexible Hülle

Ruhestand, das war einmal

Vom Gutsein



Die Ästhetik des Anfangs: Kulturschätze aus Ninive, ausgestellt im British Museum, London. Foto: Marc Steinmetz/VISUM

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

immer weiter scheint der Islamische Staat sein Terrorregime festigen zu können, der Westen erlebt diesen Zivilisationsbruch nicht zuletzt als Paradox: Das archaisch anmutende Gesellschaftsverständnis der Dschihadisten ist gepaart mit einer hochmodernen Medienstrategie, die weltweit verfängt, berichtet LMU-Islamwissenschaftler David Arn. Dabei inszeniert der IS neben perfiden Morden in letzter Zeit auch gezielte Akte kultureller Barbarei für eine globale Öffentlichkeit. Arn spricht von einem „bewussten Angriff auf die westliche Psyche“, wenn der IS mit Sprengstoff, Bulldozern und Pressluft-hämmern universelles Kulturerbe etwa an den Grabungsstätten von Ninive und Nimrud zerstört.

So gesehen bilden die Arbeiten Karen Radners ein Gegenstück zu Arns aktuellen Analysen: Die Althistorikerin erforscht die Geschichte dieser Kulturzeugnisse von ihrem Anfang her. Sie berichtet von der frühen Hochkultur des Neuassyrischen Reiches, in dem das erste

Imperium der Weltgeschichte Gestalt annahm. Die Städte Ninive und Nimrud gehörten zu seinen Zentren.

Überhaupt ist diese *Einsichten*-Ausgabe ein Heft über die Gestalt des Anfangs. Der Schwerpunkt „Die Geburt der Welt“ spannt den Bogen vom Urknall bis zum Ursprung des Monotheismus. Die Physiker Ralf Bender und Viatcheslav Mukhanov skizzieren, wie sich das Universum in Jahrmilliarden entwickelte. Astrophysikerin Barbara Ecolano erforscht die Planetenentstehung und Biophysiker Dieter Braun rekonstruiert, wie sich aus toter Materie die ersten Biomoleküle bilden konnten. Geobiologe Gert Wörheide untersucht am Beispiel der Schwämme, wie der Stammbaum der Tiere wuchs. Der Zellbiologe Michael Kiebler analysiert die molekularen Grundlagen des Lernens und Anthropologe Wolfgang Enard die Evolution des menschlichen Sprechapparates. Der Theologe Friedhelm Hartenstein schließlich zeichnet nach, wie der eine Gott in die Welt kam.

Eine anregende Lektüre
wünscht Ihnen
Ihre *Einsichten*-Redaktion

Inhalt



Schwerpunkt: Die Geburt der Welt

16



Vom Ursprung des Lebens

29

- 6 **Aktuelles aus der Forschung**
Digitale Sinnsuche ■ Unterhaltung mit: David Arn über die Propaganda des Islamischen Staates ■ Meldungen

Schwerpunkt: Die Geburt der Welt

- 18 **Die unendliche Geschichte**
Was geschah in den letzten 13,8 Milliarden Jahren?
Die Entstehung des Universums im Schnelldurchlauf
- 25 **Globus aus der Scheibe**
Der Blaue und viele andere Planeten – wie sie sich in einer Wolke aus Gas und Staub bildeten
- 29 **Das Starterkit des Lebens**
Chemische Evolution: Aus toter Materie setzten sich erste informationstragende Moleküle zusammen

- 34 **Einer Art Anfang**
Ursprüngliche Formen: An Schwämmen lässt sich rekonstruieren, wie die Stammesgeschichte immer neue Spezies hervorbrachte
- 39 **Der Hunger der Synapsen**
Das Gehirn ist eine Dauerbaustelle, ständig entstehen neue Verknüpfungen der Neuronen – die molekulare Basis des Lernens
- 44 **Selbstredend**
Eine einzigartige Fähigkeit unter den Tieren: Wie der Mensch im Lauf der Evolution das Sprechen lernte
- 48 **Die Räson des Reichs**
Die Geburt des Imperiums: An den Ufern des Tigris entstand vor rund 3000 Jahren der frühe Prototyp der Weltmacht



Wie der Mensch das Sprechen lernte

44



Experimente zur Genregulation: Botschaft der Verpackung 58

- 54 **Der Gott aus dem Exil**
Der Glaube an den Einen – woher der Monotheismus kommt
- 58 **Flexible Hülle**
Mehr als nur ein Füllmaterial: Die Verpackung des Erbgutes spielt bei der Regulation der Genaktivität eine wichtige Rolle
- 64 **Ruhestand, das war einmal**
Neue Idealbilder, neue Zwänge – das Alter hat sich deutlich verändert: Nur wer aktiv ist, erfüllt die gesellschaftliche Norm
- 69 **Vom Gutsein**
Das moralische Verhalten im Experiment: Was macht den guten Menschen aus?

Rubriken

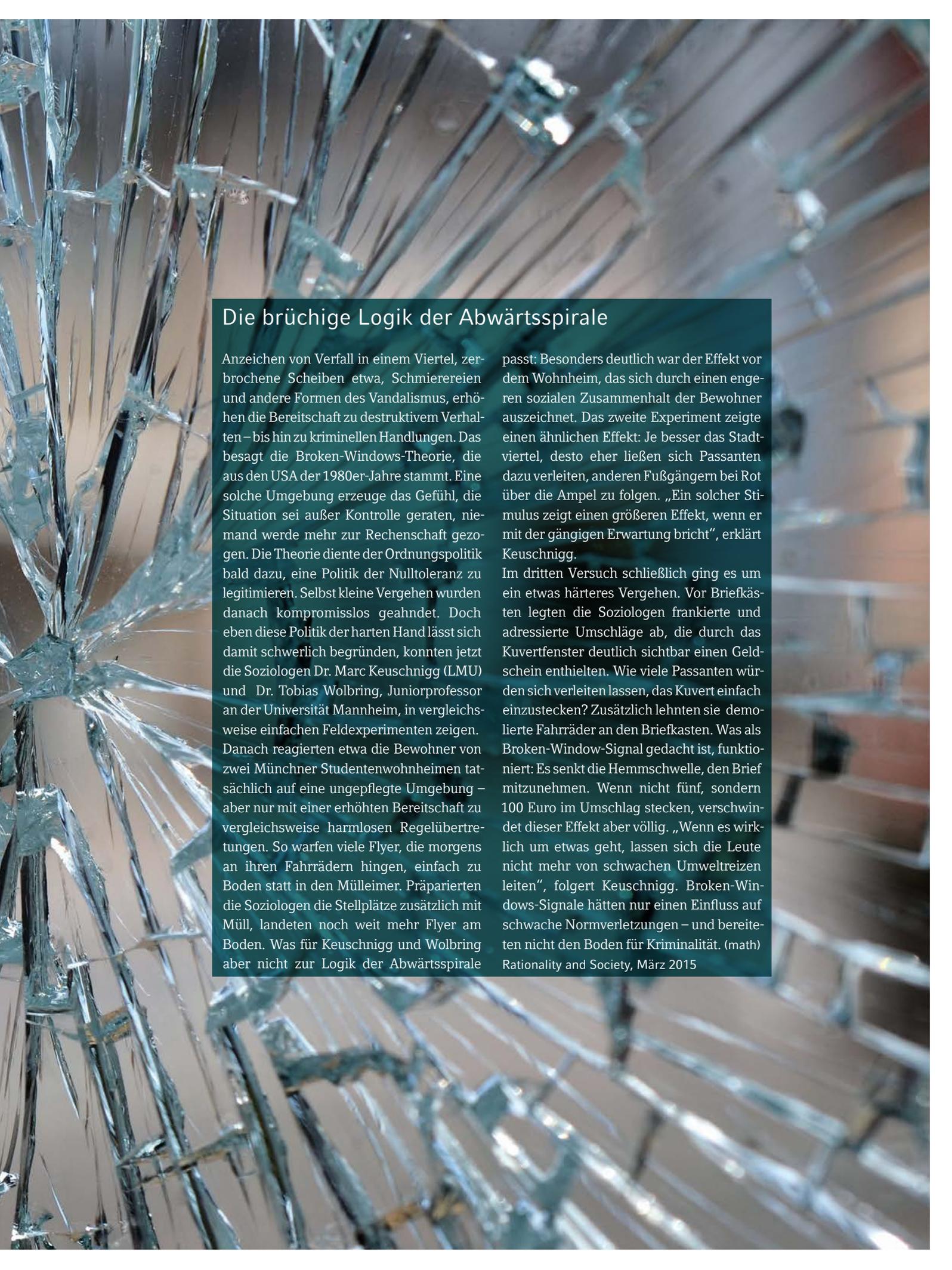
- 3 **Editorial**
- 74 **Büchertisch**
Neues vom Soziologen Armin Nassehi und dem Historiker Andreas Wirsching: Vom überkommenen Links-Rechts-Schema und der Globalisierung des modernen Europas
- 76 **Die Zukunftsfrage**
Wie kommen wir zu besseren Wetterprognosen?
- 76 **Impressum**

Titelbild: Die Erde geht auf – Blick aus der Apollo 8, Heiligabend 1968. Foto: NASA/SPL/Picture Alliance



Aktuelles aus der Forschung

Eine Bushaltestelle, irgendwo in
Deutschland. Foto: Imagebroker/nhm



Die brüchige Logik der Abwärtsspirale

Anzeichen von Verfall in einem Viertel, zerbrochene Scheiben etwa, Schmierereien und andere Formen des Vandalismus, erhöhen die Bereitschaft zu destruktivem Verhalten – bis hin zu kriminellen Handlungen. Das besagt die Broken-Windows-Theorie, die aus den USA der 1980er-Jahre stammt. Eine solche Umgebung erzeuge das Gefühl, die Situation sei außer Kontrolle geraten, niemand werde mehr zur Rechenschaft gezogen. Die Theorie diene der Ordnungspolitik bald dazu, eine Politik der Nulltoleranz zu legitimieren. Selbst kleine Vergehen wurden danach kompromisslos geahndet. Doch eben diese Politik der harten Hand lässt sich damit schwerlich begründen, konnten jetzt die Soziologen Dr. Marc Keuschnigg (LMU) und Dr. Tobias Wolbring, Juniorprofessor an der Universität Mannheim, in vergleichsweise einfachen Feldexperimenten zeigen. Danach reagierten etwa die Bewohner von zwei Münchner Studentenwohnheimen tatsächlich auf eine ungepflegte Umgebung – aber nur mit einer erhöhten Bereitschaft zu vergleichsweise harmlosen Regelübertretungen. So warfen viele Flyer, die morgens an ihren Fahrrädern hingen, einfach zu Boden statt in den Mülleimer. Präparierten die Soziologen die Stellplätze zusätzlich mit Müll, landeten noch weit mehr Flyer am Boden. Was für Keuschnigg und Wolbring

passt: Besonders deutlich war der Effekt vor dem Wohnheim, das sich durch einen engen sozialen Zusammenhalt der Bewohner auszeichnet. Das zweite Experiment zeigte einen ähnlichen Effekt: Je besser das Stadtviertel, desto eher ließen sich Passanten dazu verleiten, anderen Fußgängern bei Rot über die Ampel zu folgen. „Ein solcher Stimulus zeigt einen größeren Effekt, wenn er mit der gängigen Erwartung bricht“, erklärt Keuschnigg.

Im dritten Versuch schließlich ging es um ein etwas härteres Vergehen. Vor Briefkästen legten die Soziologen frankierte und adressierte Umschläge ab, die durch das Kuvertfenster deutlich sichtbar einen Geldschein enthielten. Wie viele Passanten würden sich verleiten lassen, das Kuvert einfach einzustecken? Zusätzlich lehnten sie demolierte Fahrräder an den Briefkästen. Was als Broken-Window-Signal gedacht ist, funktioniert: Es senkt die Hemmschwelle, den Brief mitzunehmen. Wenn nicht fünf, sondern 100 Euro im Umschlag stecken, verschwindet dieser Effekt aber völlig. „Wenn es wirklich um etwas geht, lassen sich die Leute nicht mehr von schwachen Umweltreizen leiten“, folgert Keuschnigg. Broken-Windows-Signale hätten nur einen Einfluss auf schwache Normverletzungen – und bereiten nicht den Boden für Kriminalität. (math) Rationality and Society, März 2015

Digitale Sinnsuche



Übersetzen in Zukunft besser automatisch? Alexander Fraser will Maschinen gleichsam die richtige Wortwahl beibringen. Foto: Reeg/Agentur Focus

Wenn Maschinen Texte übersetzen, ist das Resultat oft eher lustig als richtig. Der Computerlinguist Alexander Fraser arbeitet daran, dass sie einschätzen lernen, welche der möglichen Wortbedeutungen jeweils die wahrscheinlich richtige in einem Satz ist.

Man kann sich einmal einen Spaß machen und folgenden einfachen Satz bei Google Translate eingeben, um ihn übersetzen zu lassen: „Die Bank nahe der Bank hat geschlossen.“ Das Programm im Internet bietet an: „The bench near the bank has closed.“ Was bedeutet, dass die Sitzbank geschlossen hat. Wer es dann mit einer Alternative versucht, staunt ebenfalls: „Die Bank nahe dem Flussufer hat geschlossen“ wird zu: „The bench near the river bank has closed.“ Alexander Fraser lächelt angesichts solcher Beispiele, weil sie genau die Herausforderungen seiner Fachdisziplin erläutern. „Bank hat sowohl im Deutschen wie im Englischen

verschiedene Bedeutungen, es ist für Programme eine Herausforderung, den richtigen Sinn zu erkennen“, erklärt der amerikanische Computerlinguist, ein Spezialist für automatische Übersetzungen. Eines der populärsten Programme dieser Art bietet derzeit Google an. Es arbeitet mit einem Verfahren, das auch Fraser verwendet, dem sogenannten „statistischen maschinellen Übersetzen“ (SMT), einem Verfahren, das mithilfe statistikbasierter Regeln selbst übersetzen lernen kann. Es ist erstaunlich, was solche Programme schon beherrschen, doch vielfach sind die Übersetzungen eher kurios. Wenn man Wort für Wort einen Text

überträgt, aber den Sinn nicht versteht, ist das Ergebnis oft eher lustig als richtig. Aus mehreren möglichen Bedeutungen einzelner Worte oder Satzkonstruktionen die richtige herauszufiltern, ist eine der großen Herausforderungen beim maschinellen Übersetzen. „Wir arbeiten daran, die Übersetzungsqualität schrittweise zu steigern“, sagt Fraser, der seit zwei Jahren eine Arbeitsgruppe am Centrum für Informations- und Sprachverarbeitung der LMU leitet und nun vom Europäischen Forschungsrat, kurz ERC, mit einem hochdotierten Starting Grant ausgezeichnet wurde. Anders als Google arbeitet Fraser mit einer reicheren linguistischen Struktur. Das bedeutet, dass er eine sprachspezifische Analyse vornimmt, sich also um Besonderheiten und Eigenwilligkeiten der jeweiligen Sprache kümmert. Google verwendet hier ein einziges System für hundert verschiedene Sprachen. Fraser passt sein Programm an das jeweilige Sprachpaar an. Er glaubt, dass sich dieser linguistische Zusatzaufwand lohnt, besonders wenn man in morphologisch reiche, also komplizierte Sprachen wie das Deutsche übersetzen möchte. „Deutsch ist eine der schwierigsten Zielsprachen“, sagt der Informatiker, der selbst neben seiner Muttersprache fließend Deutsch, Französisch, Spanisch und Arabisch spricht. So müsse man etwa die möglichen Satzstrukturen begreifen, also nicht nur den klassischen Fall Subjekt-Prädikat-Objekt, sondern auch – gerade im Deutschen gern verwendete – Alternativen wie Objekt-Prädikat-Subjekt. Für einen geschulten Übersetzer sind solche Herausforderungen einfach zu bewältigen. Nicht so für ein Programm: Verneinungen, bestimmte oder unbestimmte Pronomen, zusammengesetzte Wörter oder sogenannte Portmanteau-Wörter wie Smog oder Grexit, die neu aus zwei erst einmal nicht identifizierbaren Wörtern gebildet werden, machen den maschinellen Übersetzungsprogrammen Probleme. Ebenso gehen beim Übersetzen manchmal Verben verloren. Deshalb muss man die Systeme intensiv trainieren, was enorm viel Rechenleistung bean-

sprucht. Um die Qualität zu verbessern, entwickeln die Computerlinguisten neue Tools, die an schon bekannten Übersetzungen geschult und auf bestimmte Fragestellungen spezialisiert sind. Die Programme müssen am Ende nicht nur einen großen Wortschatz haben, sondern auch die vom Kontext in einem Satz abhängige Bedeutung erkennen. Bislang arbeiteten Übersetzungsprogramme oft mit parallelen Textkörpern in den jeweiligen Sprachen. Computerlinguisten verfassen per Hand unzählige Regeln, um dem Computer zu erklären, wie er übersetzen soll. „Bei Fehlern musste man die Regeln ändern oder neue Regeln ergänzen“, erklärt Fraser. Das war extrem aufwendig. Frasers Ansatz basiert eher auf einem statistischen Modell. Jede mögliche Übersetzung wird mit einer Wahrscheinlichkeit versehen, die das Programm errechnet. Zunächst ist jede denkbare Variante zugelassen, aber nicht gleich wahrscheinlich, weil sie in den Vergleichstexten so gar nicht oder nur selten vorkommt. Mit jedem neuen Wort im Satz kommen neue Übersetzungsvarianten hinzu, gleichzeitig lassen sich immer mehr unsinnige Übersetzungen ausschließen. Am Ende steht die wahrscheinlichste Übersetzung. Es ist, als würde man sich langsam den richtigen Pfad durch die fremde Wortwüste suchen. „So suchen wir die beste verfügbare Lösung“, sagt Fraser. Dies sei auch der Unterschied zu regelbasierten Systemen, die eher eine Gewissheit suggerieren. „Wir machen nichts perfekt“, sagt Fraser. „Bei Übersetzungen bleiben immer Wahrscheinlichkeiten, wenn man nicht gerade ein göttliches Wesen ist.“ All diese Übersetzungen basieren darauf, dass das Programm bereits zwischen zwei Sprachen übersetzte Texte vorliegen hat, anhand derer es trainieren kann. Die Qualität der Übersetzung ist stark von der vorhandenen Textfülle in einem Bereich abhängig. „Für uns Computerlinguisten sind hier die routinemäßigen Übersetzungen der Europäischen Union mit ihren vielen Sprachen ein Glücksfall“, sagt Fraser. „SMT kann in der Regel nur das in eine andere Sprache

übersetzen, was es bereits kennt.“ Auch offizielle Übersetzungen in Staaten mit mehreren Amtssprachen wie der Schweiz oder Kanada liefern Trainingsmaterial, also Text und Übersetzung, ebenso internationale Organisationen wie die UN.

Der Computerlinguist versucht in zwei aktuellen Projekten, die Grenzen der Anwendungen zu erweitern. Sein ERC-Projekt geht dabei eher grundlagenorientiert vor und versucht, neue technische Werkzeuge zu entwickeln. „Health in my Language“ (HimL) ist praxisbezogener. HimL ist ein Projekt des CIS zusammen mit dem schottischen Gesundheitsdienst NSH24 und dem Cochrane-Institut, einem internationalen Netzwerk von Forschern und Ärzten, das die wissenschaftlichen Grundlagen für Entscheidungen im Gesundheitssystem verbessern will. „Mit unserem neuen Ansatz wird es möglich sein, Übersetzungen auch dann zu ermöglichen, wenn es wenig parallelen Text gibt“, sagt Fraser. Im medizinischen Bereich war die vorhandene Textfülle bisher eher dürftig. In dem Projekt geht es vor allem erst einmal um einfache Hilfestellungen für ausländische Bürger, wo man etwa den passenden Arzt findet.

Obwohl das maschinelle Übersetzen immer besser werde, glaubt Fraser nicht, dass es menschliche Übersetzer ablösen wird. „Aber die Programme können die langweiligen Routine-Übersetzungen übernehmen“, sagt er. Zudem könnten die Tools auch professionelle Übersetzer unterstützen und deren Aufwand reduzieren. Die vielschichtigen literarischen Übersetzungen aber werden auch künftig von Menschen gestaltet.

(Hubert Filser)

Dr. Alexander Fraser

leitet seit 2013 eine Arbeitsgruppe für maschinelles Übersetzen am Centrum für Informations- und Sprachverarbeitung (CIS) der LMU. Im Jahre 2015 zeichnete ihn der Europäische Forschungsrat (ERC) mit einem seiner hochdotierten Starting Grants aus.

Unterhaltung mit: David Arn



Salafismus in Deutschland? „Das hat für mich viel mit einer neuen Form jugendlicher Protestkultur zu tun“, sagt Islamwissenschaftler David Arn. Foto: LMU

„Angriff auf die westliche Psyche“

Hinrichtungen in Slow Motion, hypnotisierende Soundtracks, virale Verbreitung: Der Islamwissenschaftler David Arn untersucht die moderne und ausgeklügelte Medienstrategie des Islamischen Staats und die Mechanismen, mit denen sie verfangt.

Der IS dokumentiert seine Gräueltaten mit Videos, die im Internet kursieren. Warum?

Arn: Der Islamische Staat verfolgt eine äußerst ausgeklügelte Medienstrategie. Ein wichtiges Ziel ist die Einschüchterung des Gegners – im Westen, aber vor allem lokal und regional. Bevor der IS die Stadt Mossul einnahm, hat er Sicherheitskräfte wie Zivilisten gezielt mit Bildern von grausamen Hinrichtungsszenen konfrontiert, um sie einzuschüchtern und vom Kampf abzuhal-

ten. Zu Beginn des syrischen Aufstands, ab 2011, waren die Videos zudem ein wichtiges Element, um sich potenziellen Geldgebern zu präsentieren. Der IS hat sich von Anfang an durch seine wesentlich professionellere Medienproduktion von anderen dschihadistischen Gruppierungen abgehoben. Die Medien dienen außerdem der Rekrutierung von Anhängern – wenn auch diese Wirkung in der Forschung umstritten ist.

Hat der IS mit seiner Strategie Erfolg?

Arn: Die größte Breitenwirkung erreicht der IS durch die Berichterstattung der internationalen Medien. Seine Bekanntheit übertrifft bei Weitem die reine Manpower und den Einfluss in der Region. Das hat stark zur Ausbreitung des IS-Machtgebiets beigetragen. Al Qaida hatte früher noch gezielt Videos an al-Jazeera geschickt, und die westlichen Medien haben das dort ausgestrahlte Material weiterverbreitet. Der IS verlässt sich darauf, dass seine Videos und Bilder, die im Internet relativ frei kursieren, von den westlichen Medien aktiv gesucht und weiterverbreitet werden. Das ist bewusst kalkuliert.

Was hat der IS von Al Qaida übernommen?

Arn: Alle zentralen Bestandteile der IS-Videos wie etwa Nahaufnahmen der Bombenanschläge, Bekenntnisse der Selbstmordattentäter oder die Bildsprache insgesamt sind bereits von Al Qaida entwickelt worden. Al Qaida wollte jedoch die muslimische Öffentlichkeit nicht mit zu brutalen Bildern verschrecken, während der IS von Anfang an auf extreme Grausamkeit gesetzt und ihre Darstellung auf äußerst dynamische Action getrimmt hat. Natürlich ist die Technologie heute fortschrittlicher, aber der IS nutzt sie auch viel geschickter und zielgerichteter als Al Qaida. Die IS-Videos übertreffen in der Inszenierung von Gewalt sogar Hollywood-Blockbuster: So werden zum Beispiel Explosionen in Slow Motion gezeigt oder die Gesichter der Todgeweihten in verstörender Nahaufnahme. Die Filme zielen

stark auf die Emotionen der Zuschauer ab. Diese brutalen Gewaltszenen werden psychologisch geschickt mit a-cappella-artigen Liedern, nasheeds, untermalt, die eine eigenartige betäubende Wirkung auf den Zuschauer entfalten.

Sie meinen, es ist eine Art Gehirnwäsche?

Arn: Diese Lieder haben eine sublimierende, transzendierende Wirkung, die schwer zu beschreiben ist. Die Brutalität der Gewalt wird durch die harmonischen Gesänge gewissermaßen gemildert.

Beschäftigt der IS also auch Psychologen?

Arn: Das ist schwierig zu sagen. Der IS ist wohl gegen Psychologie als medizinisches Fach. Aber die wichtigsten Hintermänner sind ja mehrheitlich ehemalige irakische Geheimdienst- oder Armeeeoffiziere, die sehr viel Erfahrung auch in psychologischer Kriegsführung haben.

Auch Bilder der Zerstörung archäologischer Ausgrabungsstätten durch den IS wurden in westlichen Medien gezeigt.

Arn: Vielleicht erinnern Sie sich an die Zerstörung der Buddha-Statuen durch die Taliban in Afghanistan im Jahr 2001. Der IS wusste, dass er die westliche Öffentlichkeit an einer sehr empfindlichen Stelle trifft, wenn er die Zerstörung von Kulturgütern inszeniert, die nicht nur für die irakische Geschichte wichtig sind. Es handelt sich um ein universelles Kulturerbe, was sich ja auch darin zeigt, dass solche Artefakte in westlichen Museen stehen. Seine Zerstörung ist ein ganz bewusstes Verletzen der westlichen Psyche und Identität. An sich wäre es lohnender gewesen, die Kulturgüter zu verkaufen, womit der IS in der Tat viel verdient. Natürlich passt es aber zu der salafistischen Ideologie, die nichts akzeptiert außer dem eigenen Islamverständnis und alle anderen kulturellen Zeugnisse zerstören möchte. Ein weiterer Aspekt ist, dass der Islamische Staat keine Staatsgrenzen akzeptiert. In einem Propagandafilm wird das Niederrei-

ßen der Grenze zwischen Irak und Syrien – festgelegt durch das Sykes-Picot-Abkommen – als Auflehnung gegen die vom Westen aufgezwungene Staatenordnung inszeniert.

Öffentlichkeitswirksam waren offenbar auch über das Internet verbreitete Fotos von IS-Kämpfern mit Kätzchen. Was war damit beabsichtigt?

Arn: Die Strategie des IS basiert nicht nur auf Gewalt, sondern auch auf einer Inszenierung des „ganz normalen“ Lebens der IS-Kämpfer – was vor allem der Rekrutie-

Auf Fotos: Kämpfer mit Kätzchen

rung neuer Anhänger dient. Die Kätzchenfotos beziehen sich auf Abu Huraira, einen Gefährten des Propheten Mohammed, der ein großer Katzenliebhaber gewesen sein soll. Insbesondere die westlichen Kämpfer haben bis vor ein paar Monaten weitgehend frei über Facebook und Twitter über ihr Leben im IS berichtet. Das ist ein zentraler Punkt in der Medienstrategie: Die IS-Kämpfer stellen sich als auserwählte Gemeinschaft von religiösen Brüdern (und Schwestern) dar, deren Leben sich jedoch keineswegs auf den Kampf beschränkt. Sie geben in den sozialen Medien viel Persönliches von sich preis und zeigen ihr alltägliches Leben im Islamischen Staat als „normale“ Bürger, denen es nicht an Komfort wie etwa westlichem Fast Food fehlt. Diese individuelle Ebene spielt eine zentrale Rolle bei der globalen Kommunikation mit Anhängern und Sympathisanten, die so in persönlichen Kontakt und Austausch mit dem IS treten können.

Wie ist die Medienproduktion organisiert?

Arn: Es gibt eine Art Medienministerium, dem vier Produktionsfirmen unterstehen, die die groben Narrative vorgeben und mit den modernsten technischen Mitteln ausgestattet sind, etwa mit hochauflösenden Kameras, Drohnen, modernsten Computern und der nötigen Software. Der zentrale Medienstab etwa besteht aus mehreren Personen, die unterschiedliche Positionen besetzen. Das Medienbüro al-Hayat etwa produziert Spielfilme und Online-Magazine in verschiedenen Sprachen – Englisch, Französisch, Russisch, Türkisch, Deutsch – für ein internationales Publikum. Hier spielt vermutlich der Deutsche Denis Cuspert, der sich zuvor erfolgreich als Gangsta-Rapper versucht hat, eine zentrale Rolle. Zudem hat jede der 16 Provinzen ein Medienbüro, um weitgehend unabhängig eigene Inhalte zu produzieren, wenn diese in letzter Zeit auch stärker zentral kontrolliert werden. Gezeigt werden zum Beispiel Kampfszenen an der Grenze und Hinrichtungen, in letzter Zeit zudem häufig die Durchführung von sogenannten hadd-Strafen wie Amputationen als Strafe für Diebstahl. Daneben wird aber auch über positive administrative Errungenschaften des IS wie das eigene Gesundheitswesen, verlässliche und effiziente Schiari-Gerichte oder Brotvergünstigungen berichtet. Die Professionalität der Medienstrategie hat stark zum Erfolg des IS im dschihadistischen Milieu beigetragen und ist von neu angeworbenen Gruppierungen wie etwa Boko Haram erfolgreich adaptiert worden.

Und wie werden die Videos verbreitet?

Arn: Dafür hat der IS von Anfang an auf verschiedene Online-Plattformen gesetzt – insbesondere aber auf sogenannte Ritter des Uploads oder Fanboys. Das sind über die ganze Welt verstreute Personen, die zum Dunstkreis des Dschihadismus zählen, ohne zwingend selbst Mitglied des IS zu sein. Sie kommunizieren mit IS-Mitgliedern und Sympathisanten und verbreiten deren Material in verschiedenen Netzwerken. Es gibt

Zehntausende von Accounts, wenn auch möglicherweise nicht so viele Personen, da einzelne mehrere Accounts haben können. Die internationale Gemeinschaft versucht vergeblich, diese dschihadistische Propaganda im Netz zu kontrollieren und zu löschen – Twitter etwa schließt wöchentlich unzählige Pro-IS-Accounts. Eine Kontrolle dieses Materials ist letztlich jedoch unmög-

Verbreitet über Zehntausende von Accounts

lich, da diese Verteiler das Material einfach über neue Accounts verbreiten.

Wie richtet sich der IS an die westliche „Zielgruppe“?

Arn: Videos, die die Enthauptung westlicher Geiseln zeigen, stammen in der Regel vom internationalen Medienbüro al-Hayat. Dieses produziert auch englische Propagandafilme sowie eine Anzahl von Hochglanzmagazinen in westlichen Sprachen. Darin werden die Leser mit Hinweis auf die Auswanderung des Propheten Mohammed von Mekka nach Medina selbst aufgefordert in den IS zu migrieren oder auch vor Ort für Befehle des IS bereitzustehen. Daneben gibt es etwa einen Reiseführer mit Tipps zu Reiserouten, zur Umgehung von Grenzkontrollen oder zu der benötigten Ausstattung – eine Art *Lonely Planet* für Dschihadisten. In der Regel sind die Medien für den Westen weniger grausam und bedienen andere Legitimationsstrategien als das arabische Material.

Warum gibt es diese inhaltlichen Unterschiede?

Arn: Eine Erklärung könnte sein, dass sich die Menschen im Nahen Osten in den ver-

gangenen Dekaden viel mehr an alltägliche Gewalt gewöhnt haben. Gewaltdarstellungen sind in arabischen Medien grundsätzlich weniger zensiert als im Westen. Im Westen wird jedoch häufig übersehen, dass sich der IS größte Mühe gibt, alle seine Gräueltaten religiös zu legitimieren. Die Gewalt wird eingebunden in die Gesamtnarrative des IS und meist als Reaktion auf Gewaltakte lokaler Regierungen oder etwa auf amerikanische Luftangriffe dargestellt. Entsprechend stehen – zweifelsfrei echte – Bilder der zivilen Opfer dieser Übergriffe oft im Zentrum. Im arabischen Raum wird vor allem die schiitische Unterdrückung – durch die schiitisch dominierte irakische Regierung wie durch die syrische Alewiten-Regierung – zur Rechtfertigung herangezogen. Für das internationale Publikum wird eher der Kampf gegen Unterdrücker und Tyrannen allgemein bemüht, wie ihn der „Arabische Frühling“ vorgegeben hat. Diese Strategie geht aber nicht immer auf: In der jordanischen Bevölkerung hat der IS seit der Ermordung des jordanischen Piloten Moaz al-Kassasbeh viel an Rückhalt verloren.

Die Ideologie des IS ist von einem westlichen Standpunkt aus rückwärtsgewandt – wie passt es damit zusammen, dass der IS moderne Medien nutzt?

Arn: Das ist ein Widerspruch des Dschihadismus und Salafismus überhaupt. Bereits Al Qaida hatte vorgemacht, wie man mit modernsten Mitteln eine angebliche hehre Urzeit heraufbeschwört. Aber allein die Suche nach einer solchen Urzeit ist ja ein modernes Phänomen.

Was wäre die richtige Antwort auf die Medienstrategie des IS?

Arn: Die Erfahrung mit Al Qaida zeigt: Je aktiver man das Bild- und Videomaterial bekämpft, desto größer wird dessen Anziehungskraft. Auf die Internetunternehmen wird zurzeit großer Druck zur strengeren Kontrolle der Inhalte ausgeübt, vor allem in Israel und Nordamerika. Würde diesen For-

derungen jedoch Folge geleistet, würde letztlich die Philosophie des freien Netzes insgesamt ausgehebelt. Ironischerweise wurde den Sozialen Medien zu Beginn des „Arabischen Frühlings“ ja noch ein inhärentes demokratisches Potenzial zugeschrieben. Sicher zu wenig thematisiert wird, dass gerade die Gewalt, die der IS medial verbreitet, anziehend sein kann. Für mich hat der Islamische Staat, überhaupt der Salafismus, gerade auch in Deutschland, viel mit einer neuen Form jugendlicher Protestkultur zu tun. Je mehr man ihn verteufelt, desto attraktiver wird er für junge Menschen, die auf möglichst krasse und einzigartige Erlebnisse aus sind. Der IS bietet heute in der westlichen liberalen Gesellschaft eine der wenigen Möglichkeiten, Tabus zu brechen. Man müsste diese Gewalt in einen anderen Kontext setzen, damit sie nicht mehr so attraktiv ist. Damit kann man aber nur erfolgreich sein, wenn man inhaltlich gegen diese Propaganda vorgeht, schlüssige Gegen-Narrative entwickelt. Die Gegenstrategie aber wie etwa das Online-Programm „Think Again – Turn Away“ der US-Regierung ist viel zu lahm, um auf Menschen zu wirken, die so von Gewaltvideos fasziniert sind.

Wie sollte die Presse auf das ständig neu bereitgestellte Bildmaterial reagieren?

Arn: Vielleicht kann man schlicht auf Ermüdungserscheinungen der internationalen Medien vertrauen. Diese Gewalt lässt sich nicht ewig toppen. Man dürfte diesen Bildern grundsätzlich nicht zu viel Beachtung schenken. Der Islamische Staat erreicht seine öffentliche Wirkung nicht so sehr durch die Gewaltakte an sich. Ausschlaggebend ist die Art, wie diese Gewalt inszeniert wird.

Interview: Nicola Holzapfel

Dr. des. David Arn leitet die Forschungsgruppe „Moderne Arabische Massenmedien“ am Institut für den Nahen und Mittleren Osten der LMU.



Arbeiten gegen die innere Uhr: Nachtschicht am Flughafen Frankfurt. Foto: Boris Roessler/dpa

Angepasste Schichtpläne mindern sozialen Jetlag

Wann ein Mensch am besten schläft, ist genetisch festgelegt: Ein Spätschläfer wandelt sich auch dann nicht zum Frühaufsteher, wenn ihn über Jahre jeden Morgen der Wecker aus dem Schlaf holt. Wer gegen seine innere Uhr leben muss, erleidet einen sozialen Jetlag, der natürliche Schlaf-Wach-Rhythmus ist gestört, sagt Till Roenneberg, Professor für Chronobiologie. Auf Dauer drohen mitunter schwere gesundheitliche Beeinträchtigungen. Roenneberg: „Besonders Schichtarbeit ist extrem ungesund.“ Erstmals konnte er nun mit einer Studie in einem Unternehmen zeigen, dass eine Anpassung des Schichtsystems an den jeweiligen Chronotyp den sozialen Jetlag vermindern kann: Die Beschäftigten schliefen nach der probeweisen Umstellung im Schnitt eine Stunde länger, das subjektive Wohlbefinden besserte sich. Frühaufsteher empfanden die Verbesserungen insgesamt stärker als Spätschläfer. (göd)

Current Biology, März 2015

Kein Entkommen vor den Beutejägern

Fledermäuse stoßen Ultraschall-Signale aus und erkennen in der Dunkelheit allein anhand des Echos ihre Beutetiere und deren Bewegungen. Um ihre Reaktionsgeschwindigkeit zu messen, hat ein Forscherteam um Lutz Wiegrebe, Professor am Department Neurobiology der Fakultät für Biologie der LMU, in Versuchen den Tieren die Beute quasi vor der Nase weggeschnappt. „Die Fledermäuse ziehen blitzschnell ihre Schlüsse, ob ihre Beute zum Beispiel im letzten Moment ein Ausweichmanöver macht. Selbst weniger als hundert Millisekunden vor dem Zufassen reagieren sie auf eine Positionsänderung der Beute“, sagt Wiegrebe. Die gemessenen Reaktionszeiten lagen zwischen 50 bis 100 Millisekunden. Damit haben Fledermäuse eine schnellere Reaktionszeit als Menschen mit ihrer visuellen Orientierung. Selbst technische Geräte können mit der Reaktionsschnelligkeit der Fledermäuse nicht mithalten. (nh)

PNAS, März 2015

Impfung gegen MERS bald in klinischen Studien

Bislang gibt es keine vorbeugende Impfung gegen das Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (kurz: MERS-CoV), mit dem sich in jüngster Zeit mehr als 150 Menschen in Südkorea infiziert haben und das tödliche Krankheitsverläufe verursachen kann. Wissenschaftler um Gerd Sutter, Inhaber des Lehrstuhls für Virologie an der Tierärztlichen Fakultät der LMU, haben bereits vor zwei Jahren einen möglichen Impfstoffkandidaten entwickelt. In weiteren präklinischen Tests erwies sich der potenzielle Impfstoff auf Basis des Modifizierten Vacciniavirus Ankara (MVA) im Mausmodell als sicher und hoch wirksam bei Belastungsinfektionen mit MERS-CoV. Das ist die Voraussetzung, um zunächst seine Verträglichkeit am Menschen zu überprüfen. Ein Projekt, um entsprechende klinische Studien bald durchzuführen, kann nun am Deutschen Zentrum für Infektionsforschung unter Leitung von Gerd Sutter anlaufen. (nh)

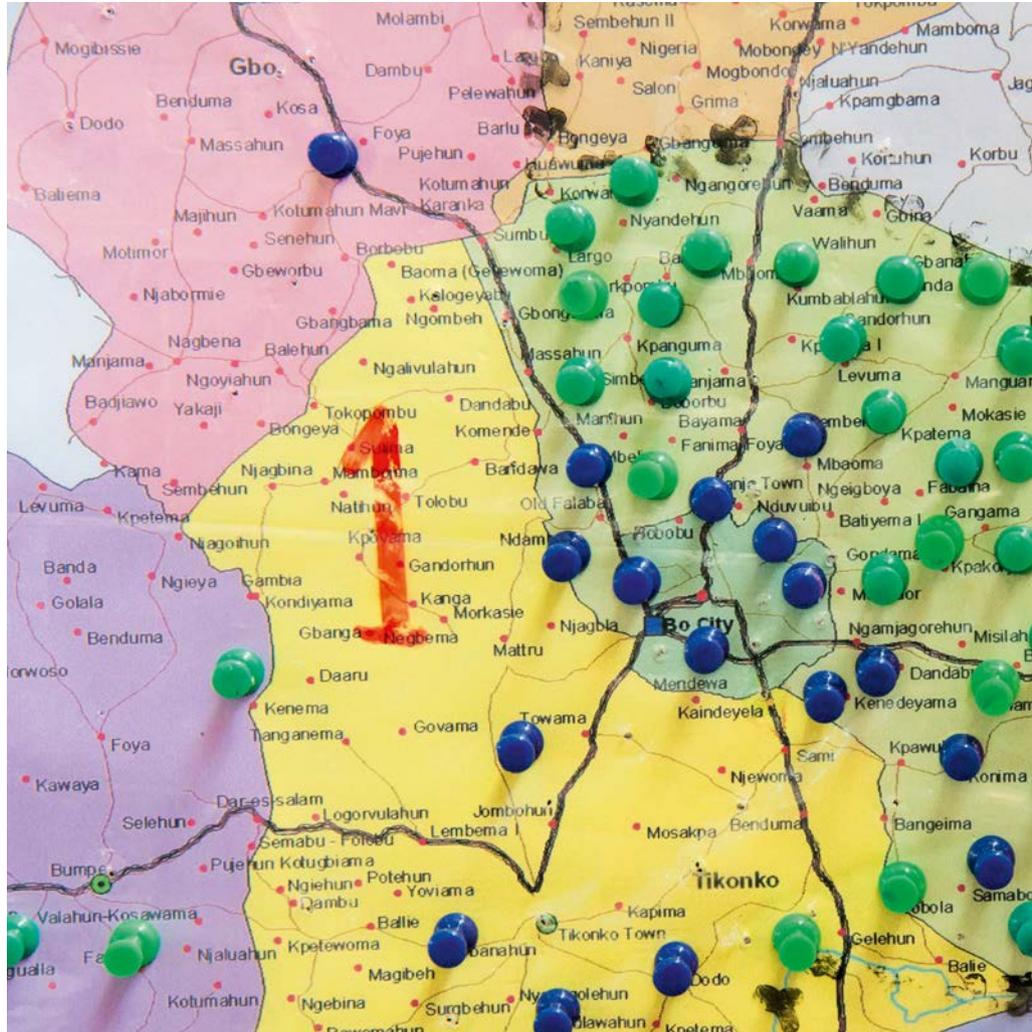
Journal of Virology, Mai 2015

Teilen tut nicht weh

Warum teilen wir mit anderen, wenn wir alles auch für uns selbst haben könnten? Markus Paulus, Professor für Entwicklungspsychologie, zeigt in einer Studie, dass die Bereitschaft von Vorschulkindern, anderen etwas zu geben, davon abhängt, wie gut sie die Gefühle ihres Gegenübers antizipieren können. Paulus ließ Kinder im Alter von drei bis sechs Jahren einschätzen, wie es einem anderen oder ihnen selbst geht, je nachdem, ob man mit ihnen teilt oder nicht. Dabei zeigte sich: Ihr Verständnis dafür, wie es sich anfühlt, leer auszugehen, ist unterschiedlich. Und je nachdem, wie ausgeprägt es ist, verhalten sie sich mehr oder weniger großzügig. Dabei motiviert die Kinder die mögliche Enttäuschung, leer auszugehen, mehr dazu, etwas abzugeben, als die Freude, die sie damit einem anderen machen können. (nh) Social Development, Mai 2015

Putzen schadet nicht

Allergien und Asthma werden nicht durch ein Zuviel an Körperhygiene und Reinlichkeit im Haushalt ausgelöst. Das zeigt eine Studie unter Leitung der Allergologin Professor Erika von Mutius vom Haunerschen Kinderhospital, die Hygienestandards von 400 Familien untersucht hat. „Bakterien oder ihre Bestandteile, die vor Allergien schützen, werden nicht vom Hygieneverhalten beeinflusst. Gewöhnliches Putzen ändert daran nichts“, sagt Markus Ege, Mitarbeiter in von Mutius' Arbeitsgruppe. Die Zunahme von Allergien in westlichen Gesellschaften lässt sich demnach nicht einfach auf übertriebene Hygiene zurückführen. Ege: „Eher liegt es an der eingeschränkten Umweltexposition; wir setzen uns nicht mehr derselben bakteriellen Vielfalt aus wie noch vor Jahrzehnten.“ (nh) American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, März 2015

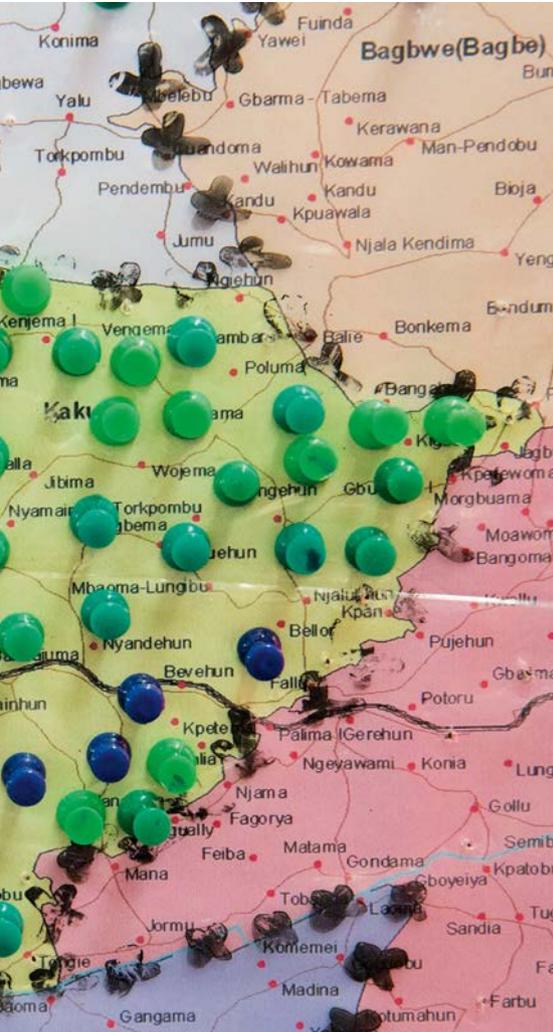


Die tödliche Krankheit ist bislang nicht zu stoppen: Karte in einem Ebola-Notfallzentrum, Sierra Leone, Anfang 2015. Foto: David Snyder/ZUMA Press/Corbis

Bremse für das Ebola-Virus

Um in die Wirtszellen zu gelangen, spannt das tödliche Ebola-Virus die Zellmaschine ein. Ein deutsch-amerikanisches Forscherteam um die LMU-Pharmakologie-Professoren Martin Biel und Christian Wahl hat untersucht, was dabei passiert, und damit gleichzeitig einen weiteren Ansatz für eine mögliche Therapie aufgezeigt. Die Erreger docken zunächst an bestimmte Rezeptoren an der Oberfläche vor allem von

Makrophagen, Fresszellen des Immunsystems, an. Das löst eine Kette von Ereignissen aus: Die Zellen umschließen die Viren mit Ausstülpungen und fangen sie so in Vesikeln ein, die wiederum mit anderen Vesikeln, sogenannten Lysosomen, verschmelzen. Bei dieser Fusion spielen bestimmte Ionenkanäle in den Membranen der Vesikel, Two Pore Channels (TPCs), eine wichtige Rolle. Diese Kanäle, so fanden die



Lawinenwarnung mit GPS und Radar

Für die Vorhersage der Lawinengefahr sind zeitlich hochaufgelöste Daten über den Feuchtgehalt der Schneedecke und die Schneemenge relevant. Ein Team um Professor Wolfram Mauser und Franziska Koch vom Department für Geographie der LMU und dem Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF in Davos hat nun zwei unterschiedliche Messmethoden kombiniert. Dadurch können erstmals kontinuierlich und nicht destruktiv wichtige Schneedata, potenziell auch in Hanglagen, erhoben werden. Die LMU-Forscher arbeiten mit

kostengünstigen GPS-Empfängern: Sie analysieren die Stärke der GPS-Signale und ziehen daraus Rückschlüsse auf die Feuchtigkeit des Schnees. Das SLF misst Schneedata mithilfe eines Bodenradars. Beide Systeme wurden auf einem Testfeld am Weissfluhjoch bei Davos parallel installiert. „Da beide Geräte von unterhalb der Schneedecke messen, können sie auch an möglichen Lawinhängen installiert werden. Dies ist bislang mit keiner konventionellen Methode möglich“, sagt Koch. (nh) *Geophysical Research Letters*, Mai 2015

Neurale Stammzellen: Zahl nimmt im Alter weiter ab

Neue Nervenzellen wachsen im Erwachsenenalter nur in begrenzter Zahl nach. In einigen Regionen des Vorderhirns gibt es neurale Stammzellen, die Nervenzellen bilden. Bisher ging man davon aus, dass die Erhaltung des Stammzell-Pools auf der Selbsterneuerung einzelner Stammzellen beruht. Ein Team um Professor Magdalena Götz, Inhaberin des Lehrstuhls für Physiologische Genomik an der LMU und Direktorin des Instituts für Stammzellforschung am Helmholtz Zentrum München, konnte dies nun widerlegen: Sowohl die Selbsterneuerungs-

rate der Stammzellen als auch die Diversität der gebildeten Nervenzellen sind begrenzt, die Anzahl der Stammzellen nimmt mit der Lebensdauer ab. Ansätze zu neuen Therapien gegen Erkrankungen des Gehirns wie Schlaganfall oder Demenzen konzentrieren sich vor allem darauf, untergegangene Nervenzellen zu ersetzen, indem die Neubildung aus Stammzellen angeregt wird. Nun werde es auch darum gehen, die Selbsterneuerungsrate der Stammzellen zu fördern, betont Götz. (LMU/Helmholtz München) *Nature Neuroscience*, März 2015

Forscher jetzt heraus, sind für den Infektionszyklus der Viren unerlässlich. Sie liefern das für den Infektionsweg nötige Calcium-Ionen-Signal. Sind sie blockiert oder defekt, bleiben die Viren in den Vesikeln stecken und der Infektionszyklus wird wirkungsvoll unterbrochen. Als besonders effektiv dafür erwies sich der Wirkstoff Tetrandrin, ein pflanzliches Alkaloid, er verhindert die Infektion der Makrophagen und zeigt auch therapeutische Wirkung bei Mäusen. (math) *Science*, Februar 2015

Krebs-Stress führt zu kognitiven Störungen

Aufmerksamkeitsstörungen, die Brustkrebspatientinnen schon vor der Behandlung zeigen, werden offenbar durch posttraumatischen Stress infolge der Krebsdiagnose verursacht, wie Dr. Kerstin Hermelink von der Frauenklinik der LMU in der Studie *Cognicaires* zeigen konnte. Die Forscher untersuchten mehr als 160 Brustkrebspatientinnen und 60 Frauen, bei denen kein Verdacht auf Krebs bestand, zu drei Zeitpunkten im Verlauf des ersten Jahres nach der Diagnose. Vor Behandlungsbeginn zeigten die Patien-

tinnen und die gesunden Frauen nahezu identische Leistungen in kognitiven Tests, nur in einem Test der Aufmerksamkeit unterliefen den Patientinnen deutlich mehr Fehler. „Wie vermutet, hing die Fehlerzahl in diesem Test mit posttraumatischer Stressbelastung zusammen“, sagt Hermelink. Ihre Ergebnisse widerlegen die bisherige Annahme, wonach die kognitiven Beeinträchtigungen ausschließlich auf Nebenwirkungen der Chemotherapie zurückzuführen sind. (nh) *Journal of the National Cancer Institute*, Juli 2015

Die Geburt der Welt



Zaghafter Anfang.
Foto: Bloomimage/Corbis

Der Schwerpunkt

Die unendliche Geschichte

Die Entstehung des Universums im Schnelldurchlauf

Globus aus der Scheibe

Woraus der Blaue und viele andere Planeten entstanden

Das Starterkit des Lebens

Wie sich die ersten informationstragenden Moleküle bildeten

Einer Art Anfang

Wie die Stammesgeschichte immer neue Spezies hervorbrachte

Der Hunger der Synapsen

Dauerbaustelle Gehirn – die molekulare Basis des Lernens

Selbstredend

Nur der Mensch lernte im Lauf der Evolution das Sprechen

Die Räson des Reichs

An den Ufern des Tigris entstand der frühe Prototyp der Weltmacht

Der Gott aus dem Exil

Der Glaube an den Einen – woher der Monotheismus kommt



Die unendliche Geschichte

„Nach hundert Sekunden ist alles da, von da an läuft es ab wie ein Uhrwerk“:
Die Physiker Ralf Bender und Viatcheslav Mukhanov skizzieren die Entstehung
des Universums im Schnelldurchlauf.

Moderation: Hubert Filser und Martin Thureau

Ein tiefer Blick ins Universum: Das Weltraumteleskop
Hubble sichtete einige der Galaxien in einem Stadium,
als das All gerade einmal 300 Millionen Jahre alt war.
Foto: NASA/ESA/R. Windhorst (Arizona State University)
and H. Yan (Spitzer Science Center, Caltech)



Das Universum ist 13,8 Milliarden Jahre alt, doch schon in den ersten drei Minuten entstehen alle Bausteine: Raum, Zeit und Materie. Was geschieht in dem Moment, in dem unser Universum geboren wird?

Mukhanov: Alles beginnt nach einer unfassbar kurzen Spanne, einem Bruchteil eines Augenblicks – nach 10^{-43} Sekunden. Unmittelbar nach dem Urknall, in dieser Sekunde Null sozusagen, breitet sich das gerade geborene Universum schlagartig aus, es ist nur ein Fünkchen Materie, das sich ausdehnt und immer schneller ausdehnt. Doch die Quanten, die kleinsten Portionen physikalischer Größen, unterliegen auch im frühen Universum gewissen minimalen Fluktuationen. Mit der ungeheuren Expansion wachsen sich diese kleinsten Fluktuationen zu Dichteschwankungen aus, die später letzten Endes die Masseverteilung und die heute sichtbaren Strukturen im All wie Sterne, Galaxien und Schwarze Löcher begründen.

Bender: In der Startphase legt die Entwicklung des Universums ein furioses Tempo vor. Und nach 100 Sekunden schon ist alles da: die normale Materie, die Dunkle Materie, die Photonen, die Neutrinos, alles ist da. Der Mix ist festgelegt, die Fluktuationen sind festgelegt. Und von da an läuft die Entwicklung des Universums ab wie ein Uhrwerk.

Mukhanov: Fast 300.000 Jahre lang passiert danach praktisch erst einmal nichts wirklich Interessantes.

Bender: Ja, das Universum ist in dieser Zeit ziemlich langweilig, es gibt nur diesen expandierenden Feuerball, der sich langsam abkühlt.

Lassen Sie uns noch einmal ganz zum Anfang zurückgehen. Wie stellen Physiker sich die Zeit vor diesen 10^{-43} Sekunden vor?

Mukhanov: Davor? Das können sich nur Theologen vorstellen.

Bender: Davor hätte jedes virtuelle Teilchen, das man – als Gedankenspiel – erzeugen könnte, so viel Energie, dass es

sein eigenes Schwarzes Loch wäre. Es gibt keine Theorie, die beschreibt, was vorher passiert. Eigentlich geht es erst mit 10^{-43} Sekunden los.

Wieso müssen Physiker sagen: Davor ist Gott zuständig, wenn es ihn denn gibt?

Mukhanov: Die Quantenmechanik mit ihren Gesetzmäßigkeiten ist hier zuständig.

Bender: Vorher gibt es keine Zeit in unserem Sinn.

Mukhanov: Man kann sie nicht messen.

Bender: Eigentlich müsste man sagen: Null ist bei 10^{-43} . Man rechnet ja von den heutigen Bedingungen zurück auf den Anfang des Universums – um dann festzustellen, dass die Gesetze, mit denen man zurückextrapoliert hat, weiter zurück als 10^{-43} Sekunden an den Urknall heran nicht mehr funktionieren können. Da brauchen wir eine vereinheitlichte Theorie.

»Anfangs sind es nur Bruchteile eines Gramms«

Mukhanov: Nicht einmal die Würde helfen. Eine Zeit, die weiter zurückgeht als diese Zeit, ergibt keinen Sinn. Nachdem das Universum entstanden ist, können wir mit der Zeit rechnen. Davor können wir nicht über Zeit sprechen, und auch nicht über das Universum.

Bender: Ja, das wäre reine Spekulation.

Warum bildet sich dann Materie? Und warum entstehen Kräfte?

Mukhanov: Die Materie im Universum ist zu diesem Zeitpunkt sozusagen im richtigen Zustand. Es gibt frühe Dunkle Materie und Dunkle Energie, aber in sehr viel größerer Dichte als heute. Die Dunkle Energie am Anfang ist die Ursache dafür, dass sich

das Universum schnell ausdehnt und viel Materie produziert. Anfangs findet sich im ganzen Universum Materie mit einer Masse von nur einem Bruchteil eines Gramms. Bald darauf haben wir so viel, dass sie ausreicht für alle Galaxien. Und Sie wissen, im ganzen Universum gibt es 100 Milliarden Galaxien und in jeder Galaxie 100 Milliarden Sterne. Es klingt wie eine Fantasie, aber diese Fantasie ist gegründet auf Rechnungen. Die realen Folgen können wir heute beobachten oder messen.

Wenn man von diesen Grammbruchteilen an Materie ausgeht – weiß man, welche Kräfte, Elementarteilchen und Elemente sich in welcher Reihenfolge entwickelt haben?

Mukhanov: Nein.

Bender: Wenn wir Elementarteilchen in den Beschleunigern aufeinanderschießen, können wir sehen, was bei diesen Kräften passiert. Dann kann man über diese Energie noch etwas hinaus extrapolieren. Deswegen haben wir Physiker auch die Vorstellung, dass sich drei Elementarkräfte, also die elektromagnetische Wechselwirkung, die schwache und die starke Wechselwirkung, die unsere Umwelt hier bestimmen, irgendwann zu einer Kraft vereinigen. Dazu kommt noch die vierte Elementarkraft, die Gravitation.

Mukhanov: Die wichtigste Kraft ist die Gravitation. Sie produziert Energie und Materie. Danach entwickelt sich alles. Gravitation ist sehr universell und produziert viel Materie. Wir sehen heute die Spuren aus dieser frühen Zeit. Sie bestätigen, dass Einsteins Relativitätstheorie unzweifelhaft richtig war. Sie beschreibt auch starke Gravitationsfelder und hohe Energien, die man nie mit Beschleunigern erreichen wird. Einsteins Theorie wurde von sehr kleinen bis zu den größtmöglichen Skalen bestätigt.

Welche Dinge müssen Physiker noch in Experimenten überprüfen?

Bender: Im Moment ist für uns die Messung des Mikrowellenhintergrunds sehr spannend. Das ist das sauberste Experiment, das man machen kann. Man hat ein Plasma, ein ionisiertes Teilchengemisch, gleichsam in einem vierten Aggregatzustand, das ein definiertes Verhalten zeigt, das Photonen zu uns aussendet aus der

»Wie in einem Embryo ist alles früh angelegt«

Zeit, als das Universum 380.000 Jahre alt ist. Diesen Photonen sind sozusagen die Bedingungen aufgeprägt, unter denen sich das Universum entwickelt hat. Und Viatcheslav Mukhanov hat eine Vorhersage gemacht, wie sich die anfänglichen Fluktuationen verteilen. Diese Vorhersage ist jetzt in Experimenten zum Mikrowellenhintergrund absolut zweifelsfrei bestätigt worden. Erst durch die Raumsonde WMAP, jetzt neu und noch viel genauer durch das Welt- raumteleskop Planck.

Was zeigen die Messungen?

Bender: Sie belegen, dass die Strukturen, die wir heute im Universum beobachten, tatsächlich aus Quantenfluktuationen in ganz frühen Phasen entstanden sind. Submikroskopisch kleine Fluktuationen blähen sich zu Schwankungen in riesigen Dimensionen auf, dann tut die Gravitation ihr Werk. Mithilfe der Dunklen Materie entstehen Galaxien, Sterne, Planeten.

Diese Hintergrundstrahlung bildet das embryonale Universum wie eine Fotografie ab?

Mukhanov: Ja, alles ist wie in einem Embryo schon sehr früh angelegt; die Galaxien sind für 300.000 Jahre aber gleichsam eingefroren – zugegeben ein relativer Be-

griff angesichts von Temperaturen von immer noch Tausenden von Grad. Wie dem auch sei: Es ist, als würden sie dann erst aus dem Eisschrank genommen und begännen sich zu entwickeln. Und so, wie man die Entwicklung eines Babys mit dem Ultraschall beobachten kann, lassen sich die Embryo-Galaxien mithilfe der Hintergrundstrahlung untersuchen. Die Messungen zeigen genau, was meine Theorie sagt. Für mich gibt es im Moment keine Alternative für Quantenfluktuationen.

Wie muss man sich die frühe Inflationsphase vorstellen?

Mukhanov: Wie schon gesagt: als eine beschleunigte Expansion. Wir wissen mittlerweile, dass die Gravitation selbst dafür die Ursache ist. In einfache Alltagsbilder lässt sich so etwas nicht fassen. Aber mit der Mathematik, der Sprache der Physik, kann ich es exakt beschreiben.

Bender: Bei kosmologischen Fragen darf man sich nicht zu sehr an der Alltagserfahrung orientieren, sonst bricht man ein. Wie bei der Frage, was vor den berühmten 10^{-43} Sekunden war. Da geht man davon aus, Zeit sei etwas unabhängig Existierendes. Aber weder Zeit noch Raum sind absolut.

Welche Fragen würden Sie als Physiker denn stellen, um dem Anfang des Universums näherzukommen?

Bender: Zum Beispiel: Woher kommen Galaxien? Das ist eine einfache, aber physikalisch gut definierte Frage. Man kann beobachten, wie sich Galaxien heute entwickeln, wie das Universum expandiert. Und von da lässt sich zurückrechnen, wie es früher gewesen sein könnte, als das Universum kompakter war.

Dann kommt man darauf, dass es irgendwann dichter und heißer war.

Bender: Ja, und daran schließt sich automatisch die Frage an: Wenn das ein heißer – homogener – Feuerball ist, wie können dann überhaupt Strukturen entstehen?

Hochspannend! In heißem Gas gleicht sich doch sonst sofort alles aus, die Temperatur wird gleich, alles wird homogen.

Aber der Mikrowellenhintergrund – mit seinen geringfügigen Schwankungen – ist die Strahlung des heißen Gasballs?

Bender: Genau, wir sehen dann diese Fluktuationen und fragen weiter: Woher kommen diese kleinsten Fluktuationen? Wie können sie überleben und warum haben sie genau diese Amplitude und was ist der Ursprung dieser Geschichte?

Welche Spuren des frühen Universums könnte es heute noch geben? Gravitationswellen?

Bender: Gravitationswellen sind schwer nachzuweisen. Darum gab es ja jüngst viel Wirbel: Wissenschaftler des sogenannten BICEP2-Teams meldeten, sie hätten endlich Gravitationswellen als Spuren des frühen Universums gemessen. Da war aber der Publikationsdruck das Problem. Sie wussten, dass die Planck-Kollaboration bald mit ihren Ergebnissen kommt – und die mit Sicherheit genauer sein würden als ihre eigenen. Also haben sie einen Schnellschuss herausgejagt, obwohl sie sich des Ergebnisses eigentlich nicht sicher sein konnten. Mittlerweile hat sich, auch in Kooperation mit den Planck-Wissenschaftlern, gezeigt, dass sie Staub gemessen haben, aber nicht die ersehnten Gravitationswellen.

Mukhanov: Es war ein Spiel wie im Casino. Sie haben etwas gewagt – und verloren.

Was weiß man über Dunkle Energie und die Dunkle Materie heute?

Mukhanov: Dunkle Energie ist die Ursache für Antigravitation und Dunkle Materie für normale Gravitation. Wir wissen nur nicht, welche anderen Merkmale diese Dunkle Energie und Dunkle Materie haben. Aber über ihre Gravitationseigenschaften wissen wir genau Bescheid. Das ist nicht dunkel und mysteriös für uns.



Eine Sternenküche ist der Adlernebel, etwa 7000 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Foto: ESA/Hubble & NASA

Aber bei der Suche nach entsprechenden Teilchen, die die Dunkle Materie ausmachen, war noch niemand erfolgreich?

Bender: Nein, trotz immensen Aufwandes. Großexperimente wie zum Beispiel die unterirdischen Detektoren im Gran-Sasso-Massiv konnten keinen Nachweis liefern.

Für Physiker ist das doch eigentlich eine Herausforderung: Es geht um gut drei Viertel des Universums, das ist doch der Anteil von Dunkler Energie und Dunkler Materie zusammengenommen.

Mukhanov: Es sind sogar 96 Prozent: Dunkle Energie macht ungefähr 70 Prozent aus, Dunkle Materie 26 Prozent.

Das muss doch auch unbefriedigend sein, nur vier Prozent des Universums verstanden zu haben.

Bender: So einfach kann man das nicht sagen.

Mukhanov: Diese vier Prozent sind sehr reich, sehr, sehr kompliziert. Es geht um vielschichtige Phänomene. Wenn Sie so wollen: Aus diesen vier Prozent erklärt sich unser Leben. Dunkle Materie und Dunkle Energie sind dagegen reichlich einfach.

Bender: Man kann es auch anders formulieren: Wenn Dunkle Materie und Dunkle Energie noch andere Auswirkungen hätten als die Gravitation, hätten wir das längst gemerkt. Das Problem ist, dass sie sich eben nur über ihre Gravitations- oder Antigravitationswirkung zeigen, das sind die merkbaren Effekte. Die Dunkle Materie zeigt Wechselwirkungen mit normaler Materie in nennenswerter Weise nur über die Gravitation. Da die Dunkle Materie außerdem nur eine relativ geringe Dichte aufweist, spielt sie im Sonnensystem oder auf unserer Erde bei Messungen keine Rolle. Nur über große Entfernungen, auf der Skala von Galaxien oder darüber wird sie dominant.

Mukhanov: Dunkle Materie hat wenige Eigenschaften, die wichtig für uns sind.

Bender: Die Bedeutung von etwas lässt sich eben nicht unbedingt an der Masse festmachen. Sie sagen ja auch nicht, jemand sei besonders wichtig, nur weil er 150 Kilo auf die Waage bringt.

Dunkle Energie und Dunkle Materie haben wenig Bedeutung?

Bender: Für uns heute. Aber natürlich gäbe es ohne Dunkle Materie heute keine Galaxien.

Mukhanov: Auch ohne Dunkle Materie wäre zwar ein Universum denkbar, aber das hätte andere Eigenschaften.

Bender: Ohne Dunkle Materie hätten sich keine Galaxien bilden können. Das Universum wäre heute gleichmäßig mit Wasserstoff und Helium angefüllt. Vielleicht hätte es irgendwo dichtere Regionen gegeben, aber es wären keine Strukturen entstanden. Die Dunkle Materie wirkte sozusagen wie eine Schwerkraftfalle und ließ Atome zu Galaxien klumpen.

Vielleicht lässt sich an dieser Stelle im Schnelldurchlauf skizzieren, wie die Geschichte weitergeht. Nach 300.000 Jahren wird das Universum transparent.

Bender: Ja, erstmals entstehen aus dem ionisierten Gasgemisch neutrale Elemente, Wasserstoff und Helium, die beiden machen am Anfang über 99 Prozent der Atome aus. Die Hitze hat so weit abgenommen, dass Atomkerne dauerhaft Elektronen einfangen können. In der Folge wird das Universum elektrisch neutral und damit durchsichtig. Dann beginnen sich Wasserstoff-Helium-Wolken zu verdichten, sie fallen in die von der Dunklen Materie gebildeten Schwerkraftfallen, heizen sich unter dem entstehenden Druck auf. Sie bilden die ersten Sterne – zunächst auf kleinen Skalen. Eine mächtige physikalische Reaktion im Inneren dieser Masseballungen setzt ein: die Kernfusion. Die riesigen Fusionsöfen setzen große Mengen Energie frei. Die Sterne beginnen zu leuchten und werfen, wenn sie sterben,

alle schweren Elemente, Kohlenstoff, Sauerstoff und so weiter, die wir hier auf der Erde und im Universum vorfinden, aus.

Wie viel Zeit ist da vergangen?

Bender: Die ersten Sterne sind schon wenige Hundert Millionen Jahre nach dem Urknall entstanden. Ungefähr eine Milliarde Jahre nach dem Urknall gibt es die ersten Galaxien, Strukturen, die so ähnlich aussehen wie heute. Sie wachsen, und ir-

»Ohne Dunkle Materie gäbe es keine Galaxien«

gendwann bilden sich die großen Spiralgalaxien, für die unsere Milchstraße ein schönes Beispiel ist. In den vergangenen zwölf Milliarden Jahren finden sich die Galaxien zu größeren Konglomeraten zusammen, angetrieben durch die Schwerkraftwirkung der Dunklen Materie. Nur die Prozesse in den Galaxien selbst sind irgendwann durch das Gas dominiert. Die Bildung von Sternen hat nichts mehr mit Dunkler Materie zu tun. Wenn sich das Gas in einem Stern genügend verdichtet hat, ist dieser Prozess unabhängig vom restlichen Universum ringsherum. Die Dunkle Materie schafft lediglich anfänglich die notwendige Konzentration von Gas, damit sich überhaupt Galaxien bilden können, danach übernimmt das Gas, es kühlt und klumpt, sodass es Sterne und Planeten bilden kann.

Kann es noch andere Universen geben?

Mukhanov: Ja, selbstverständlich. Es gibt da verschiedene Möglichkeiten. Und alles, was nicht in Widerspruch steht mit den fundamentalen Gesetzen, kann auch Wirklichkeit sein. Es ist sehr, sehr schwierig,



Aus einem Fünkchen Materie werden 100 Milliarden Galaxien mit je 100 Milliarden Sternen: „Es klingt wie eine Fantasie, aber diese Fantasie ist gegründet auf Rechnungen“, sagen die Physiker Ralf Bender (links) und Viatcheslav Mukhanov. Foto: Jörg Koch

das zu akzeptieren. Es könnte viele andere Universen geben, aber das ist Spekulation. Viele sind von der Idee der Paralleluniversen fasziniert. Aber offen gestanden können wir nicht behaupten, dass wir die Dinge verstehen. Und ich habe keine Idee, wie sich andere Universen beweisen ließen. Es gibt dazu keine Messungen und Experimente. Für manche Physiker mag es sexy sein, darüber zu diskutieren, für mich aber hat das nichts mit Physik zu tun, zumindest nicht zu diesem Zeitpunkt.

Wenn doch alles wie ein Uhrwerk abläuft – kann man sagen, wie es endet?

Mukhanov: Nein, das weiß niemand. Das wird zum Beispiel von der Dunklen Energie abhängen. Ich glaube, das Universum wird vielleicht ausgedünnt. Man könnte sich vorstellen, dass wir Menschen den Himmel in 100 Milliarden oder 100 mal 100 Milliarden Jahren nicht mehr so schön fänden. Es gäbe dann keine Galaxien mehr

am Himmel, nur noch ein paar Sterne. Aber ehrlich gesagt können wir über die Zukunft nur spekulieren.

Bender: Nehmen Sie das Bild vom Uhrwerk nicht allzu wörtlich. Im Detail spielt schließlich auch der Zufall eine Rolle. Die Welt ist nicht deterministisch, denn es gibt die Quantenmechanik. Wir kennen zwar alle Anfangsparameter, aber wir können trotzdem – um einen einfachen Fall zu nehmen – nicht im Detail vorhersagen, dass jetzt gleich ein bestimmtes Auto unten auf der Straße vorbeifahren wird. Wir können auch nicht vorhersagen, wie genau sich das Universum weiterentwickeln wird. Es könnte durchaus sein, dass die Dunkle Energie einige Überraschungen bereithält. Wir können das Prinzipielle für die nächsten Jahrmilliarden aber vorhersagen: Dass es weiter Galaxien und Sterne geben wird und wie sie ungefähr aussehen werden. Aber das heißt nicht, dass wir alles bis zu einem Ende vorhersagen können.

Prof. Dr. Ralf Bender

ist Inhaber des Lehrstuhls für Beobachtende und Experimentelle Astrophysik an der LMU und Direktor am Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching. Bender, Jahrgang 1958, studierte Physik an der Universität Heidelberg, wo er auch promovierte und sich habilitierte. Er war Postdoktorand an der Oxford University, Großbritannien, und Wissenschaftler an der Landessternwarte Heidelberg, bevor er 1994 an die LMU berufen wurde.

Prof. Dr. Viatcheslav Mukhanov

ist Inhaber des Lehrstuhls für Theoretische Astroteilchenphysik und Kosmologie an der LMU, Mukhanov, Jahrgang 1956, studierte am Moskauer Institut für Physik und Technologie und promovierte und habilitierte sich am Lebedew-Institut, Moskau, UdSSR/Russland. Von 1992 an lehrte und forschte er an der ETH Zürich, Schweiz, bevor er 1997 an die LMU berufen wurde. Mukhanov erhielt zahlreiche Preise, unter anderem den Gruber-Preis für Kosmologie und die Chair Blaise Pascal, ENS, Paris, Frankreich. Zuletzt wurde ihm die Max-Planck-Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft überreicht.

Globus aus der Scheibe

Eine flache Wolke aus Gas und Staub rund um einen Stern: Astrophysikerin Barbara Ercolano untersucht, wie dort Planeten entstehen.

Von Hubert Filser

Wir sind nicht allein im Universum. Mehr als 5000 Planeten außerhalb unseres Sonnensystems haben Astronomen vor allem mithilfe des Weltraumteleskops Kepler inzwischen entdeckt. Die fernen Welten beeindrucken mit allen möglichen Größen, Dichten und Umlaufbahnen, im Sternbild des Krebses beispielsweise wollen die Forscher sogar schon eine Super-Erde aus Diamanten und Kohlenstaub entdeckt haben. Planeten sind keine Seltenheit in Sternsystemen, sondern die Regel. Jedes Sonnensystem scheint dabei anders zu sein, doch alle haben eine Architektur aus Felsplaneten und Gasriesen. All die neuen Erkenntnisse heizen die Frage an, ob es dort draußen unter all diesen Exoplaneten nicht vielleicht auch einen zweiten Blauen Planeten geben könnte.

Astrophysiker sind da ganz zuversichtlich, sie können mittlerweile ferne Planeten beobachten, wenn diese an ihren Muttersternen vorbeifliegen, und dabei Dichte und Bahngeschwindigkeit messen. So lassen sich mit immer höher auflösenden Weltraumteleskopen wie Kepler aus einer Entfernung von Dutzenden Lichtjahren ganz grundlegende Größen der fernen Welten messen, die Dichte des Planeten, seine Größe, wie schnell er sich auf seiner Bahn bewegt – und möglicherweise bald auch, ob er wie unsere Erde eine Atmosphäre hat. „Eine zweite Erde existiert mit Sicherheit, wenn man nur Größe, Dichte und Abstand zum Mutterstern berücksichtigt“, sagt Barbara Ercolano, Professorin für Theoretische Astrophysik an der Universitätssternwarte

der LMU. Sie erforscht, unter welchen Bedingungen Planeten entstehen. „Damit solche Exoplaneten aber wirklich die gleichen Eigenschaften haben wie unsere Erde und sogar Leben ermöglichen, muss schon sehr viel passieren.“ Jedes entdeckte Sonnensystem sei anders, und man wisse zum Beispiel fast gar nichts über die Atmosphäre von Exoplaneten.

Das Universum besteht aus unzähligen Galaxien mit Milliarden von Sternen, selbstleuchtenden Objekten also, in deren Innerem Atomkerne verschmelzen und so ein Höllenfeuer am Laufen halten. Die Sterne geben die frei werdende Energie aus dieser Kernfusion in Form von Licht, Wärme und Strahlung in die Umgebung ab. Planeten, die die Sterne umkreisen, sind von dieser Energie abhängig. Auf der Erde könnten wir ohne die Sonne nicht überleben. Mittlerweise haben Astronomen bestätigt, dass fast alle Sterne auch Planetensysteme um sich haben. Um zu verstehen, wo man nach einer zweiten Erde suchen kann, muss man auch begreifen, wie und unter welchen Umständen Planeten entstehen, wie sie Jahrtausenden oder gar -milliarden überstehen und eine Atmosphäre entwickeln können. Genau diese Entstehung von Planeten aus einer Staub- und Gaswolke heraus ist Barbara Ercolanos Forschungsgebiet.

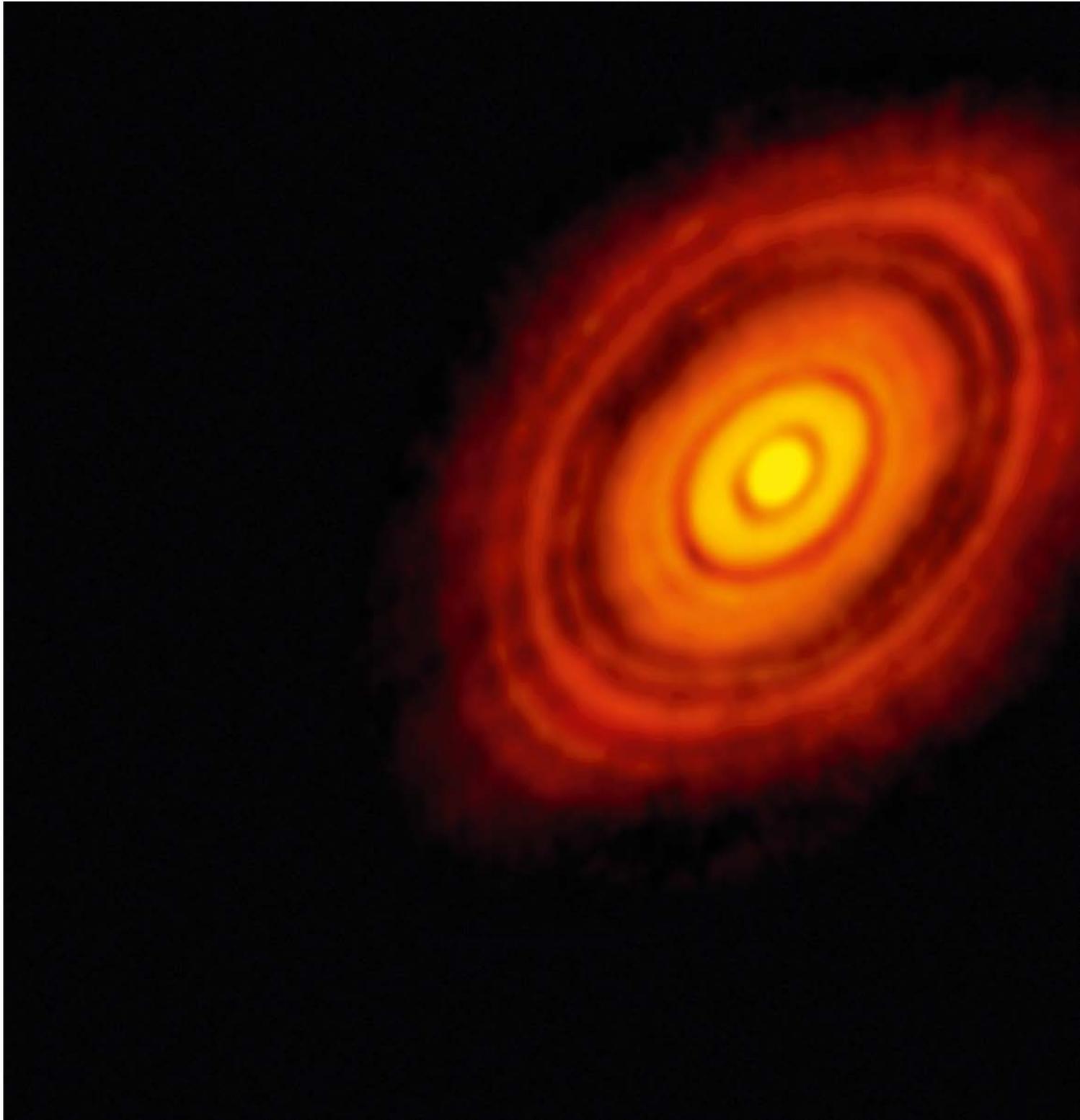
Am Anfang existiert irgendwo im Weltraum eine Wolke mit vielen schweren Elementen wie Sauerstoff, Kohlenstoff oder Stickstoff. Astrophysiker nennen solche Wolken „metallreich“, obwohl es gar nicht um den Metallgehalt geht. Ein neuer, junger Stern im Zentrum der Wolke entsteht immer dann,

wenn die Wolke instabil wird und aufgrund der Schwerkraft innerhalb kurzer Zeit zusammenschnurrt. Bei schweren und dichten Wolken ist in der Regel so viel Masse vorhanden, dass der Gravitationsdruck ausreicht, um im Inneren des jungen Sterns ein Feuer zu zünden. Wasserstoffatome verschmelzen zunächst zu Helium. Das Sternenfeuer brennt bis zu seinem Lebensende,

Ein Feuer im Inneren des jungen Sterns

bis der gesamte Energievorrat im Inneren verbraucht ist.

Doch der Stern frisst nicht die gesamte Materie aus der Wolke. Der Rest aus Gas und Staub dreht sich weiter und konzentriert sich aufgrund der Rotationskräfte auf einer Scheibe um den Stern. Dies ist der Geburtsort der Planeten: die protoplanetare Scheibe. Doch was spielt sich darin im Verlauf von Jahrtausenden ab? Eines der Schlüsselmechanismen, die dann ablaufen, nennen Astrophysiker Photoevaporation: Die Gasteilchen geraten durch sehr energiereiche Photonen regelrecht unter Beschuss. Trifft ein Photon auf ein Gas- oder kleines Staubteilchen, überträgt es seine Energie, beschleunigt es auf Geschwindigkeiten, die ausreichen, um das Schwerefeld der protoplanetaren Scheibe zu verlassen. Sehr ener-



giereiche Strahlung aus dem Stern im ultravioletten und Röntgenbereich lässt dabei Gas- und kleine Staubteilchen regelrecht verdampfen. „So entstehen Lücken in der Scheibe“, erklärt Ercolano. Diese Lücken seien extrem wichtig, denn sie sorgen dafür, dass junge, eben erst weiter draußen in der protoplanetaren Scheibe langsam entstandene Planeten nicht weiter nach innen in Richtung Muttersonne gezogen werden können. Ohne diese Lücken würde der Stern seine Planeten fressen – was tatsächlich relativ häufig passiert.

Im Prinzip hat ein Planet in dieser Phase schon einen langen, mühsamen Weg hinter sich. Anfangs stoßen winzige, wenige Mikrometer kleine Teilchen zufällig zusammen,

Die Mutter- sonne frisst ihre Planeten

gehen chemische Verbindungen ein oder kleben mithilfe elektrischer Anziehungskräfte zusammen. Gleiches passiert mit den Gasteilchen. Zunächst bilden sich Kristalle, wie in Wolken wirken winzige Teilchen wie Kristallisationskeime. Die Gravitation spielt noch keine wichtige Rolle, sie sorgt nur dafür, dass sich die Teilchen eher spüren. Allmählich bilden sich Körner, größere Felsbrocken. Und irgendwann fliegen dann kilometergroße Berge in der Umlaufbahn um die Sonne. Abermillionen solcher steinerner Inseln und Felsen rasen um den Stern. Manchmal stoßen auch größere Brocken zusammen und zerspringen wieder in kleinste Bruchstücke. „Das sind sehr zufällige Prozesse“, sagt Ercolano. „Meistens fliegen die Teilchen aneinander vorbei.“

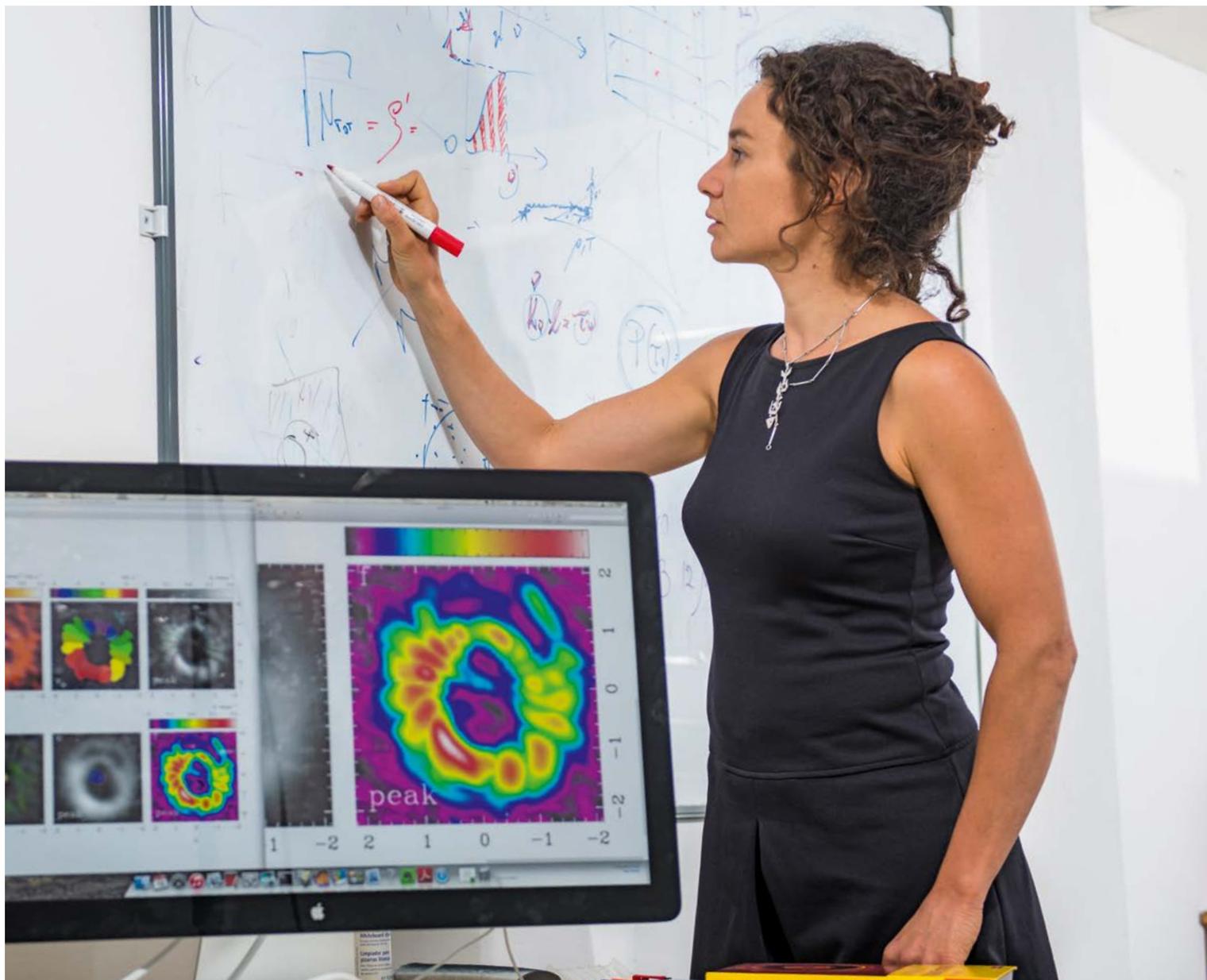
Nach Jahrmillionen aber sind dann an verschiedenen Orten in der protoplanetaren Scheibe sogenannte Planetesimale entstan-

den, Vorläufer von Planeten, die immer weiter kleinere Teilchen einsammeln und irgendwann tatsächlich zu größeren Fels-, Eis- oder riesigen Gasplaneten werden wie Saturn oder Jupiter in unserem Sonnensystem. In größerem Abstand vom Stern funktioniert das oft am besten, weil dort noch die größten Mengen an Materie herum-schweben. Die Planeten wandern meistens nach innen in Richtung Zentralstern. Größere planetare Körper pflügen Lücken und Ringe in die Scheibe.

Insgesamt existieren die protoplanetaren Scheiben maximal zehn Millionen Jahre, nur in dieser Zeit können Planeten entstehen. Danach ist aber auch die Gefahr für bereits existierende Planeten vorbei, noch von der Muttersonne gefressen zu werden. Sobald die Scheibe weg ist, können sich die Planeten auf ihren unterschiedlichen elliptischen Bahnen nur noch gegenseitig beeinflussen. „Dabei wird noch der eine oder andere Planet aus dem System geschleudert und treibt dann einsam durchs All“, sagt Ercolano.

Um ein genaueres Bild der Planetenentstehung und ihrer zeitlichen Abläufe zu erhalten, simuliert Ercolanos Gruppe die komplexen Prozesse und vergleicht dann die Ergebnisse mit Daten aus der Beobachtenden Astronomie. Die Astrophysiker studieren dabei etwa spezielle Prozesse wie die Photoevaporation durch ultraschnelle Photonen. In den Simulationen können sie die Anfangsbedingungen der Gas- und Staubwolke verändern, sie können schauen, in welchen Regionen sich welche Arten von Planeten entwickeln und wie sie langsam nach innen wandern. Dabei testen sie auch ungewöhnliche neue Ideen, die zu Planeten führen könnten, etwa dass auch in der protoplanetaren Scheibe spontane Instabilitäten die Entstehung eines Planeten begünstigen, Physiker sprechen von Gravitationsinstabilität. „Die Simulationen zeigen uns hoffentlich, welche Schicksale Planeten erleiden, die in unterschiedlichen Distanzen zu ihrem Stern geboren werden – und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Planet wie

Und mittendrin der Stern: Die protoplanetare Scheibe um den jungen HL Tauri hat einen Durchmesser von 20 Milliarden Kilometern und ist etwa 450 Lichtjahre von der Erde entfernt. Die dunklen Spalte zwischen den konzentrischen Ringen sind die Orte, in denen Planeten entstehen. Foto: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



„Ich mag es, die Natur auf verstehbare Teile zu reduzieren“: Astrophysikerin Barbara Ercolano. Foto: Marc Müller

die Erde entstehen kann“, so Ercolano. Die Randbedingungen für die Algorithmen liefern echte Messungen von immer leistungsstärkeren Teleskopen wie Kepler oder Spitzer. Jeder neue, genauere Datensatz liefert neue Theorien. „Wir Theoretiker haben ein besonderes Verhältnis zu neuen Teleskopen“, sagt Ercolano und lacht. „Sie haben schon so manche schöne Theorie über den Haufen geworfen. Wir nennen sie Show-Stopper!“ Mittlerweile sehe sie das Verhältnis entspannter. Als Theoretiker müsse man flexibel bleiben, so lerne man schneller. „Wir müssen verstehen, dass wir nichts verstehen“, sagt sie mit einem Anflug von Understatement.

Man müsse große Fragenkomplexe in kleine Teilprobleme zerlegen, nur so ließe sich Neues entdecken. Genau darauf zielen die Simulationen ab, sie versuchen völlig undurchsichtige Vorgänge gleichsam auf kleinere Dimensionen herunterzubrechen. „Ich mag es, die Natur auf verstehbare Teile zu reduzieren“, sagt Ercolano. Dann sei es manchmal möglich, ein bisschen mehr von den komplexen Dingen zu begreifen. Und dann kleidet sie noch so eine Erkenntnis in einen schönen Satz: „Planeten entstehen nur in friedlichen, ruhigen Wolken.“ Also wissen wir, dass eine zweite Erde – so wie sie denn finden sollten – in einer friedlichen Wolke liegen wird. Benennen dürfen wir sie

im Übrigen jetzt schon einmal. Die Internationale Astronomische Union (IAU) sucht derzeit Namen für rund 300 Exoplaneten. Auf einer Webseite kann die Weltöffentlichkeit über die besten Namen abstimmen. ■

Prof. Dr. Barbara Ercolano ist Professorin für Theoretische Astrophysik an der LMU. Ercolano, Jahrgang 1977, studierte und promovierte am University College London (UCL). Danach forschte sie am UCL, an der Harvard University, Cambridge/USA, der University of Cambridge, Großbritannien und der University of Exeter, Großbritannien, bevor sie im Jahre 2010 nach München kam.

Das Starterkit des Lebens

Dieter Braun versucht herauszufinden, wie aus einfachen Molekülen die ersten Einzeller entstehen konnten. In seinem Labor simuliert er dazu die Zustände, die vor etwa vier Milliarden Jahren auf der jungen Erde geherrscht haben könnten.

Von Hanno Charisius

Dieter Braun hat die Gebrauchsanleitung für die Kaffeemaschine seiner Arbeitsgruppe ins Internet gestellt. Jeder darf sie benutzen. Forscher aus verschiedenen Teams treffen sich an dem goldfarbenen Gerät, das auch nicht viel einfacher zu bedienen ist als einer der Apparate im Labor nebenan. Chemiker und Physiker stehen hier oftmals und diskutieren neue Ideen – bisweilen lautstark, um den Lärm der Kaffeemühle zu übertönen. Wenn Braun das sieht, freut er sich. Er hat die Maschine auch als Lockmittel angeschafft. Der Physiker selbst hat sich bis dahin nicht viel aus Kaffee gemacht, aber er wollte eine Begegnungsstätte schaffen für Leute mit verschiedenen Ausbildungen und Interessen. Das ist wichtig für seine Arbeit. Denn was er macht, liegt irgendwo zwischen Physik, Chemie und Biologie. So genau lässt sich das nicht sagen. Braun, Physik-Professor an der LMU, nennt sein Forschungsfeld „Systems Biophysics“, was er so übersetzt: „Wir beschäftigen uns mit der Physik von biologischen Systemen.“ Dazu zählt auch die Frage, wie das Leben auf der Erde entstehen konnte.

Die Entwicklung vom Einzeller zu mehrzelligen Pflanzen, zum Fisch, zur Möwe, zur Kuh, zum Löwen und zum Menschen lässt sich durch die Mechanismen der Evolution sehr gut erklären. Doch wie die Evolution selbst erfunden wurde, was also vor dem ersten Einzeller auf der Erde geschehen ist, liegt bislang im Verborgenen.

Es gibt verschiedene Hypothesen: Die meisten Wissenschaftler sind heute davon überzeugt, dass sich auf der frühen Erde viel-

leicht vor etwa vier Milliarden Jahren aus einfachen Molekülen, wie sie überall im Weltall zu finden sind, die ersten größeren Moleküle gebildet haben, die in der Lage waren, sich selbst zu vervielfältigen. Der biologischen muss eine chemische Evolution vorausgegangen sein, die zu immer größeren, komplexeren Molekülen geführt hat. Wahrscheinlich begann alles mit dem Molekül RNA, das chemisch eng verwandt ist mit der bekannteren Desoxyribonukleinsäure, kurz: DNA, einer langen Kette von chemischen Einzelbausteinen. Die DNA speichert unter anderem die Baupläne für Proteine – molekulare Maschinen und Bauelemente, die sich ebenfalls aus einfachen chemischen Grundelementen, den sogenannten Aminosäuren zusammensetzen. DNA ist chemisch stabiler als RNA und eignet sich deshalb besser, um Erbinformationen über lange Zeit zu speichern. RNA reagiert hingegen sehr bereitwillig mit anderen Molekülen und auch mit sich selbst – ideale Voraussetzungen für eine chemische Evolution.

Man weiß zwar noch nicht genau, wie die Grundbausteine für die ersten Erbmoleküle und Proteine entstanden sind. Trotzdem ergibt sich die Frage, wie aus den kleinen Einzelbausteinen größere Moleküle entstehen konnten, die Informationen speichern oder als molekulare Maschinen Arbeit verrichten. In allen bisherigen Erklärungsmodellen setzen sich immer die kleineren gegen die großen Moleküle durch, weil sie sich schneller vermehren können. Nach heutigem Wissen könnte so kein Leben entstehen. Dieter Braun hat jedoch einen Mechanismus entdeckt, bei dem sich die großen

Moleküle durchsetzen. Und nicht nur das: Mittlerweile hat sein Team zeigen können, wie sie sich vervielfältigen konnten.

Ein Zufall hat ihn vor etwas mehr als zehn Jahren auf die Spur gebracht. Er war damals Mitarbeiter im Labor des Physikers Albert Libchaber an der Rockefeller University in New York und wollte die Dynamik untersuchen, die entsteht, wenn Wasser erwärmt wird. Dazu füllte er winzige Kügelchen in eine kleine Wasserkammer und zielte mit einem Laserstrahl darauf. Die Kügelchen sollten ihm die Strömungen sichtbar machen, die im durch den Laser erhitzten Wasser entstehen. „Wenn man durch ein Mikroskop in diese Kammer blickt, dann sieht es irre aus, wie einem die Kügelchen entgegenfliegen“, erinnert sich Braun. Und irgendwann fiel ihm auf, dass sich die Kügelchen in einer Ecke der Kammer allmählich ansammelten.

Zu seiner Überraschung funktionierte diese Temperaturfalle umso besser, je größer die Partikel waren. Da kam Braun die Idee. Dieses physikalische Phänomen könnte das Paradoxon auflösen, an dem andere Hypothesen zur Entstehung des Lebens bislang immer zerbrachen. Durch diesen Effekt könnten sich Moleküle in einem Bereich sammeln, statt gleichmäßig verteilt durch eine Lösung zu diffundieren. Denn dazu tendieren Moleküle normalerweise. Die Sauerstoffkonzentration ist in einem geschlossenen Raum zum Beispiel überall gleich. Und so haben sich auch die ersten biologischen Grundbausteine wie Aminosäuren, RNA oder DNA gleichmäßig in Urozean verteilt. „Damit das Leben aber entstehen kann, muss



Geologische Bedingungen wie diese könnten die chemische Evolution angeheizt haben: heiße vulkanische Quellen, hier auf Neuseeland. Foto: Christian Kober/Robert Harding World Imagery/Corbis

man es von diesem wahrscheinlichsten Zustand permanent weghalten“, erklärt Braun. „Temperaturunterschiede könnten dieses Problem lösen, das gelöst werden muss, damit Evolution ablaufen kann.“

Festgesetzt in einer Thermofalle könnten sich die Vorläufermoleküle erst zu kurzen und dann immer längeren Molekülen zusammengesetzt haben, die irgendwann in der Lage waren, sich selbst zu kopieren – eine entscheidende Voraussetzung für die Entstehung von Leben. Auf diese Weise hät-

Konzentration in der kühleren Zone

ten sich auf der jungen Erde, zum Beispiel geschützt in einer Gesteinspore, die ersten Erbgutmoleküle aus einfachen chemischen Grundzutaten bilden können.

Den Effekt, der die Ursache dafür ist, hat der deutsche Physiologe Carl Ludwig zum ersten Mal 1856 beschrieben. Aufgrund genauerer Untersuchungen wurde der Effekt später nach dem Schweizer Physiker Charles Soret benannt. Auch sie beobachteten, dass sich Moleküle in einer nicht gleichmäßig warmen Lösung in den kühleren Bereichen ansammeln. Dieses Phänomen wird seither als Thermophorese bezeichnet oder als Thermodiffusion. Auch 150 Jahre nach seiner Entdeckung, „ist dieses Phänomen noch nicht wirklich verstanden, aber wir arbeiten intensiv daran“, sagt Braun. Was ihn nicht davon abhält, es für seine Forschung zu benutzen, in einer Art Evolutionsreaktor. Es lassen sich auch Labormessgeräte konstruieren, die auf der Basis der Thermophorese die Bindungsstärke zwischen Molekülen erfassen können. Zwei ehemalige Doktoranden aus seinem Labor haben mit dieser Idee im Jahr 2008 das

Unternehmen Nanotemper gegründet, das diese Messapparaturen baut und verkauft. Inzwischen arbeiten dort 70 Menschen. Etwa einmal im Monat bespricht Braun mit den Unternehmensgründern die jüngsten Entwicklungen. Ansonsten hat er mit dem Geschäft nichts zu tun und widmet sich stattdessen seiner Lieblingsfrage: der nach der Entstehung des Lebens.

Um seine Theorie zu überprüfen, hat Braun eine Kammer gebaut, deren Inhalt er punktgenau erhitzen kann. Er glaubt, dass diese Kammer ein gutes Modell für eine Pore im Gestein abgeben könnte. Braun vergleicht die Thermophorese mit einem Paternoster, bei dem mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit Passagiere häufiger auf die nach unten fahrende Seite wechseln. „Nach einer Weile werden alle unten im Kellergeschoss festsitzen.“ Schon kleine Temperaturunterschiede von wenigen Grad zwischen den entgegengesetzten Seiten seiner Kammer, reichen aus, um die Moleküle in der kühleren Zone anzureichern. Bereits nach zehn Minuten kann er in seinen Experimenten beobachten, wie sich Moleküle ansammeln.

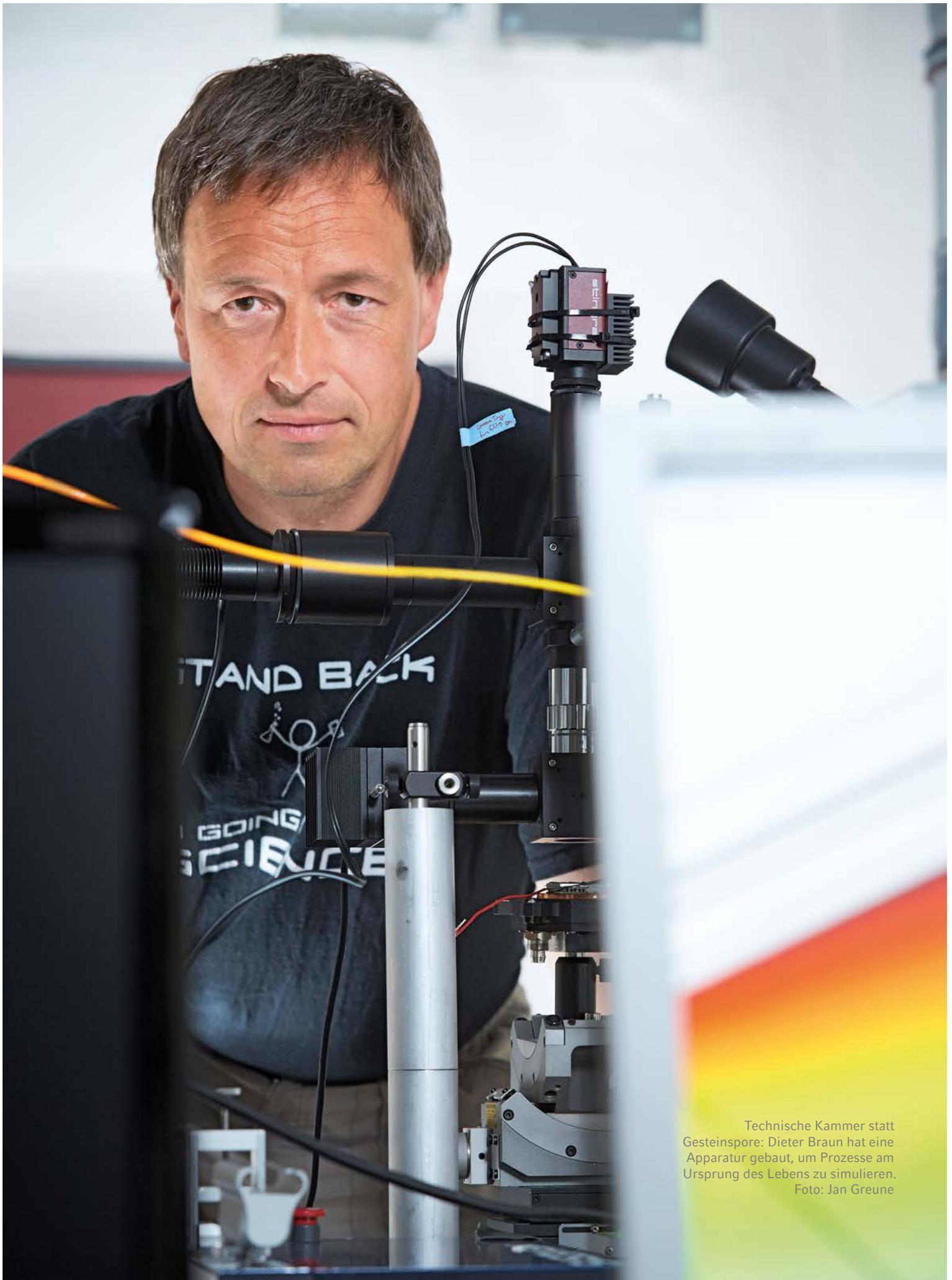
Doch die genetischen Moleküle werden nicht nur gegen den Strom in den Poren festgehalten, sie reproduzieren sich dort auch, wie Brauns Team unlängst im Fachblatt *Nature Chemistry* zeigen konnte. In den heißeren Zonen schmelzen doppelsträngige DNA-Moleküle auf und teilen sich im Minutentakt in ihre beiden Einzelstränge. Ein sogenannter Konvektionsstrom, der durch das Temperaturgefälle als eine kreisförmige Flüssigkeit entsteht, treibt die Moleküle wieder in kühlere Bereiche. Dort ergänzen sich die Einzel- wieder zu Doppelsträngen. Im Experiment fütterten die Wissenschaftler sie mit frischen DNA-Bausteinen. Und noch immer sind es die tendenziell längeren Bruchstücke, die dabei entstehen. Entstehen mehr replizierte Moleküle, als sich in den Poren akkumulieren können, verbreiten sie sich weiter. Replikation, Selektion und das sogenannte Feeding – allesamt Schritte, die auch die Evolution aus-

machen, betont Braun, konnten die Münchner Forscher so im Labor nachstellen.

Ein paar chemische Reaktionen in einer Kammer – kann man das schon Leben nennen? Für Braun besteht da kein Zweifel. Biologisches Leben, wie wir es heute kennen, braucht aber noch etwas: eine Hülle, die den Organismus, von der Umwelt abgrenzt. Bei Zellen ist das etwa eine Membran aus Lipidmolekülen. Ohne eine solche Hülle können zwar chemische Reaktionen ablaufen, aber es entsteht keine Zusammenarbeit zwischen den Molekülen, weil die Selektion der biochemischen Information limitiert ist. Gerade die Fähigkeit zur Vermehrung und die Weitergabe von Information sind wichtige Kennzeichen von Leben. Doch Brauns Arbeiten zeigen, dass es auch ohne eine solche Membran geht. Die Gesteinsporen selbst bildet die Grenze zwischen Innen und Außen. „Eine Hülle von Lipiden ist kompliziert zu unterhalten“, sagt Braun. Er glaubt deshalb, dass Membranen erst später entstanden.

In jedem Fall wäre Brauns Molekülfalle geeignet, um solche Hüllen zu erschaffen. Der Biologe Jack Szostak von der Harvard Medical School in Boston hat das in seinem Labor ausprobiert. Er gab Lipide in sehr geringer Konzentration in eine Thermofalle und beobachtete wenig später, wie sich in der kalten Zone die Lipidmoleküle zu sogenannten Vesikeln formierten. Das sind kleine Bläschen – oder sehr einfache Versionen biologischer Membranen. Szostak, 2009 mit dem Nobelpreis für Medizin geehrt, erforscht selbst die Ursprünge des Lebens. In seinem Labor wird die Evolution von RNA-Molekülen im Reagenzglas untersucht.

Solche Vesikel könnten die Nachkommen jener Protozellen gewesen sein, die sich nach Brauns Auffassung in mikroskopischen Gesteinsbläschen entwickelt haben. Mit dieser weichen Membran aus Lipiden wurden die ersten Zellen schließlich auch mobil. Und irgendwann müssen sich die ersten Bakterien entwickelt haben, die sich durch Zellteilung vermehren konnten.



Technische Kammer statt Gesteinspore: Dieter Braun hat eine Apparatur gebaut, um Prozesse am Ursprung des Lebens zu simulieren.
Foto: Jan Greune

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts war unter Gelehrten die Auffassung verbreitet, dass die Mikroben, aus denen sich später durch biologische Evolution alle weiteren Lebewesen entwickelten, irgendwann auf der noch jungen Erde spontan entstanden. Doch dann setzte sich allmählich die Ansicht durch, dass eine chemische Evolution auf der Urerde abgelaufen sein müsse, deren Ergebnis schließlich sich selbst vermehrende Zellen waren. Noch etwa ein Jahrhundert lang galt es dann als vollkommen aussichtslos, diese ersten Schritte auf dem Weg zum Leben nachvollziehen zu können. Bis schließlich 1952 der damalige Chemiestudent Stanley Miller eines der berühmtesten Experimente der Wissenschaftsgeschichte startete. In einen Glaskolben füllte er Wasser, Ammoniak, Methan und Wasserstoffgas, stellte das Gefäß auf einen Gasbrenner und ließ per elektrischer Spannung Blitze durch den Kolben zucken.

Mit diesem Versuchsaufbau wollte er die Zustände simulieren, wie sie der damaligen Auffassung nach vor vier Milliarden Jahren auf der Erde herrschten: ein heißer Urozean unter einer giftigen Atmosphäre, durch die Blitze zuckten. Innerhalb von sieben Tagen färbte sich der simulierte Ozean, an der Kolbenwand bildete sich ein Belag. Dieses Gebraü wurde später als „Ursuppe“ bekannt, aus der sich alle komplizierteren Moleküle gebildet haben sollen und schließlich die ersten lebenden Zellen. Sieben Aminosäuren konnte Miller im Kolben nachweisen, in einem Folgeexperiment 17 weitere dieser Grundbausteine des Lebens, aus denen sich alle Proteine einer Zelle zusammensetzen. Inzwischen herrscht weitestgehend Einigkeit, dass Miller ein falsches Szenario simuliert hat. Die Atmosphäre war chemisch wohl weit weniger aggressiv als von Miller nachempfunden. Dennoch gelten Millers Experimente als bahnbrechend, weil er als Erster gewagt hat, den Ursprung des Lebens künstlich nachzuvollziehen. „Das galt damals als Hybris“, sagt Braun. „Miller hat den Weg bereitet für alle folgenden Experimente.“

Und er konnte demonstrieren, dass aus anorganischen Verbindungen die Grundbausteine des Lebens entstehen können.

Nach Stanley Miller kamen noch viele, die Theorien darüber aufstellten und im Experiment zu überprüfen versuchten, wie ein solcher Starterkit des Lebens aus Aminosäuren und Erbgutbausteinen entstanden sein könnte. Braun versucht nun, die Lücke zwi-

In sieben Tagen färbte sich der simulierte Ozean

schen den ersten Molekülen auf der jungen Erde und den ersten Organismen zu schließen. Wie aus chemischen Verbindungen Leben erwachsen konnte, dazu liefert sein Modell die bislang beste Erklärung.

Auch wenn sich wahrscheinlich niemals beweisen lassen wird, wie die ersten Grundbausteine des Lebens wirklich auf der Erde entstanden, verwirft Braun inzwischen entschlossen die Hypothese, nach der ein komplettes molekulares Starterkit des Lebens per Meteoriten von einem anderen Planeten auf die Erde gelangt sein könnte. Fest steht, dass einfache Verbindungen wie Wasser und auch andere elementare Grundzutaten des Lebens aus dem Weltall auf die Erde kamen. Doch Braun hält es für zu unwahrscheinlich, dass empfindliche Biomoleküle eine solche Reise und vor allem die harte Ankunft überstehen würden. „Wäre das Weltall wesentlich älter, würde ich sofort zustimmen, dass das Leben von irgendwoher auf der Erde gelandet sein könnte.“ Dann wäre genügend Zeit gewesen, damit dieses unwahrscheinliche Ereignis irgendwann hätte eintreten können. „Aber das Universum ist nur etwa doppelt so alt wie unser Heimatplanet“, sagt Braun. „Zu wenig Zeit für ein solches „Freak-Event“.“

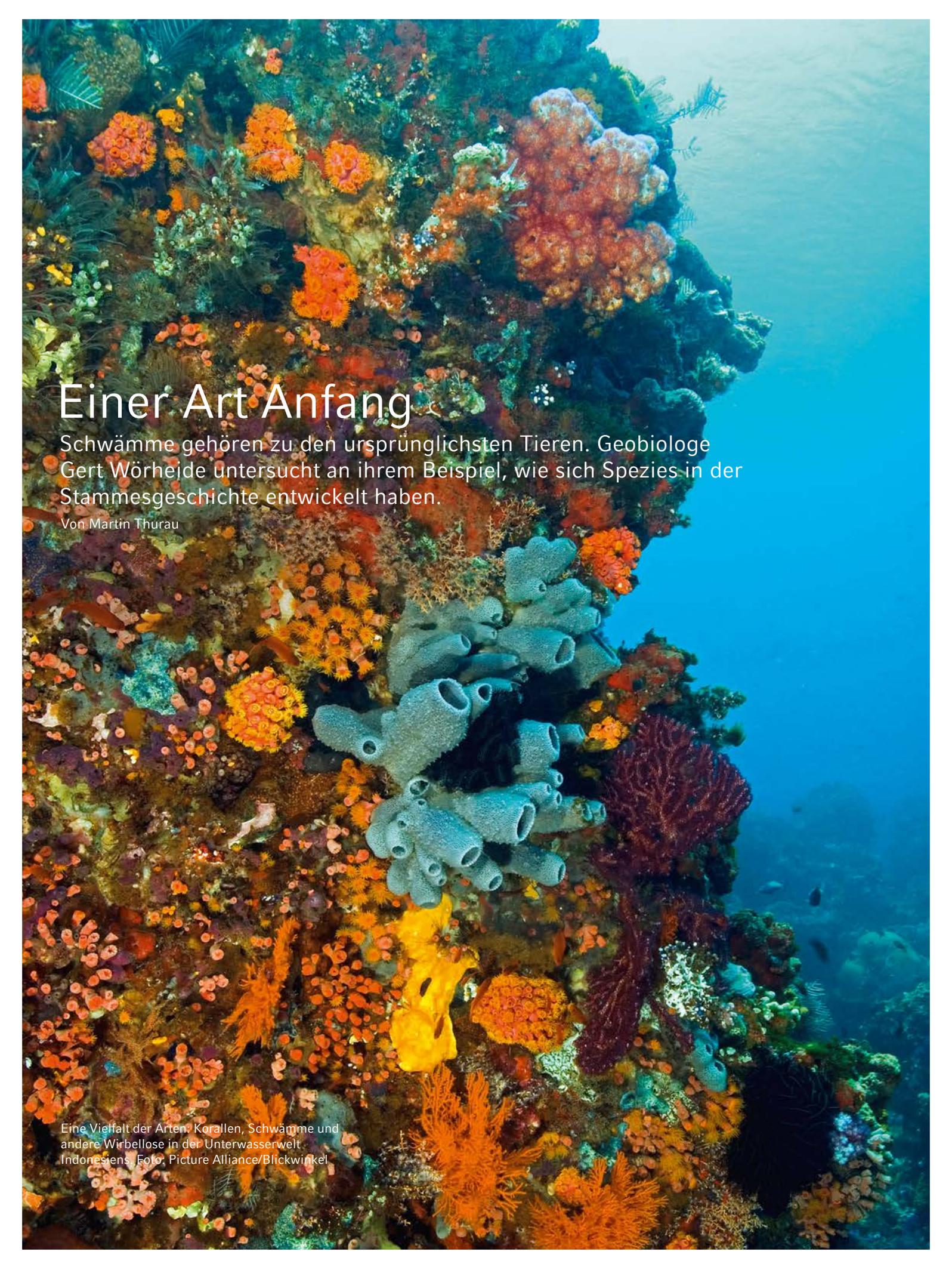
Dass die Erde alle notwendigen Voraussetzungen bot, bedeutet seiner Meinung nach aber auch, dass diese Prozesse ebenso an jedem anderen Ort stattfinden können, der ähnliche Bedingungen bietet wie die junge Erde, sprich: porösen Fels, Wasser, ein paar chemische Grundbausteine, nicht zu weit weg von der Sonne, nicht zu dicht dran. „Die Astronomen finden inzwischen sehr häufig Planeten, die so aussehen. Die Wahrscheinlichkeit ist sehr hoch, dass es woanders ähnliche Prozesse gab und gibt.“

Die Erforschung der Entstehung des Lebens war bislang immer eine Domäne der Chemiker. Physiker wie Braun wagen sich nur selten in dieses Gebiet vor und werden entsprechend kritisch beobachtet. Aber wahrscheinlich brauchte es den Blick eines Physikers, um zu erkennen, dass es eines grundlegenden physikalischen Mechanismus bedarf, um das Leben zu ermöglichen.

Nach dieser Erkenntnis und dem Beweis, dass seine Molekülfalle komplexere Verbindungen bevorzugt, braucht Braun nun auch das Wissen aus Biologie und Chemie, um seine Forschung voranzubringen. Er möchte zum Beispiel zeigen, dass sich in seinem Evolutionsapparat auch Moleküle bilden können, die von allein in der Lage sind, Kopien von sich selbst anzufertigen – ein weiteres wichtiges Etappenziel, um den Übergang von toter Materie zum Leben im Labor nachzuvollziehen. ■

Prof. Dr. Dieter Braun

ist seit 2007 Professor für System-Biophysik an der LMU. Braun, Jahrgang 1970, studierte Physik an der Universität Ulm und an der TU München. Er promovierte am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried, war Postdoktorand an der Rockefeller University in New York. Zwischen 2003 und 2007 leitete er eine von der DFG geförderte Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe. 2010 zeichnete ihn der Europäische Forschungsrat (ERC) mit einem hochdotierten Starting Grant aus. Seit 2014 wird er von der Simons Foundation in New York gefördert.



Einer Art Anfang

Schwämme gehören zu den ursprünglichsten Tieren. Geobiologe Gert Wörheide untersucht an ihrem Beispiel, wie sich Spezies in der Stammesgeschichte entwickelt haben.

Von Martin Thureau

Eine Vielfalt der Arten: Korallen, Schwämme und andere Wirbellose in der Unterwasserwelt Indonesiens. Foto: Picture Alliance/Blickwinkel

Auf den ersten Blick ist es nur ein Haufen gelber Batzen, die am Riffrand kleben. Gert Wörheide hat solche Ansammlungen schon oft gesehen, wenn er sich mit schwerem Tauchgerät in enge Riffhöhlen gezwängt hat. Dort, wohin das Licht nicht fällt, in den abgeschatteten Bereichen, „ist manchmal alles voll davon“, sagt der Münchner Geobiologe. Mal leuchten sie knallig gelb, oft ist ihre Farbe eher fahl. Überhaupt ist es ein unscheinbares Getier, von Weitem erinnert es ein wenig an Styroporflocken. Aber evolutionär ist es offenbar sehr erfolgreich. Denn egal ob vor den Malediven, in Polynesien oder am Great Barrier Reef vor der Küste Australiens, einer dieser Schwämme, der „Lemon Sponge“, ist im gesamten Indopazifik weit verbreitet, vom Roten Meer bis nach Tahiti.

Aber woher diese gelben Schwämme auch kommen: „Sie sehen überall gleich aus“, selbst für einen wie Wörheide, der als Experte gewohnt ist, sehr genau hinzuschauen. „Wenn Sie mir die auf den Tisch legen, könnte ich so nicht sagen, aus welcher Weltgegend sie stammen.“ Dabei gehören sie seit mehr als 15 Jahren zu den bevorzugten Untersuchungsobjekten Wörheides. Sie wie gewohnt nach äußeren Merkmalen zu untersuchen, nach der Morphologie, der Form der winzigen Nadeln zum Beispiel, die den Schwammkörper stützen, führt da nicht weiter. Folgerichtig sind auch alle Formen des Lemon Sponge zu einer Art zusammengefasst, unabhängig von der Herkunft: *Leucetta chagosensis*. „Die genetischen Daten aber, die wir ausgewertet haben“, sagt Wörheide und kostet den Gegensatz mit einer kurzen Pause aus, „zeigen tiefe Divergenzen. Danach sind das alles unterschiedliche Arten.“

Ein Detail und wichtig nur der Ordnung halber, könnte man meinen. Schließlich ist die Flut der Schwamm-Spezies ohnehin schwer überschaubar. 15.000 und mehr sind es schätzungsweise, erst etwas mehr als die Hälfte davon ist klassifiziert. Doch kommen

mit diesem Fall geradezu exemplarisch ein paar Fragen auf, die für das Verständnis der Evolution insgesamt nicht gerade unerheblich sind: Was überhaupt ist eine Art? Wie grenzt sie sich von einer nahe verwandten Spezies ab? Und wie schließlich entstehen neue Arten? Welche Mechanismen formen ihre Entwicklung?

Die ersten Schwämme lebten vor weit über einer halben Milliarde Jahre. Und viele Formen aus der Frühzeit haben bis heute ohne dramatische Veränderungen überdauert,

Tief unten in der Wunderwelt der Wirbellosen

als handle es sich dabei in gewisser Weise um Standfotos der Evolution. Damit hat sich der Stamm der Porifera, wie die Gesamtheit der Schwämme in der exakten Nomenklatur heißt, ziemlich nah der Wurzel vom Stammbaum abgespalten, aus dem sich alle Tiere entwickelten. Doch der Übergang von den amöboiden Einzellern zu den Vielzellern, ersten tierischen Organismen, bietet immer noch reichlich Stoff für hitzige Fachdebatten.

Das sind Fragen, die auch Gert Wörheide beschäftigen. Er ist seit 2008 Lehrstuhlinhaber für Paläontologie und Geobiologie an der LMU und gleichzeitig Direktor der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Geologie. Seit dem Beginn seiner Karriere vor mehr als 20 Jahren untersucht Wörheide unter anderem die extrem artenreichen Ökosysteme am Great Barrier Reef und im angrenzenden Korallenmeer, wahre Schatztruhen der Entwicklungsgeschichte und der Diversität. Er tauchte an den Riffrändern hinab und in die Höhlen, sammelte Material über Material. Und längst war sein Augenmerk von den lichtliebenden Korallen

auch auf die Schattenwesen übergegangen, die er dort fand – auf die Schwämme mit ihrer langen und verzweigten Evolutionsgeschichte. Doch die Tiefsee, die wie ein Tresor ein einmaliges Archiv an Arten birgt, blieb dem Geobiologen zunächst verschlossen.

2009 kam er zurück, diesmal mit einem internationalen Team und einem Tauchroboter. Den schickten die Wissenschaftler rund 1000 Meter in die Tiefe des Korallenmeers, die Hänge von Atollen hinab auf dem Queensland Plateau, einem riesigen Höhenzug in der Tiefsee. Es wurde eine evolutionäre Zeitreise: Auf einem Monitor an Bord des Expeditionsschiffes konnten die Wissenschaftler eine außergewöhnliche Meeresfauna beobachten und dirigierten mit dem Joystick einen Greifarm, der vom Grund sammelte, „was die Tiefsee so hergab“. Insgesamt erschloss sich ihnen eine unterseeische Wunderwelt der Wirbellosen, hier haben sich die Ökosysteme über Millionen von Jahren kaum verändert, hier konnte sich Meeresgetier halten, das andernorts schon mit dem Ende des Mesozoikums vor 65 Millionen Jahren untergegangen ist. Unter diesen „lebenden Fossilien“ sind Spezies wie etwa das „Perlboot“ Nautilus, ein sehr ursprünglicher Kopffüßer. Die Wissenschaftler sammelten Kaltwasserkorallen, Seelilien, Armfüßer, Urmollusken – und Schwämme.

Schwämme besiedeln nahezu jeden marinen Lebensraum, von der Gezeitenzone bis hinunter zur Tiefsee. Es gibt auch Arten, die im Süßwasser leben, doch die größte Vielfalt herrscht in den Meeren, besonders auch im Indopazifik. Sie bilden Becher, Knollen oder Keulen, es gibt Schwämme von nur einem Zehntel Millimeter Größe, die in der Masse auf Oberflächen eine Kruste bilden, und es gibt fassförmige sogenannte Barrel Sponges, die metergroß werden und unter Umständen Hunderte von Jahren alt. „Es gibt sämtliche Formen und Farben“, sagt Wörheide. Viele Arten haben einen ausgeprägten Sekundärstoffwechsel, sie bilden

Farbstoffe, um Fressfeinde abzuschrecken, oder Gifte und andere Stoffwechselprodukte. Auch die Pharmaindustrie hat deshalb längst erkannt, dass es sich lohnen könnte, dieses Reservoir auszubeuten. Einige Medikamente, die auf Naturstoffen aus Schwämmen basieren, haben Unternehmen bereits auf den Markt gebracht.

Ausgeprägte Körpermerkmale, wie man sie von anderen Stämmen im Tierreich kennt, sucht man bei den Schwämmen vergebens. Die Klasse der Glasschwämme zeichnet sich immerhin durch eine hochkomplexe Architektur des Nadelskeletts aus, auch Kalk- und Hornkieselschwämme festigen ihren Körper mithilfe eines Geflechts mikroskopisch kleiner Nadeln. Details im Nadelbau dienen Taxonomen seit jeher zur Klassifizierung. Mittlerweile aber ergänzen oder korrigieren genetische Daten die Befunde.

Wörheide hat vor nicht ganz zehn Jahren ein internationales Kooperationsprojekt gestartet, um die Schwämme in einer Datenbank zu katalogisieren – mithilfe genetischer Barcodes. Wie im Supermarkt ein Strichcode jedes Produkt eindeutig charakterisiert, so die Idee des Sponge Barcoding Projects (www.spongebarcoding.org), sollen charakteristische Gensequenzen aus dem Erbgut von Schwammproben helfen, das jeweilige Exemplar zu klassifizieren, und später möglich machen, es Gattung und Art zuzuordnen. Prinzipiell gilt: Der Abgleich der Gensequenzen erlaubt die Zuordnung: je weniger Abweichungen, desto näher verwandt sind zwei Individuen. Und im Idealfall lässt die Zahl und Lage der genetischen Unterschiede eine Aussage darüber zu, ob es sich dabei um Variationen innerhalb einer Art handelt oder um zwei verschiedene Spezies. Wörheides Team bearbeitet nicht nur das selbst gesammelte Material von diversen Expeditionen, sondern auch Tausende von Proben aus dem Queensland Museum in Brisbane und anderen Forschungssammlungen.

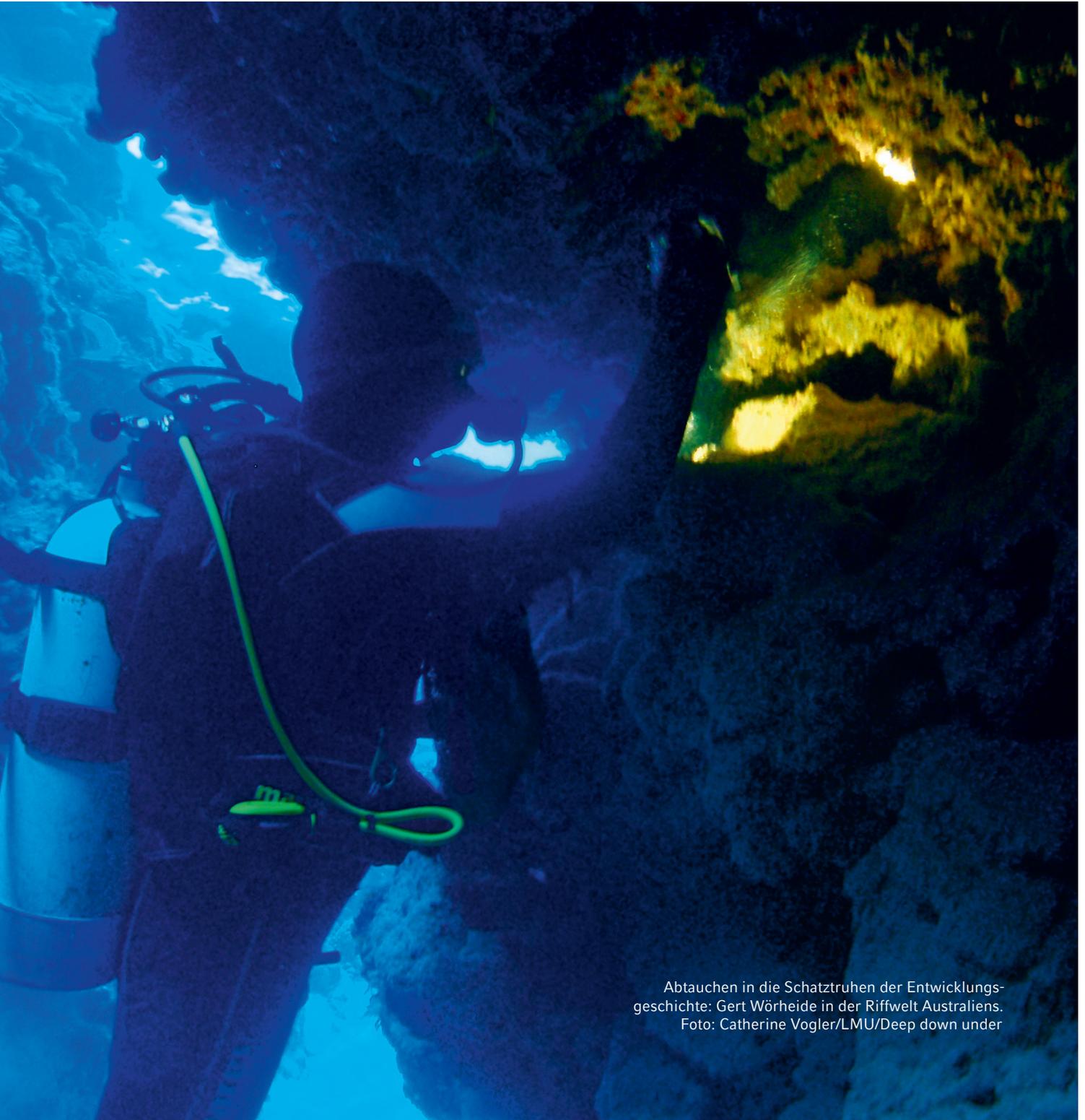
Schwämme sind denkbar einfach gebaut. Sie bilden einen vergleichsweise losen Ver-

band von Zellen, sie haben keine Muskeln, keine Sinnesorgane, keinen Verdauungstrakt und keine Atmung. Der Gasaustausch findet durch Diffusion statt und auch sonst laufen alle Körperfunktionen, betont Wörheide, auf zellulärer Ebene ab. Immerhin besitzen Schwämme ein Wasserkanalsystem, durch das sie einen Strom einsaugen, Nahrungspartikel herausfiltern und das Wasser anschließend wieder hinausblasen. Tier zu sein, bedarf es also wenig.

Und je einfacher, desto ursprünglicher und älter, das ist eines der Prinzipien der Evolutionstheorie. Doch welches Tier war nun tatsächlich als Erstes auf der Welt? Neben den frühen Schwämmen, die nach Wörheides molekulargenetischen Vergleichen alle auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgehen, steht unter anderem ein weiterer Kandidat, ebenfalls unschlagbar einfach gebaut: *Trichoplax adhaerans* ist die einzige bekannte Art der Scheibentiere (Placozoa), ein simpler Fladen, der nur aus vier verschiedenen Zelltypen besteht, ein loser Verbund ebenfalls ohne Organe und ohne Nerven, mit einem im Vergleich zu anderen Tieren winzigen Genom.

Verwirrung stifteten genetische Daten, die ausgerechnet in den renommierten Fachblättern *Science* und *Nature* publiziert wurden. Danach hätte die Evolution der Tiere mit quallenähnlichen Hohltieren, den Rippenquallen, begonnen, die aber – anders als die dann nachfolgenden Schwämme – bereits Muskel- und Nervenzellen besitzen. Damit hätte der gemeinsame Vorfahre aller Tiere diese hochkomplexen Merkmale entgegen allen bisherigen Annahmen bereits besessen und sie wären in den Schwämmen und den Placozoen verloren gegangen. Oder sie hätten zweimal im Verlauf der Entwicklungsgeschichte entstehen müssen. „Eine interessante Hypothese“, urteilt der Münchner Geobiologe. „Das würde unser ganzes Verständnis der Evolution und mehrere Hundert Jahre vergleichender Anatomie auf den Kopf stellen.“ Wörheides Team arbeitet mithilfe genomskaliger Daten be-





Abtauchen in die Schatztruhen der Entwicklungsgeschichte: Gert Wörheide in der Rifffwelt Australiens.
Foto: Catherine Vogler/LMU/Deep down under

reits seit Jahren an der Stammbaumrekonstruktion der frühen Tiere. Es konnte zeigen, dass zumindest einige der Analysen, die die Rippenquallen-Hypothese propagieren, sehr wahrscheinlich auf einem Artefakt in der Datenanalyse beruhen.

Diese Art molekulargenetischer Ahnenforschung ist eine aufwendige Detektivarbeit. Dafür reicht es nicht, wie beim Barcoding nur einige wenige Markergene zu vergleichen. Mehr als 100 Gensequenzen nutzt

Was ist eine Art? »Gute Frage«, stöhnt Wörheide

Wörheide für diese „phylogenomischen“ Untersuchungen – bei jeweils Dutzenden von Spezies. „Solche Simulationen, die komplexe Evolutionsmodelle durchspielen, sind extrem rechenintensiv“, sagt Wörheide. „Da ist unser Computercluster schon mal ein gutes Jahr dabei.“ Um umfangreichere Daten zu gewinnen, sequenziert und analysiert Wörheides Team derzeit die Genome von mehreren Meeres- und Süßwasserschwämmen, unter anderem im Rahmen eines LMUexcellent-Projektes. Diese Daten sollen dazu beitragen, derzeit noch kontrovers diskutierte Fragen über die frühe Evolution der Tiere zu beantworten.

Erst kürzlich hat Wörheides Team mithilfe der sogenannten molekularen Systematik den Stammbaum der sogenannten Steinschwämme geordnet. Alle Arten weisen ein charakteristisches hartes Skelett auf und sind deshalb bislang in einer Gruppe zusammengefasst. Doch die genetischen Daten zeigen anderes: Die Steinschwämme bilden keine natürliche Gruppe, gehen also nicht auf einen gemeinsamen Vorfahren im Erdaltertum zurück. Die charakteristischen

Schwammnadeln, vergleichsweise simple Merkmale, sind mehrmals unabhängig voneinander entstanden.

Doch was ist überhaupt eine Art? „Gute Frage“, stöhnt Wörheide, es gebe „Myriaden“ unterschiedlicher Konzepte. Das gängige ist – trotz aller Schwächen – das biologische: Artgenossen können sich paaren und bringen fortpflanzungsfähige Nachkommen hervor; zwischen Organismen unterschiedlicher Spezies gibt es dagegen eine Reproduktionsbarriere. Doch im Fall der Schwämme hilft diese Definition nicht wirklich weiter – nicht zuletzt wegen der unzähligen Weisen, auf die niedere Tiere sich fortpflanzen. „Bei Schwämmen finden sie alles: von asexuell bis hermaphroditisch, von getrenntgeschlechtlich bis lebend gebärend.“ So ist die Forschung zurückgeworfen auf das klassische morphologische Artkonzept – „immer noch“, sagt Wörheide. Es grenzt Spezies nach dem Maß der äußerlichen Unterschiede voneinander ab.

Wie aber können genetische Divergenzen innerhalb einer Art entstehen und unterschiedliche Merkmale ausprägen? Wie treibt ein neuer Spross am Stammbaum aus, wie werden aus einer Art letzten Endes zwei? Einer solchen Trennung müssen eine geografische und eine genetische Isolation vorausgehen, damit sich in einem langwierigen Prozess Populationen unterschiedlich entwickeln – ein klassisches Modell der Evolutionsbiologie. Vor Hunderten Millionen Jahren etwa hat die Kontinentaldrift die Landmassen auseinandergetrieben – und mit ihnen die Organismen, die sie besiedelten.

Nicht nur geologische Vorgänge, auch geografische Barrieren, klimatische Faktoren oder anthropogene Eingriffe, die zur Verinselung führen, sind mögliche Ursachen der Separation. Und schließlich können Migrationsbewegungen von Teilpopulationen für die Abspaltung sorgen. Bei den ansonsten sesshaften Schwämmen sind es die Larvenstadien, die sich frei „in der Wassersäule halten können“, sagt Wörheide. Anders als Korallenlarven etwa allerdings nur für kurze

Zeit, dann müssen sie sich wieder festsetzen. Bei manchen Schwammarten können sich kleine Knospen abspalten, als Dauerstadien überleben und angeheftet an Treibgut verdriftet werden.

In einem langsamen Prozess beginnen sich die nun getrennten Teilpopulationen auseinanderzuentwickeln. Schließlich sind sie unterschiedlichen Umweltbedingungen und damit einem anderen Muster von Selektionsdruck ausgesetzt. Die Organismengemeinschaften, das Habitat, die Konkurrenzbeziehungen und deswegen auch die ökologische Nische unterscheiden sich. Nicht zuletzt spielt auch der Zufall in den Mechanismen der natürlichen Auslese eine wichtige Rolle. Und ist die eine der Gruppen zunächst deutlich kleiner als die andere, gibt das der Ausdifferenzierung einen zusätzlichen Drive. Denn eine kleine Population hat einen kleinen Genpool. Das verändert und schränkt die Variabilität ein, aus der die Evolution gleichsam schöpfen kann; Fachleute sprechen von einem Gründereffekt.

Bei dem so weit verbreiteten gelben Lemon Sponge jedenfalls ist die Ausdifferenzierung weit fortgeschritten, auch wenn sich die Schwämme in allen Meeren äußerlich noch so sehr ähneln. Isolation und Gründereffekt, hat Wörheide mit aufwendigen genetischen Analysen belegen können, haben den Anstoß gegeben, dass sich neue Arten bilden konnten. Wenn man so will: Die Evolution hat ganze Arbeit geleistet. ■

Prof. Dr. Gert Wörheide

ist seit 2008 Lehrstuhlinhaber für Paläontologie und Geobiologie an der LMU und Direktor der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Geologie. Wörheide, Jahrgang 1965, studierte Geologie und Paläontologie an der FU Berlin, promovierte an der Universität Göttingen. Danach arbeitete er am Queensland Centre of Biodiversity des Queensland Museum sowie an der University of Queensland in Brisbane, Australien, bevor als Juniorprofessor für Geobiologie zurück an die Universität Göttingen ging.



Der Hunger der Synapsen

Was ist die molekulare Basis des Lernens? Der Biochemiker Michael Kiebler untersucht, wie sich gedankliche Verknüpfungen im Gehirn materialisieren.

Von Martin Thureau

Eine Drehscheibe des Wissens: Die Neuronen (rot und blau) des Hippocampus sind maßgeblich mit dem assoziativen Lernen verknüpft. Foto: Deerinck, NCMIR/SPL/Picture Alliance

Vielleicht sollte man mit Michael Kiebler einmal essen gehen, zum Japaner. Einfach sollte das Lokal sein, sozusagen die Basisversion der Fernost-Gastronomie, denn um die geht es dem Biochemiker. Er redet gern und viel vom Running Sushi, weniger vom Essen allerdings, vielmehr von der Logistik der Selbstbedienung: Auf einem Laufband ziehen all die Makis und Sashimis an den Gästen vorbei, all die Kleinigkeiten aus Fisch und Reis. Und jeder kann nehmen, was er mag. Dieses Bild passe bestens zu der Fragestellung, an der er wissenschaftlich arbeitet, sagt Kiebler: Es geht um die Verschaltung von Nervenzellen beim Lernen. Wie dabei das richtige Material an die richtigen Knotenpunkte gelangt – das hat einiges davon, wie in den Sushi-Restaurants die Speisen zum Gast kommen.

Das mag zunächst weit hergeholt erscheinen. Doch womöglich hilft die Analogie, etwas nur schwer Vorstellbares plastisch zu machen. Denn wie unser Gehirn arbeitet und was sich beim Lernen tut, ist längst nicht im Detail verstanden. Wie beispielsweise materialisieren sich gedankliche Verknüpfungen im Gehirn? Das sind Fragen, die Neuroforscher wie Michael Kiebler beschäftigen. Neue Erfahrungen und Eindrücke, so viel jedenfalls gilt als sicher, verändern das Gehirn in seiner Architektur – nachhaltig. „Während eines Gesprächs beispielsweise“, sagt der Professor für Zellbiologie am Biomedizinischen Centrum der LMU, „formt sich das Gehirn tatsächlich um, nimmt in Teilen eine andere Gestalt an.“

Das Gehirn ist also eine Dauerbaustelle: Es entstehen ständig neue Verbindungen zwischen den Nervenzellen, sie werden ausgebaut, sie schlagen Brücken zu bereits vorhandenem Wissen, ungenutzte Verbindungen werden aber auch wieder eingerissen. Sind Neurone häufig gleichzeitig aktiv, verstärken sich ihre Kontaktstellen, die Synapsen, zudem bilden die Nervenzellen auch neue. Neurobiologisch – und zugegeben reichlich reduktionistisch – betrachtet ist

ein Lernvorgang also nichts anderes als das Speichern eines Verknüpfungsmusters zwischen Nervenzellen im Gehirn. Doch was macht diese synaptische Plastizität, diese Fähigkeit zum stetigen Umbau aus? Welch eine komplexe molekulare Logistik und Steuerung stecken dahinter? Kurz: Was ist die molekulare Basis des Lernens?

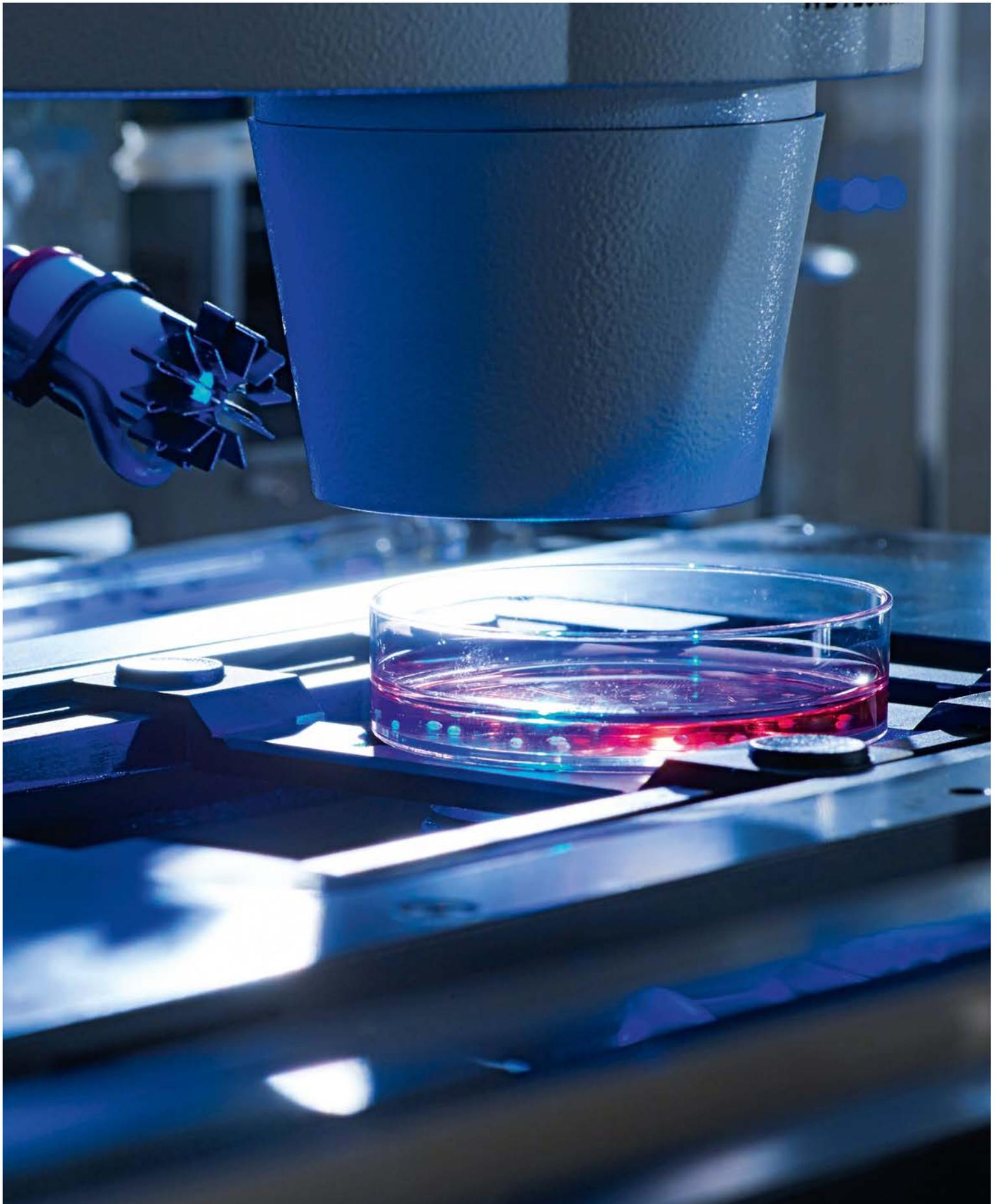
Das Gehirn hochkomplex zu nennen, grenzt an Untertreibung: Rund 100 Milliarden Nervenzellen bilden ein unüberschaubares Geflecht: Jede Zelle ist im Schnitt mit 10.000 anderen verschaltet. Rechnerisch ergeben sich so etwa eine Billiarde Verknüpfungen. Jede Nervenzelle besteht aus einem Zellkörper und dem Axon, einer langen Nervenfaser sowie geästert verzweigten Fortsätzen, den Dendriten. An ihnen ist die Vielzahl der Synapsen verteilt, oft in Form pilz- oder dornförmiger Auswüchse, der sogenannten *dendritic spines*. Die Nerven verbinden das Gehirn mit der Außenwelt, beispielsweise wenn sie ihm einen Druckreiz am Arm melden: Die Innervierung der Haut reagiert als eine Art Sensor, die beteiligten Zellen bauen ein sogenanntes Aktionspotenzial auf, das als elektrisches Signal durch die Nervenfasern läuft. Über die Synapsen wird der Reiz gleichsam zur Nachbarzelle weitergereicht: Den kleinen Spalt zwischen feuender und empfangender Synapse überbrückt ein Strom von chemischen Botenstoffen, bevor der Reiz wieder als elektrisches Signal durch die nächste Zelle rast, Richtung Gehirn.

Auch die Reizleitung beim Lernen und Erinnern folgt diesem elektrophysiologischen Prinzip vom Wechsel zwischen elektrischem und chemischem Signal, doch schon die Verschaltungslogik hat ihre ganz eigenen Muster. Was geschieht zum Beispiel, wenn wir ein Gesicht gedanklich zusammen mit einer Telefonnummer ablegen oder eine englische Vokabel mit ihrer deutschen Bedeutung? Auch im klassischen Fall der Konditionierung liegt eine solche Form des Lernens zugrunde: Dem Pawlowschen Hund fließt der Speichel nicht nur beim Anblick

des gefüllten Fressnapfes, sondern auch schon bei einem Klingelton, wenn er mehrmals zuvor erfahren hat, dass das Schellen regelmäßig der Fütterung vorausgeht. Es geht also um die Verknüpfung mindestens zweier verschiedener Informationen und deren Speicherung – um das assoziative Gedächtnis. Der Klingelton allein hat keinen Gehalt, nur wenn er mit der Futtererwartung, dem Anblick des Napfes etwa, gedanklich verknüpft ist, gewinnt er an Bedeutung.

Wie aber entstehen neuronale Verbindungen während eines Lernvorgangs? Wie werden sie gefestigt? Den zentralen Mechanismus sehen Neurowissenschaftler in der sogenannten Langzeitpotenzierung (LTP). Normalerweise braucht die empfangende Postsynapse einen vergleichsweise starken Reiz der Präsynapse, um ein Aktionspotenzial aufzubauen und zu feuern. Wiederholt sich die Stimulation aber mehrmals, reicht bereits ein schwächerer Reiz zur Aktivierung. Und das auch noch Stunden später, offenbar wird die synaptische Übertragung effektiver. Bei einem Lernvorgang spielt sich das nicht nur an einer Kontaktstelle ab, sondern vermutlich an ganzen Zellnetzwerken. Und feuern diese Neuronen im gleichen Takt, hat das ebenfalls einen Verstärkereffekt.

Was sich dabei auf physiologischer Ebene tut, hat vor allem der New Yorker Neurowissenschaftler und Nobelpreisträger Eric Kandel entdeckt, bei dem Kiebler mehrere Jahre als Postdoktorand gearbeitet hat. Anfänglich ist es ein dicht getakteter Strom von Botenstoffen, der über den Spalt die Postsynapse erreicht, während auch eine zweite Präsynapse sie noch mit chemischen Signalen befeuert. In dieser Situation – und nur dann – springt ein spezielles Empfänger-molekül in der Membran der Postsynapse an, der NMDA-Rezeptor. Ein Magnesium-Ion, das im Ruhezustand die aktive Pore wie ein Pfropfen verstopft, wird entfernt, ausgelöst durch eine Depolarisation der Zelle, die zustande kommt, wenn ein weiterer aktivierter Rezeptor mit dem Kürzel AMPA einen Ionenaustausch zulässt. Durch den aktivier-



Beobachten, wie die Zellen ihre Struktur verändern:
Neuronen in Kultur unter dem Mikroskop. Foto: Jan Greune

ten NMDA-Rezeptor strömen dann Calcium-Ionen in die Postsynapse ein, was einen Regelkreis in Gang setzt – ein „extrem cooler“ Mechanismus, kommentiert Kiebler.

Um die Synapse allerdings dauerhaft zu verändern, braucht es einen zweiten Regelkreis: Durch weitere Reizung kommt eine ganze Kaskade chemischer Reaktionen in Gang, bei dem ein zweiter Botenstoff letztlich die

zur Dauerarchivierung laufen die bearbeiteten Informationen in die unterschiedlichen Bereiche der Großhirnrinde: Visuelle Eindrücke beispielsweise landen in der Sehrinde, Sprachinformationen in den Spracharealen, akustische Daten in der Hörinde. Es gibt also keinen zentralen Ort, keinen Zettelkasten gleichsam, an dem die Gedächtnisspuren abgelegt sind, die Entgramme, sozusagen die neuronalen Entsprechungen unserer Erinnerungen.

Der Hippocampus schafft die neuen Nervenverknüpfungen, ja in geringem Maß können dort im Erwachsenenalter sogar neue Nervenzellen entstehen. Der Hippocampus ist, wenn man so will, die Drehscheibe des Wissens. Er organisiert auch das Abrufen der gespeicherten Information und den Abgleich mit neuem Input. Und er ist letzten Endes auch dafür zuständig, wieder Platz zu schaffen im Gehirn und nicht benötigte Gedächtnisinhalte vergessen zu machen – sprich: überflüssige Verknüpfungen von Neuronen zu kappen.

Besonders tief prägen sich allerdings Ereignisse ein, die emotional aufgeladen sind. Jeder wird sich noch genau an das erste Date oder an die Geburt des Kindes erinnern, haarklein, sogar an völlig nebensächliche Details, sagt Kiebler. Jeder wird aber auch noch den 11. September und die Bilder von den Linienmaschinen, die in die Twin Towers krachen, in allen schrecklichen Einzelheiten präsent haben. An diesen Speichervorgängen ist die Amygdala beteiligt, die wie der Hippocampus, mit dem sie eng verbunden ist, zum limbischen System gehört. Und offenbar fördern die Botenstoffe, die bei emotionalen Ereignissen ausgeschüttet werden, besonders stark Neubildung und Verknüpfung von Synapsen.

Überhaupt sind die Gedächtnisfunktionen des Gehirns modular aufgebaut. Ein Musikinstrument spielen zu lernen, um nur ein Beispiel zu nennen, hat viel mit dem minutiösen Einüben von Bewegungsabläufen zu tun, dem Motorlernen, wie es das Striatum unterstützt, ein Teil der Basalganglien.

Wenn aber das Gehirn in all seiner synaptischen Plastizität eine Dauerbaustelle ist – woher kommt dann, um im Bild zu bleiben, das Baumaterial? Ein komplizierter Fall, denn in den weitverzweigten Nervenzellen ist der Zellkörper, in dem Eiweiße normalerweise synthetisiert werden, weit entfernt von der Stelle an der Synapse, an dem sie eingebaut werden sollen. Und mittlerweile ist klar, dass ein wichtiger Teil der Proteinsynthese für die Synapse tatsächlich vor Ort stattfindet. Dorthin, die weite Strecke in den Dendritenbäumen entlang, schafft die Zelle nur die genetische Bauanleitung für die Eiweiße, in Form sogenannter Boten-RNA. Doch dafür braucht es eine komplexe Transport- und Sicherheitslogistik, erklärt Kiebler. Die Boten-RNA muss gut verpackt und richtig adressiert sein, damit sie auch richtig ankommt, an der „lernenden“ Synapse. Es muss sichergestellt sein, dass die Ware noch frisch und unverbraucht ist, die Eiweißsynthese also erst an der dafür bestimmten Synapse in Gang kommt und nicht schon auf halber Strecke an einer anderen.

Verpackt ist die Boten-RNA in sogenannte Granula. Wichtiger Bestandteil solcher kleinen Zelleinlagerungen sind bestimmte Proteine, die Boten-RNA binden und die beim Transport wichtige Steuerungsfunktionen übernehmen. Kieblers Team hat einige davon isoliert und charakterisiert, sie heißen Staufen2, Barentsz oder Pumilio2. Die Eiweißkomposition der Granula kann, anders als bisher angenommen, sehr unterschiedlich ausfallen, hat der LMU-Forscher herausgefunden. So können die Granula je nach transportierter Boten-RNA verschiedene Funktionen erfüllen, sagt Kiebler.

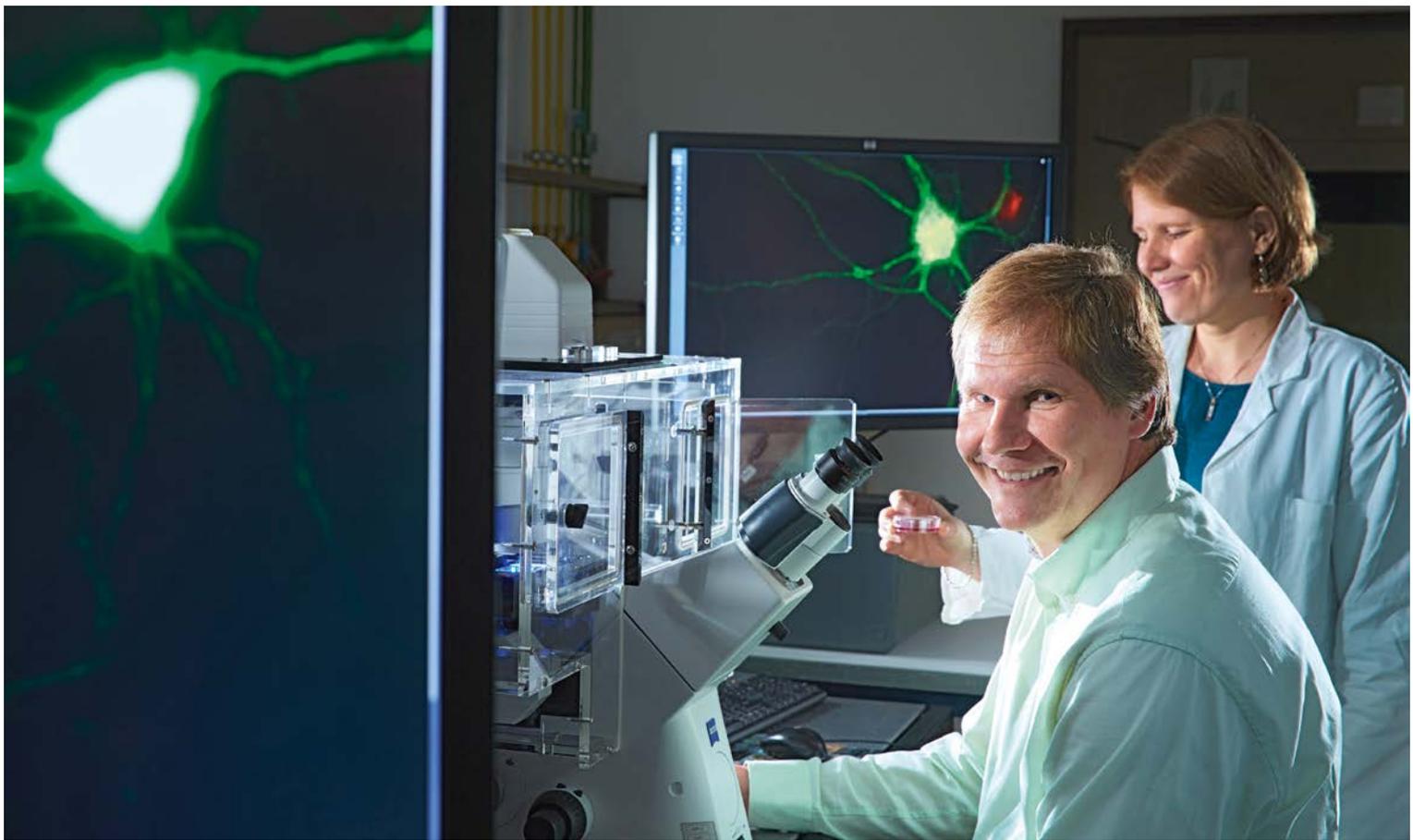
Wie wichtig die Rolle der RNA-Bindeproteine an den lernenden Synapsen ist, konnte Kiebler am Beispiel von Staufen2 nachweisen. Fehlt das Protein, sind die Synapsen mitunter missgebildet und dysfunktional. Gaben es die Forscher in die Zellkulturen, verschwand der Störeffekt. Der Pegel des Bindeproteins Pumilio2 in Nervenzellen indes reguliert unter anderem die Wuchsform

9/11 – jeder hat noch parat, was damals geschah

Produktion von Proteinen in Gang setzt, mit denen die Synapse ausgebaut wird. All das sorgt dafür, dass die synaptische Verbindung immer effizienter wird und schon auf geringere Reize anspringt, es reicht schon einer – ohne den zeitgleichen zweiten.

Nun schaffen es nicht alle Reize auf die mentale Festplatte. Das Ultrakurzzeitgedächtnis ist eine Art Überlaufspeicher für Umweltreize. Es erlaubt uns beispielweise, einen Satz zu wiederholen, selbst wenn wir ihn nicht aufmerksam wahrgenommen haben; der Input aber wird nach kürzester Frist wieder gelöscht. Das Kurzzeitgedächtnis hält schon etwas länger, seine Aufnahmekapazität jedoch ist reichlich begrenzt, viel mehr als eine Handvoll Informationseinheiten haben darin nicht gleichzeitig Platz. Sie können schnell überschrieben sein, wenn eine andere Information wichtiger erscheint oder wir abgelenkt werden. Dauerhaft verortet werden Eindrücke und Erfahrungen erst im Langzeitgedächtnis.

Eine zentrale Rolle dabei spielt eine kleine Region in den Schläfenlappen des Gehirns. „Das gesamte assoziative Lernen muss durch diesen Hippocampus“, sagt Kiebler, das gesamte neutrale Faktenwissen sozusagen. Er ist dabei eine Art Arbeitsspeicher,



Wohin geht das Material in den Nervenzellen? Michael Kiebler untersucht Transportprozesse und den Umbau der Synapsen. Foto: Jan Greune

der Dendritenbäume und der synapsentragenden Spines. Die RNA-Bindeproteine, ergänzt Kiebler, spielen bekanntermaßen eine Rolle bei neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson, womöglich müsse man aber auch kognitive Störungen oder „schlechteres“ Lernen im Alter auf diesen Aspekt hin untersuchen. Interessanterweise enthalten die Granula keine Faktoren, die die spätere Übersetzung der Boten-RNA in Proteine fördert. Im Gegenteil: Kieblers Team fand zahlreiche Moleküle, die den Prozess hemmen. Sozusagen aus Sicherheitsgründen, so schließt Kiebler, sind der Transport der Boten-RNA und die anschließende Proteinproduktion entkoppelt. Staufen2 sorgt offenbar für eine Art Frischegarantie der Boten-RNA, sie kann so länger als Vorlage für die Proteinproduktion dienen – vorausgesetzt sie weist kurze Erkennungssequenzen auf, an die Staufen2 binden kann –, was letztendlich das vorzeitige Übersetzen in ein Protein verhindert. Überhaupt tragen die Boten-RNA-Moleküle Signaturen, die wie ein Lieferschein gleichsam die wichtigsten Spezifikationen, Inhalt und Versandadresse enthalten.

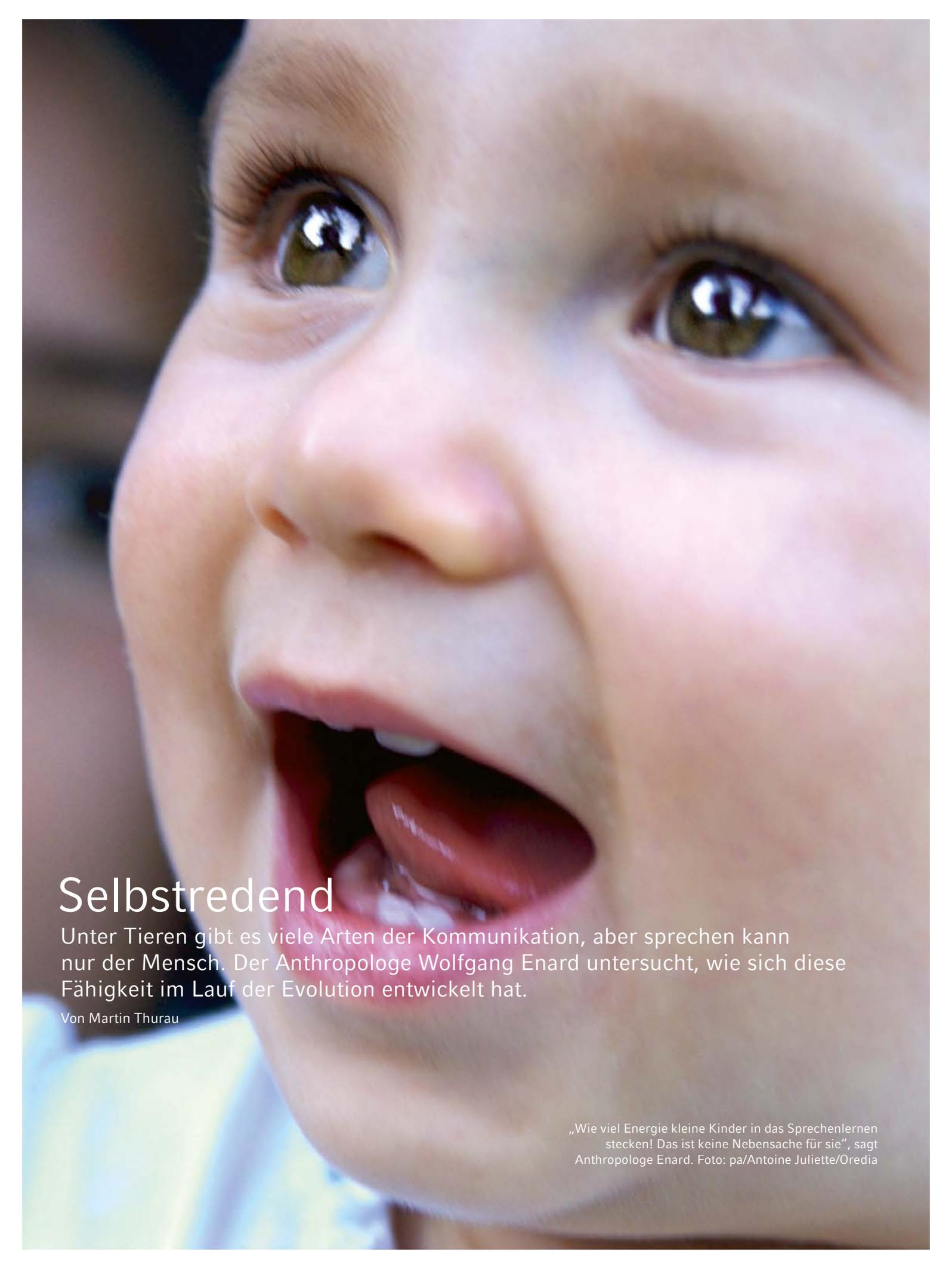
Den Transport der Granula übernehmen molekulare Maschinen, die entlang röhrenförmiger Strukturen im Zytoskelett der Dendriten laufen. Und damit ist Kiebler ganz zwanglos wieder beim Running Sushi. Denn die Granula werden auf einer Endlostransportschleife wie das Sushi auf dem Laufband den Synapsen präsentiert. Kiebler treibt die Analogie noch ein wenig weiter: Der Restaurantgast kann herzhaft zugreifen; je hungriger er ist, desto häufiger wird er sich von den kleinen Tellerchen bedienen. Doch was charakterisiert eine „lernende“ Synapse gleichsam als hungrig?

Sie muss physiologisch präpariert sein, um zugreifen zu können. Einem Mechanismus dieses sogenannten Synaptic Tagging ist Kiebler seit Längerem auf der Spur. In vielen Granula, die Staufen2 enthielten, entdeckte er den Bauplan für eine der beiden Untereinheiten eines Enzyms, das mit CaMKII abgekürzt wird; sie wird also erst lokal an der Synapse gebaut. Die andere Untereinheit aber entsteht im Zellkörper. Erst wenn beide zusammenfinden, ist das Enzym aktiv. „Und jetzt passt alles zusammen“, sagt Kiebler. Nur wenn es sich um

eine lernende Synapse handelt, kann die Boten-RNA überhaupt abgelesen werden. Die lokal produzierte Enzym-Untereinheit ist sozusagen der Arm der „hungrigen“ Synapse. Und CaMKII ist in diesem Zusammenhang nicht irgendein Enzym: Es arbeitet calciumabhängig, und erst wenn der „Lernkanal“, der NMDA-Rezeptor, einen Calciumstrom in die lernende Synapse vermittelt, kann es aktiv sein, das Calciumsignal gleichsam verstärken und so seine zentrale Rolle bei der Langzeitpotenzierung spielen – als gäbe es eine molekulare Form von Bildungshunger. Oder ist das zu viel der Analogie? ■

Prof. Dr. Michael Kiebler

ist Inhaber des Lehrstuhls für Zellbiologie am Biomedizinischen Centrum der LMU. Kiebler, Jahrgang 1964, studierte Chemie und promovierte in Biochemie an der LMU. Er war Postdoktorand an der Columbia University, New York, und am European Molecular Biology Laboratory in Heidelberg. Er forschte am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen und leitete die Abteilung für Molekulare Zellbiologie an der Medizinischen Universität Wien, bevor er 2012 nach München kam.



Selbstredend

Unter Tieren gibt es viele Arten der Kommunikation, aber sprechen kann nur der Mensch. Der Anthropologe Wolfgang Enard untersucht, wie sich diese Fähigkeit im Lauf der Evolution entwickelt hat.

Von Martin Thureau

„Wie viel Energie kleine Kinder in das Sprechenlernen stecken! Das ist keine Nebensache für sie“, sagt Anthropologe Enard. Foto: pa/Antoine Juliette/Oredia

Zoe ist schon sechs, doch wenn sie sich vorstellt, klingt das ungefähr so: „D’i nam ist Zoe and’ dyl liv how-woh, I...d’i...d’a...d’i...how-woh – six.“ Soll heißen: „My name is Zoe and I live in Hounslow and I am six.“ Auch andere Kinder der Familie sind trotz jahrelanger Sprachtherapie schwer zu verstehen. Die Kinder leiden an einem äußerst seltenen Gendefekt, so lässt sich rekonstruieren. Ein simpler Dreher im genetischen Bauplan sorgt dafür, dass sie nur mit Mühe sprechen können, sich an komplizierten Wörtern und komplexen Lauten regelrecht verschlucken. Dabei sind ihre sonstigen kognitiven und motorischen Fähigkeiten weitgehend normal wie jahrelange Untersuchungen einer Neuropsychologin in London zeigen.

Wolfgang Enard benutzt die Lautschriften öfter in seinen Vorträgen und spielt auch kurze Tonaufnahmen davon vor. Der LMU-Forscher allerdings ist Anthropologe und nicht Arzt, und trotzdem führt diese Episode direkt ins Zentrum seiner eigenen Forschungsarbeiten: Enard untersucht, wie der Mensch zur Sprache gekommen ist. Warum kann er als einziges Wesen auf der Erde sprechen? Welche Voraussetzungen bringt er dafür mit? Enard, Professor für Anthropologie und Humangenetik an der LMU, würde es so ausdrücken: „An welchen Genen hat die Evolution geschraubt, damit wir sind, wie wir sind?“

Der Fall der Londoner Familie jedenfalls hat eine erste heiße Spur gelegt. Denn das Gen, an dessen Defekt die halbe Sippe laboriert, spielt ganz offensichtlich eine wichtige Rolle bei der Fähigkeit des Menschen, Laute zu formen und zu sprechen. Mittlerweile liegt die Entdeckung bald 20 Jahre zurück, und das Gen mit dem vergleichsweise einprägsamen Kürzel *Foxp2* hat Karriere gemacht – in Wissenschaftsblättern wie in den Massenmedien. Nicht nur auf dem Boulevard ist es kurzerhand „das Sprachgen“, wahlweise auch das „Grammatikgen“, weil Mitglieder der Familie mit der Syntax ebenfalls ungewöhnlich schlecht klarkommen.

Enard ist mit seinen Auslegungen deutlich vorsichtiger: „Wir haben einen ersten Puzlestein und tatsächlich ein paar stimmige Hypothesen. Es ist aber schon der Wahnsinn, wie weit wir damit gekommen sind.“ Aber was ist überhaupt Sprache, anthropologisch gesehen? „Ein großer kognitiver Komplex, alles, was wir kommunizieren, wie wir denken. Diese Leistungen sind sehr spe-

Eine komplexe Steuerung des Stimmapparates

zifisch für unser menschliches Gehirn, sie prägen einen äußerst vielschichtigen Phänotyp“, sagt Enard. Aber – und das ist der zweite Teil der Antwort – „es geht auch um das Medium, in dem wir Sprache hauptsächlich verwenden: das Sprechen.“

Und auch um das zu lernen, brauchen Menschen die Fähigkeit, etwas Gehörtes, also sinnlich Wahrgenommenes, in ein Motor-, ein Bewegungsmuster umzusetzen. Sie müssen lernen, die Atmung zu kontrollieren, lernen, die Muskeln von Lippen und Zunge, von Mund, Rachen und Gesicht gezielt so zu bewegen, dass sich die Laute richtig formen. Dieses vokale Lernen, sagt Enard, setzt eine sensorische Feedbackschleife voraus: Man hört die eigenen gesprochenen Laute und kann die Bewegungen nachjustieren, um dem Vorbild des Lauten möglichst nahezukommen. Erst die direkte Verschaltung aus dem Cortex, der für die Verarbeitung von Sinneswahrnehmungen zuständig ist, mit den Neuronen im Rückenmark, die die beteiligten Muskeln steuern, erlaubt die neuronale Kontrolle des Stimmapparates. Auch die Schaltkreise über das Striatum, einen Teil der Basalganglien, sind verstärkt, sozusagen auch auf das Sprechenlernen optimiert, vermutet Enard. Die richtigen

Bewegungsabläufe werden gleichsam belohnt, nach Ausschüttung des Neurotransmitters Dopamin. Für den Anthropologen passt das auch mit Beobachtungen im Alltag zusammen: „Wie viel Energie kleine Kinder in das Sprechenlernen stecken! Das ist keine Nebensache für sie, sie sind im ständigen Training, das beginnt schon früh mit dem Babbeln. Und mit zwei Jahren setzt eine richtige Sprechexplosion ein. In dem Alter sind unsere Gehirne echte Lernmaschinen.“ Irgendwann aber schließt sich das Fenster wieder. Danach wird es viel schwieriger, neue Laute zu lernen. „Manche Menschen haben auch nach 30 Jahren in einem fremden Land noch einen saumäßigen Akzent.“ „Das meiste, was wir über vokales Lernen und die neurobiologischen Vorgänge dabei wissen, stammt aus Untersuchungen an Singvögeln“, sagt Enard. Sicher, die meisten Tiere können Laute von sich geben, aber die Fähigkeit dazu ist in aller Regel angeboren und nicht gelernt. Vokales Lernen gibt es nur bei wenigen Spezies. Die Primaten zum Beispiel, nun einmal die nächsten Verwandten des Menschen, haben offenbar überhaupt keinen Hang dazu. „Man hat immer wieder versucht, Schimpansen das Sprechen beizubringen. Das hat nicht gut geklappt. Über ein halbes Dutzend Worte sind sie nie hinausgekommen“, berichtet Enard. Mit einer einfachen Zeichensprache umgehen können sie immerhin besser.

Und so ist es verständlich, dass sich Enard die evolutionäre Brille aufsetzt, sobald es um *Foxp2* geht. Wenn das Sprechen also eine spezifisch menschliche Fähigkeit ist: Lässt sich das auch im Vergleich der *Foxp2*-Gene wiederfinden? *Foxp2* ist schließlich im Tierreich weit verbreitet. Es findet sich in allen Wirbeltieren nahezu unverändert, was darauf hindeutet, dass es in Hunderten Millionen von Jahren in allen Wirbeltieren eine wichtige und ähnliche Rolle spielt. Umso erstaunlicher ist es daher, dass Enard nachweisen kann, dass seit der Trennung von den Schimpansen vor sechs Millionen Jahren zwei von 715 Aminosäurebausteinen

ausgetauscht wurden. „Das ist verdächtig viel für ein Gen, das hochkonserviert ist, sich im Verlauf der Evolution also sonst nur geringfügig verändert hat.“ Zum Vergleich: Die Entwicklungslinien von Mensch und Maus trennten sich schon vor rund 70 Millionen Jahren, in der ganzen Zeit ist nur auf der Linie der Maus eine weitere Aminosäureänderung dazugekommen.

„Das war Teil meiner Promotion“, erzählt Enard. Er ist damals dem Paläogenetiker Svante Pääbo von München an das neugegründete Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig gefolgt. Pääbo ist einer der Gründungsdirektoren dort, mit einer Arbeit über die Sequenzierung gut 4000 Jahre alter DNA aus Mumienewebe ist er Mitte der 1980er-Jahre schlagartig bekannt geworden. Heute gilt er unbestreitbar als die Instanz, wenn es um Erbgut aus Fossilien und archäologischen Funden geht. Enard vergleicht außerdem Genexpressionsmuster von Primaten und Mensch und kann nachweisen, dass viele der beobachteten Änderungen der Genaktivität im Lauf der Evolution die Entwicklung des menschlichen Gehirns betreffen. Beide Aspekte kann Enard im Jahr 2002 hochrangig veröffentlichen, in den renommierten Fachblättern *Nature* und *Science* – nicht gerade alltäglich für einen Doktoranden.

Der nächste Schritt ist für Enard nur logisch: Was passiert, wenn Mäusen die menschliche Variante des *Foxp2*-Gens eingepflanzt wird? In Zusammenarbeit mit einem Speziallabor erzeugen die Wissenschaftler entsprechende Mutanten. Sie behandeln dafür Stammzellen der Maus mit DNA-Abschnitten, die das menschliche *Foxp2*-Gen enthalten. „Rund 2000 Zellen mussten die Wissenschaftler anschauen, bis sie eine hatten, die das Gen eingebaut hatte.“ Daraus Mäuse hochzuzüchten und auszukreuzen, um auch Mutanten zu bekommen, die eine Human- und eine Mauskopie des Gens tragen – „alles Standardtechnologie“.

Foxp2, für das das *Foxp2*-Gen den Bauplan liefert, gehört zu den sogenannten Tran-



Als er anfing, mit dem Gen zu arbeiten, dachte er, es würden bald ähnliche auftauchen, erzählt Wolfgang Enard. „Aber bisher: Fehlanzeige. Keines ist so schön wie *Foxp2*.“ Foto: Marc Müller

skriptionsfaktoren. Das sind Proteine, die an DNA binden und so die Aktivität von Genen steuern, also letzten Endes die Eiweißsynthese gezielt anwerfen oder abwürgen können. Sie tun dies hochspezifisch – und immer im Zusammenspiel mit jeweils einer großen Zahl anderer Transkriptionsfaktoren. Rund 1000 der insgesamt 20.000 verschiedenen Gene, die in jeder menschlichen Zelle vertreten sind, haben solche Steuerungs-

»Humanisierte« Mäuse fielen ein wenig tiefer

funktionen. So entsteht ein riesiges Netzwerk, das fein abgestimmt, situationsabhängig und ortsgenau Entwicklung und Stoffwechsel kontrolliert.

Das macht auch plausibel, warum *Foxp2* in so vielen Zusammenhängen auftaucht, im Verbund kann es auf rund 1000 verschiedene Gene einwirken. In so unterschiedlichen Organen wie Lunge, Magen und diversen Bereichen des Gehirns spielt es in der Entwicklung eine wichtige Rolle, wenn Gewebe entstehen und sich ausdifferenzieren. „Als ich anfing, mit *Foxp2* zu arbeiten, war ich sicher, dass bald weitere Gene auftauchen würde, die wir spezifisch mit der Sprachentwicklung in Verbindung bringen können“, erzählt Enard. „Aber bisher: Fehl-anzeige. Keines ist so schön wie *Foxp2*.“

Die Mausmutanten jedenfalls, die zwei Humankopien des Gens tragen, zeigen nur wenige Besonderheiten, aber die bestätigen seine Hypothesen, sagt Enard. Zunächst prüfen die Forscher die genetisch veränderten Tiere in der sogenannten Mausklarinik am Helmholtz Zentrum München auf Herz und Nieren. Der komplette Checkup mit 200 Parametern lässt kaum Abweichungen der „humanisierten“ Mäuse vom Wildtyp erken-

nen. Am sinnfälligsten vielleicht ist folgendes Detail: Die Tiere fielen etwas tiefer. Anders als ihre Artgenossen reagieren sie auch in einigen Verhaltenstests. So zeigen sie sich weniger umtriebig beim Erkunden. Zudem ist das Dopaminlevel im Gehirn geringer.

All das lasse darauf schließen, sagt Enard, dass die genetischen Veränderungen tatsächlich die Basalganglien des Gehirns beeinflussen, vor allem in den Schaltkreisen des Striatums. So zeigen die Nervenzellen dort nach Stimulation eine verstärkte synaptische Plastizität – eine Reaktion, die für Lernen und Gedächtnisbildung wichtig ist. Mäuse, die in ihren Zellen nur eine intakte Kopie des Gens tragen, zeigen gegenteilige Effekte. Womöglich sind es Veränderungen in genau diesen neuronalen Verschaltungen, die bei Menschen mit ebenfalls nur einer funktionellen Kopie zu Sprachdefiziten führen.

Vor Kurzem kann Enard nachlegen. Offenbar haben die „humanisierten“ Mäuse auch beim sogenannten prozeduralen Lernen die Nase vorn. Das findet der LMU-Wissenschaftler mit einem vergleichsweise einfachen Experiment heraus. Er schickt die Mäuse auf eine T-förmige Laufbahn. Ist der Boden der Bahn rau, gibt es eine Belohnung auf der linken Seite, ist er glatt, wartet sie rechts. Die genetisch veränderten Mäuse bekommen das erkennbar schneller spitz. Der Versuch zeige, erklärt Enard, dass die menschliche *Foxp2*-Variante in die assoziativen und die sensomotorischen Nervenverknüpfungen eingreift.

„Das Gen ändert die Balance in den deklarativen und motorischen Schaltkreisen im Gehirn“, sagt Enard. Auch beim Spracherwerb spielen offenbar bewusste deklarative Fähigkeiten und unbewusstes Wiederholen sowie ein schneller Wechsel zwischen diesen Formen zusammen. „Beim Lernen automatisieren sich die Vorgänge und durch diese Prozeduralisierung lernt man schneller.“ Doch bleibt die nicht nur für einen Anthropologen wichtige Frage: Wann ist die Sprache entstanden? „Das lässt sich nicht sagen“, räumt Enard ein. Ursprünglich habe

er gedacht, die beiden menschen-spezifischen Veränderungen im *Foxp2*-Gen seien in den letzten 200.000 Jahren entstanden. Und angenommen, die Mutationen hätten einen essenziellen Anteil an der frühen Entwicklung der Sprachfähigkeit und lieferten mehr als nur ein „spätes Feintuning“, dann wäre die Geschichte der Sprache kurz. Vorausgesetzt wiederum, „dass das Sprechen vor der Sprache kam“, sagt er. Für wahrscheinlicher halten die meisten Wissenschaftler jedoch die umgekehrte Entwicklungsfolge: „Die Kognition für Sprache hat sich entwickelt, bevor das Sprechen als Medium dem Menschen möglich wurde.“ Doch dann muss Enard das mit den 200.000 Jahren ohnehin revidieren: Den Leipziger Forschern um Svante Pääbo gelingt es, das Genom eines Neandertalers zu sequenzieren. Der Neandertaler ist mit derselben Variante von *Foxp2* wie der moderne Mensch ausgestattet, dabei haben sich die Entwicklungslinien bereits vor etwa 500.000 Jahren getrennt. „Wir wissen schlicht nicht, ob der Neandertaler gesprochen hat, und wenn ja, wie“, sagt Enard. Dass dem Neandertaler dafür die anatomischen Voraussetzungen fehlen, etwa weil sein Kehlkopf nicht tief genug sitzt, lasse sich nicht beweisen. Die Hypothese gründet auf geringfügigen Unterschieden im Knochenbau, die Paläontologen zwischen Mensch und Neandertaler gemessen haben. „Doch diese Abweichungen liegen innerhalb der natürlichen Bandbreite, wie man sie beim Menschen heute findet.“ Die Suche nach dem Ursprung der Sprache also geht weiter. ■

Prof. Dr. Wolfgang Enard

ist Inhaber des Lehrstuhls für Anthropologie und Humangenetik an der LMU. Enard, Jahrgang 1970, studierte Biologie an der LMU. 1998 wechselte er an das Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig; Promotion 2003, Habilitation 2013. Zuletzt leitete Enard am Leipziger MPI eine eigene Nachwuchsgruppe, bevor er 2013 als Professor nach München kam.

Die Rason des Reichs

Frühe Formen von Sozialtechnologie, geschickte Machtpolitik und Elemente absoluter Herrschaft: Karen Radner erzählt von der Geburt des ersten Imperiums an den Ufern des Tigris – vor fast 3000 Jahren.

Von Hubert Filser

Das Ende des Rundgangs markieren fünf effektiv ausgeleuchtete meterhohe Reliefs. Sie zeigen Assurnasirpal II., der von mächtigen geflügelten Göttern beschützt wird. Der assyrische König regierte von 883 bis 859 vor Christus, die riesigen Steintafeln stammen aus dem Palast von Kalhu, dem heutigen Nimrud im Irak. Assurnasirpal herrschte einst über ein Reich, das sich zu Zeiten seiner größten Ausdehnung von etwa 710 vor Christus an über den gesamten östlichen Mittelmeerraum und weite Teile des Mittleren Ostens erstreckte. So gesehen ist es im doppelten Sinne eine gute Idee, sich mit Karen Radner im Museum Ägyptischer Kunst München vor diesen Reliefs zu treffen, wenn man etwas über die Ursprünge von Imperien erfahren möchte: Das Neassyrische Reich gilt tatsächlich als das erste Imperium der Weltgeschichte. Und die Historikerin kommt gleich ins Erzählen – über frühe Formen von Sozialtechnologie, geschickte Machtpolitik und die Elemente absoluter Herrschaft.

„Beim Imperium geht es nicht um die Größe, da führt der deutsche Begriff Großreich oft in die Irre“, sagt Radner. „Es geht darum, dass eine kleine Gruppe von Leuten die breite Masse von Menschen so steuert, dass sie diese optimal nutzen und ausbeuten kann. Das lässt sich durchaus mit modernen Firmenimperien vergleichen.“ Radner, die jetzt mit einer Humboldt-Professur, dem höchstdotierten deutschen Forschungspreis, an die LMU kommt, gehört zu den international führenden Experten für die Alte Geschichte des Nahen und Mittleren Ostens,

insbesondere des Assyrischen Reichs. Und genau dieses Reich ist ein ideales Beispiel dafür, wie aus einem kleinen Königstum unter vielen im Lauf von wenigen Jahrhunderten das erste Weltreich wird, fast ein Jahrtausend vor dem Römischen Reich.

Die Geschichte des ersten Imperiums beginnt im 14. Jahrhundert vor Christus. Zu dieser Zeit wurde das Klima im Mittelmeerraum und im Mittleren Osten immer trockener, was viele Konkurrenten Assurs in Bedrängnis brachte. Das einst mächtige Ägypten und das Hethiterreich zerfielen in klei-

In einer Folge von Feldzügen

nere Staaten, auch Babylonien hatte mit der Trockenheit und dramatischen Ernteaussfällen zu kämpfen. Überall grassierte der Zerfall, Umstürze häuften sich.

Nur Assyrien überstand die Wirren am Ende der Bronzezeit relativ unbeschadet, stark begünstigt von seiner geopolitischen Lage. Das Land an den Ausläufern des Zagros- und des Tauros-Gebirges hatte genügend Niederschläge, die Wasserversorgung und so auch die Ernährung der Bevölkerung waren weitgehend gesichert. Das Kernland war zudem durch den mächtigen Fluss Tigris gut vor Feinden geschützt. Aus diesem kleinen Vorteil wurde ein großer, als die Herr-

scher von Assur im 10. Jahrhundert vor Christus begannen, ihre in früheren Jahrhunderten verlorenen Gebiete zurückzuerobern. Assyrien sollte wieder so mächtig werden wie zuvor. Man wollte die Assyrer, die es versprengt hatte, heim ins Mutterland holen, so jedenfalls begründeten die assyrischen Könige ihre Expansionsstrategie, der die neu entstandenen Kleinstaaten des Mittleren Ostens sukzessive zum Opfer fielen.

Aber die Herrscher wussten auch, dass sie sich von den alten, überkommenen Strukturen befreien mussten, um ein wirklich modernes Reich aufbauen zu können. Und tatsächlich formten sie im 9. Jahrhundert vor Christus aus einem Königreich, wie es in der Region nicht selten vorkam, das erste Imperium in der Weltgeschichte. In den folgenden Jahrhunderten wuchs es an Größe und Bedeutung, die assyrischen Könige eroberten bis ins 7. Jahrhundert in einer Folge von Feldzügen das heutige Syrien, Teile des Libanon, Israels und Jordaniens, Regionen im Westiran und in der Osttürkei und am Ende auch Ägypten.

Beim Aufbau der Weltmacht Assyrien spielten Assurnasirpal II. und sein Sohn Salmanassar III. zentrale Rollen. Sie verlegten den Regierungssitz von Assur nach Kalhu. „Ein entscheidender Schritt“, so Radner. Denn eine neue Hauptstadt erlaubte es ihnen, völlig neue Machtstrukturen zu etablieren und in neuen Größendimensionen zu planen. Zudem formten sie den gesamten Staatsapparat neu – und vergaben die wichtigen Positionen nach ihren Wünschen.

Die Art, wie sie das taten, kam einem Coup gleich. Eine Schlüsselfrage für absolute



Harter Kämpfer, zugewandter König – so ließen sich die assyrischen Herrscher darstellen: Bildnis Salmanassars III.
Foto: Z. Radovan/Bible Land Pictures/AKG

Herrscher war immer, mit wem sie die Macht teilten. Die assyrischen Könige entschieden sich für eine spezielle Kaste von Staatsdienern: Eunuchen, kastrierte Männern. Eunuchen lebten auch zuvor schon im königlichen Haushalt – aber im neuen System kam ihnen eine Schlüsselrolle zu und sie bildeten das Rückgrat der Provinzverwaltung. Der Staat investierte früh in ihre Ausbildung, bereits im Kindesalter mussten

Machtsymbolik als Vorläufer politischer PR

sie ihre Familien verlassen, um in seiner Obhut als Staatsdiener aufzuwachsen.

„So entstand eine gebildete Elite, die gut zu kontrollieren war“, sagt Radner. „Eunuchen haben nun mal keine Nachkommen.“ Das sei ein ziemlich drastischer Schritt gewesen, aber er habe gewährleistet, dass der König die Macht auf sich und wenige Menschen in seinem Umfeld konzentrierte. „Sie schafften mit den Eunuchen eine Klasse von Beamten, an die sie Macht delegierten, ohne dass sie zur Konkurrenz werden konnten.“ Gleichzeitig achteten die absoluten Herrscher Assyriens auf ihr öffentliches Image. Zahlreiche Bildendenkmäler zeugen davon. Nur ein Teil zeigt den König als starken Kämpfer, der gnadenlos gegen Feinde vorgeht. Andere weisen ihn als barmherzigen und offenen Mann aus, der über sein Volk wacht und immer ansprechbar ist – und der wie auf den Reliefs im Münchner Museum Ägyptischer Kunst von den Göttern beschützt wird. Die Symbolik der Macht wurde immer wichtiger, wenn man so will, war dies bereits eine Frühform von politischer PR.

Um die Machtstrukturen auf das ganze Land ausdehnen zu können und im ständigen schnellen Austausch mit den Statthaltern

zu sein, führte man weitere Neuerungen ein, die strukturell enorm wichtig waren und zudem für eine große Weitsicht sprechen: Ein Postwesen machte eine neue Qualität in der Informationsübermittlung möglich, ohne die sich ein solches Riesenreich nicht hätte zentral lenken lassen. Eine Kette von Boten transportierte wie beim Staffellauf die königlichen Botschaften über ein Netz spezieller Poststationen. „Das ist revolutionär“, sagt Radner. „Bis zur Einführung von Eisenbahn und Telegraf gab es keine Neuerung, die einen größeren Geschwindigkeitsvorteil gebracht hätte.“ Es war ein weiterer wichtiger Schachzug.

Salmanassar III. ließ das Netz der staatlichen Poststationen auf- und ausbauen. Alle 35 bis 40 Kilometer befand sich so eine Station. „Das war in etwa die Strecke, die ein Maultier leicht bewältigen konnte“, erklärt Radner. Auch wurden diese Tiere, eine Kreuzung von Pferd und Esel, damals eigens dafür gezüchtet. Sie sind genügsamer als Pferde, widerstandsfähig und merken sich die Wege auch im unwegsamen Gelände sehr gut. Anders als etwa später im Römischen Reich gab es in Assyrien kein gepflastertes Straßennetz.

Der Unterhalt dieses Postnetzes war extrem teuer. Dass die Herrscher es sich leisteten, zeigt, wie wichtig ihnen die Infrastruktur war. „Das war eine bewusste Investition“, sagt Radner. Die Boten transportierten die in Keilschrift auf Tontäfelchen geschriebenen Briefe in tönernen Kuverts – anders als das Relaisystem in der Nachrichtenübermittlung war das Postgeheimnis damals bereits mehr als 1000 Jahre alt. Nur selten findet man ungeöffnete Briefe; bei einem der wenigen erhaltenen Exemplare, einer Petition, ist klar, warum. „Mein Gott, jetzt schreibe ich schon zum dritten Mal“, schreibt der Beschwerdeführer an einen offenbar auch weiterhin nicht hilfsbereiten Beamten. Die Briefe der assyrischen Staatskorrespondenz waren mit einem staatlichen Dienstsiegel verschlossen. Seit der Regierungszeit Salmanassars bekam jeder höhere Beamte

einen goldenen Ring mit dem Königssiegel, ein exklusives Zeichen seiner Staatsdiener-schaft. Es zeigte den König in einer prägnanten Reduktion auf seine zentrale Rolle als Landeshirte, wie er einen Löwen tötet – als Symbol für alle Gefahren, die dem Staat drohen konnten.

Karen Radner mag solche Details. Denn hier kann sie mit ihrer breit angelegten Forschung verschiedene Zugänge kombinieren. Die materiellen Befunde liefern etwa die alten, in seltenen Fällen bis heute noch verschlossenen Briefe, andere Textquellen erklären, wie das Postsystem funktionierte, umweltbezogene Informationen bestätigen, dass etwa Maultiere im gebirgigen Gelände der nördlichen assyrischen Gebiete oder im trockenen Westen tatsächlich große Vorteile brachten. So wird Alte Geschichte zu einer spannenden Detektivarbeit.

Mit klarer Beweisführung: Denn all diese Neuerungen ergeben zusammen einen klaren Plan, mit dem die absoluten Herrscher ihre Macht festigten und über Jahrzehnte langsam ausbauten. Der Plan setzte aber auch voraus, dass sie dafür genug Geld hatten. Die Herrscher waren also parallel dazu gezwungen, Wohlstand zu produzieren. Sie erkannten, dass das größte Kapital eines Imperiums die Menschen sind, so Radner, vor allem die mit Wissen und speziellen Fähigkeiten. Sie lockten die Menschen mit Qualifikation in die neue Hauptstadt, gleichzeitig zwang man später auch Familien aus eroberten Gebieten, sich in der Hauptstadt Kalhu und den späteren Königsstädten wie Ninive anzusiedeln. „Die Herrscher wollten keine Parallelgesellschaften“, sagt Radner. Sie setzten auf Integration und neue gesellschaftliche Strukturen.

Je größer das Reich wurde, umso mehr mussten die Herrscher auf Akzeptanz achten. Es gab eine Reihe von Integrationsmaßnahmen für Menschen mit Migrationshintergrund, wie man heute sagen würde. So führte man neben der assyrischen Sprache, geschrieben in Keilschrift, als zweite Amtssprache Aramäisch ein, das viele Menschen



Am Baum des Lebens: Relief aus der Zeit Assurnasirpals II.,
Kalhu (Nimrud). Foto: IAM/akg-images

aus den eroberten Gebieten sprachen und das als Alphabetschrift eine weite Verbreitung hatte. Zudem integrierte die Reichskunst, die Tempel und öffentliche Gebäude zierte, immer häufiger Elemente der eroberten Völker. Neuankömmlinge bekamen Felder und Häuser zur Verfügung gestellt. „Es gab sogar ein staatliches, mit viel Geld gefördertes Programm für die Eheanbahnung zwischen Einheimischen und Fremden.“ Auch an solchen Maßnahmen lasse sich erkennen, was im Mittelpunkt des assyrischen Imperiums stand: „Es ging nicht um die Verbreitung einer Ideologie, es ging um den wirtschaftlichen Nutzen. Der Staat wollte die Menschen kontrollieren und für sich ausnutzen.“ Diese Dominanz aller späteren Weltreiche sei hier schon klar erkennbar. Als Folge dieser Politik erlebte die ursprüngliche assyrische Gesellschaft im Lauf der Jahrhunderte einen dramatischen Wandel. „Solch einen Verlust an Identität im Kernland gab es in fast allen Weltreichen“, sagt Radner. „Schauen Sie nur ins heutige London, die Hauptstadt des Britischen Empire, auch hier wurden im Lauf der Jahrhunderte englische Traditionen durch eine viel breitere, britische Identität ersetzt.“ Radner lebte mehr als zehn Jahre in London, ehe sie jetzt nach München umzog. „Die aktuelle Diskussion um die Eigenständigkeit Schottlands hat die Engländer zum Nachdenken gebracht. Viele merken plötzlich, dass sie bei all ihrer Empire-Vergangenheit gar nicht mehr wissen, was England eigentlich ausmacht.“ Solche Aussagen sind für Karen Radner nicht untypisch, stets versucht sie, die Alte Geschichte des Nahen und Mittleren Ostens nicht nur in Bezug zur Weltgeschichte zu setzen, sondern auch zu anderen Epochen. Sie verliert dabei nicht den Blick für kleine, skurrile Geschichten. So erzählt sie von alten Tempelritualen für den Hauptgott, vom „Kochen für Assur“, wie sie es nennt. Der Gott bekam jeden Tag von einem umfangreichen Küchenteam seine Speisen zubereitet. „Bis zum 10. Jahrhundert war das wohl



Alte Geschichte als Detektivarbeit: Karen Radner rekonstruiert die Zeit des assyrischen Imperiums aus einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen. Foto: LMU

eher fad“, sagt Radner. „Es gab jeden Tag Gerstengerichte mit Schafffleisch und dazu Obst.“ Mit den Eroberungen wurden die Zutaten und die Speisen üppiger, das Büfett immer länger. Ägyptische, levantinische, anatolische, iranische und babylonische Vor-, Haupt- und Nachspeisen kamen hinzu, das ganze Reich in seiner kulinarischen Vielfalt. „Es war die Küche der Welt, gekocht mit Zutaten aus der gesamten assyrisch kon-

Pragmatisch selbst in religiösen Fragen

trollierten Welt.“ Nach der Zeremonie wurden die Speisen nach einem Schlüssel an den Königshof und die Beamten im ganzen Reich verteilt und von diesen verzehrt. So nahm nicht nur der König, sondern ganz Assyrien als Speisegemeinschaft am Mahl Assurs teil. Diese Anekdote zeige, sagt Radner, wie pragmatisch die Herrscher sich selbst in den so wichtigen religiösen Dingen verhielten. Die Gottheiten der integrierten Gebiete weilten als Gäste Assurs an dessen Tempel. Irgendwann fand sich im immer umfangreicheren Tempelkult von Assur plötzlich auch die ägyptische Gottheit Horus als Nebengott wieder.

So viel Nähe zu den neuen Bürgern des Reiches kam offenbar an. Das mächtige Zentrum im Norden des heutigen Iraks war für die Neuankömmlinge durchaus attraktiv. Umfangreiche Briefwechsel dokumentieren dies. Interessierte konnten prinzipiell an den König schreiben und sich um eine Stellung am Hof bewerben. Radner erzählt vom Brief eines renommierten Astronomen aus Babylon, der sich und seine 20 Mitarbeiter an den Königshof bringen wollte.

Äußerst detailreich kann man aus diesen erhaltenen Tafeln die Alltagsgeschichte

rekonstruieren. Neben Briefen und Urkunden sind gerade aus Ninive, dem heutigen Mossul im Irak, auch mehr als 25.000 Tontafelfragmente einer gewaltigen Bibliothek erhalten, die im 7. Jahrhundert vor Christus König Assurbanipal anlegen ließ. Es ist die größte Sammlung von Literatur- und Forschungstexten des Alten Orients – und das, obwohl Wachstafeln, Lederrollen und Papyrus, auf denen große Teile der Texte festgehalten wurden, beim Fall von Ninive im Jahr 612 zerstört wurden.

Die Tontafeln, die heute vorwiegend im British Museum in London lagern und noch längst nicht umfassend ausgewertet sind, bezeugen, wie wichtig es den Königen war, Wissen zu kontrollieren. Neben literarischen Texten wie dem Gilgamesch-Epos, Liedern und Gebeten waren vorwiegend wissenschaftliche Texte in der Bibliothek gespeichert, oft auch in mehreren Kopien, allen voran aus den Bereichen Astronomie, Medizin im weiteren Sinne und einem aus heutiger Sicht eigenwillig anmutenden Fachgebiet: der Leberschau. Für diese Form des Orakels, das wichtige Zukunftsfragen anhand einer Schafsleber beantwortete, gab es einen ausgefeilten Begutachtungsplan – und deshalb auch viel Literatur.

Einen Eindruck, der die Einschätzung Assyriens in der Weltgeschichte stark prägt, will Radner mit ihrer Arbeit korrigieren: „Die Assyrer werden oft als reine Militärmacht dargestellt.“ Die Armee war aber nur Mittel zum Zweck, sagt Radner, auch für Herrscher wie Assurnasirpal, der auf Reliefs gern als mächtiger Feldherr und unerbittlicher Kämpfer erscheint. „Die Herrscher erkannten durchaus, dass die Armee auch ein Problem darstellen kann, als schwer zu kontrollierender Machtfaktor“, sagt Radner.

Deshalb investierte das Königshaus zwar viel in militärische Techniken, führte etwa im 9. Jahrhundert die Kavallerie ein, eine berittene, gut trainierte Einheit. Auch die Streitwagen ließ es technisch weiterentwickeln, sie waren schließlich als eine Art Panzer mit bis zu vier Soldaten besetzt. Zudem

wurden die Berufssoldaten aus den Heeren eroberten Staaten eingegliedert. Die assyrischen Königen achteten aber offenbar strikt darauf, dass sich mit der Armee keine parallelen Machtstrukturen etablieren konnten. Heere wurden jeweils eigens für einen Feldzug neu zusammengestellt.

Bei all der Kontrolle und Dominanz, mit der die Herrscher über die Bevölkerung wachten, waren die Möglichkeiten zum direkten Kontakt mit ihren Untertanen für den Zusammenhalt des Reiches unerlässlich. Die Herrscher des 7. Jahrhunderts vernachlässigten diesen Aspekt des Regierens zunehmend, anders als ihre Vorgänger; die Loyalität zum assyrischen Königshaus schwand, nach mehr als 1000 Jahren Regentschaft einer einzigen Herrscherfamilie. So fehlte letztlich die Macht, das fragile Gefüge länger zusammenzuhalten. Das Assyrische Reich endete im Zuge der Angriffe der Babylonier und der Meder auf das Kernland. Der Fall von Ninive im Jahr 612 vor Christus hatte im Übrigen für die Geschichtswissenschaft einen nicht unerheblichen Nebeneffekt. Als die Stadt niederbrannte, sorgte dies für die Konservierung der Tontafeln aus den Staatsarchiven und der Königsbibliothek – und bewahrte damit einen außerordentlich reichen Quellenschatz. Es war das Ende des ersten Weltreichs. Es sollte nicht der letzte Untergang eines Imperiums sein. ■

Prof. Dr. Karen Radner

tritt im August 2015 die Humboldt-Professur für die Alte Geschichte des Nahen und Mittleren Ostens an der LMU an. Radner, Jahrgang 1972, studierte an der Universität Wien und der FU Berlin und promovierte in Altorientalischer Philologie und Orientalischer Archäologie in Wien. Anschließend forschte sie an der Universität Helsinki und an der LMU, wo sie sich im Fach Assyriologie habilitierte. Von 2005 an lehrte und forschte sie am University College London (UCL), seit 2010 als Professor of Ancient Near Eastern History.

The image features a sculpture of a hand holding a large, rough, brown rock. The hand is rendered in a smooth, light-colored material, possibly marble or plaster, and is positioned as if grasping the rock. The rock itself is highly textured and appears to be made of a different material, possibly terracotta or a similar earthy substance. The background is dark, making the sculpture stand out. The overall composition is dramatic and emphasizes the contrast between the smooth hand and the rough rock.

Der Gott aus dem Exil

Ohne die „babylonische Gefangenschaft“ gäbe es keinen Monotheismus mit Schöpfungsmythos, sagt Friedhelm Hartenstein. Den anfangslosen Anfang historisch zu verstehen, ist nicht nur für den Theologen eine Herausforderung.

Von Maximilian Burkhardt

Die Hand Gottes: Auguste Rodin fertigte die Plastik um das Jahr 1900.
Foto: akg-images/Jean-Claude Varga

Am Anfang“ – oder vielleicht genauer am Anfang des Anfangs – „schuf Gott Himmel und Erde. Und die Erde war wüst und leer, und es war finsternis auf der Tiefe; und der Geist Gottes schwebte über dem Wasser.“ So beginnt die Genesis. Das 1. Buch Mose ist aber nicht nur der Anfang des Alten Testaments, die Genesis ist vielmehr Grundlage und Grund der drei großen monotheistischen Religionen: Judentum, Christentum und Islam. Doch der Anfang ist nicht der Anfang. Denn die Genesis in ihrer jetzt überlieferten Form ist relativ spät entstanden. Nach traditioneller Sicht der Forschung um 550 vor Christus, nach heutiger Sicht eher kurz nach dem „Babylonischen Exil“, sagt Friedhelm Hartenstein, Professor für Altes Testament II an der Evangelischen Fakultät der LMU. 587/86 vor Christus erobert der babylonische Herrscher Nebukadnezar II. Jerusalem und das Königreich Juda. Damit beginnt das fast 60 Jahre währende Babylonische Exil der Juden; weggeführt wurden aber nur Teile der Oberschicht. Es endet mit der Eroberung Babylons durch das aufstrebende Persische Weltreich unter Kyros II. Wann aber und wie ist der Monotheismus in die Welt gekommen? Das ist eine Frage, mit der sich Hartenstein als Experte für die Religionsgeschichte Israels im altorientalischen Kontext beschäftigt. Abrahamitisch werden die drei großen monotheistischen Weltreligionen auch genannt. Und wirklich ist in den biblischen Erzvätererzählungen diejenige von Abraham, den Juden und Araber gleichermaßen als Stammvater betrachten, und seinem Neffen Lot eine der relativ ältesten; sie stammt wohl aus dem 8. oder 7. Jahrhundert vor Christus. Sie ist ein Teil des Buches Genesis und des Tanach, wie das Alte Testament auf Hebräisch heißt. Es ist eine der Geschichten von der Besiedlung des Heiligen Landes. Aus dem im heutigen Irak liegenden Urkommend wandert Abraham nach Kanaan, wo Lot ins Jordantal zieht. Auch die Erzählungen um Streit und

Versöhnung von Abrahams Zwillingssöhnen Jakob und Esau sowie über die Ereignisse am Hofe König Davids gehören zum älteren Kernbestand des Alten Testaments. Wie die Erzählungen über den Propheten Elia und seine Konflikte mit den Anhängern des Baal sind die ältesten Teile des Tanach nach heutiger Sicht ab dem 9. Jahrhundert vor Christus entstanden.

Damals aber war Gott nicht allein – zumindest im Glauben der Bevölkerung. An seiner Seite herrschte vermutlich seine Begleiterin Aschera, deren Bildnis König Manasse, der das Königtum Juda von 696 vor Christus an mehr als 60 Jahre regierte, sogar im Jerusalemer Tempel zur Anbetung aufstellen ließ – so stellt es die spätere Geschichtsschreibung der Königebücher dar, die freilich auch tendenziös ist. Eine Gott zugeordnete weibliche Größe ist, davon geht Friedhelm Hartenstein wie die meisten Theologen heute aus, ein durch Grafitti und Grabinschriften archäologisch belegbarer Glaubensinhalt gewesen; dabei streitet die Forschung aber darüber, ob es sich bei Aschera um eine Göttin oder nicht eher um eine depersonalisierte Segensgröße handelt, die im Kult durch einen Holzpfeiler repräsentiert wurde.

Jedenfalls hat Aschera ihren Platz im 2. Buch der Könige gefunden: „Er [Manasse] setzte auch das Bild der Aschera, das er gemacht hatte, in das Haus, von welchem JHWH gesagt hatte: In dies Haus und nach Jerusalem, das ich erwählt habe aus allen Stämmen Israels, will ich meinen Namen setzen ewiglich.“ In der vorexilischen Zeit der beiden Königreiche Israel und Juda, also zwischen 926 und 587/86 vor Christus, war das werdende Judentum demnach noch nicht im strengen Sinn monotheistisch. JHWH, wie der Eigenname des Gottes Israels lautet, war aber der Hauptgott der beiden eisenzeitlichen Staaten, wobei auffällt, dass sich keine Spuren dafür finden, dass er schon im 2. Jahrtausend vor Christus, in der Bronzezeit, in Palästina beheimatet gewesen wäre.

Ursprünglich war JHWH, sagt Hartenstein, ein Wettergott. Seinen Wohnsitz hatte er vermutlich im Gebirge Edoms, in der südlichen Wüste also, wo die biblischen Texte auch den Sinai verorten. Wie aber wurde aus einer lokalen Berg-Gottheit, für die es keine außerbiblischen Zeugnisse gibt und die noch nicht einmal dem historischen Siedlungsgebiet der Juden entstammte, der alleinige Schöpfer der Welt? Diese „Karriere Gottes“, glaubt der Religionshistoriker und Alttestamentler, verdankt sich einer Reihe von Umständen, unter anderem der Geografie. Das jüdische Kernland ist, anders als die niederschlagsarmen Bewässerungskulturen Ägyptens oder Südmesopotamiens, fruchtbares Bergland mit regelmäßigen Niederschlägen.

Wie für das antike Ägypten der Sonnengott Re und die zyklisch wiederkehrenden Nilhochwasser höchste Priorität hatten, so genoss ein Wettergott im altisraelitischen Pantheon eine privilegierte Stellung, führt Hartenstein aus: Diesen Wettergott brachten gegen Ende des 2. vorchristlichen Jahrtausends vielleicht asiatische Nomadengruppen, die sogenannten Schasu, aus der Wüste mit nach Israel und Juda. JHWH sei also „ein eingewanderter Gott“, der gewissermaßen, so das biblische Narrativ, mit Moses aus Ägypten kam.

Im Gebiet des heutigen Israel wurden vorher andere Götter verehrt, sagt Hartenstein und skizziert das dichte Netz von Bezügen: Einer dieser Götter etwa war Choron, eine Pest-Gottheit, und die kanaänische Göttin Aschirat. Angebetet wurde aber auch der in der hebräischen Bibel mit stark negativen Emotionen besetzte Baal. Wie JHWH war auch Baal zunächst ein Wettergott, dem zum Beispiel in Ugarit, einer um 1200 vor Christus zerstörten nord-syrischen Hafenstadt, gehuldigt wurde. Als obersten Gott verehrten die Kanaaniter, die noch vor den Juden im Gebiet des heutigen Jerusalems siedelten, hingegen El, auch Il genannt. Dem ugaritischen El in manchem vergleichbar war wiederum der

mesopotamische Schöpfungsgott Enki. Er wurde schon im dritten Jahrtausend vor Christus verehrt im Zweistromland, das ja als Wiege der menschlichen Hochkultur gilt. Der mesopotamische Enki und der kanaanäische El sind alte Vätergötter, die sich im Glauben der eisenzeitlichen Israeliten, also ab etwa 1000 vor Christus, vermutlich mit JHWH verbunden haben. Interessant ist dabei, dass ein wichtiges Wort für „Gott“ im Alten Testament, Elohim, eigentlich ein Plural ist.

Spektakuläre Keilschriftfunde seit dem Ende der 1920er-Jahre aus Ugarit/Ras Shamra belegen eine große Nähe alttestamentlicher Passagen mit literarischen, wirtschaftlichen und mythischen Texten der Ugariter. Im Licht dieser bronzezeitlichen Texte, die aus der zweiten Hälfte des 2. Jahrtausends vor Christus stammen, zeigt JHWH auffallende Ähnlichkeiten ausgerechnet mit dem in der Bibel geschmähten Baal, stellt Hartenstein fest.

Zunächst hatte Baal keinen Götterpalast, den er sich erst im Kampf mit anderen Göttern, darunter vor allem Jammu, dem Meeresgott, erringen musste. Er thronte auf einem wolkenumhangenen Berg – in einem „Wolkenpalast“ sozusagen. Ganz ähnlich hat man sich in Jerusalem JHWHs Wohnsitz auf dem Zion hoch bis in den Himmel aufragend vorgestellt. Der Glaube an einen Gott in den Wolken könne durchaus von dieser ganz konkreten Anschauung kommen, vermutet Hartenstein und folgert: Wie Baal auch war „JHWH gewissermaßen ein ‚homo novus‘, der den Aufstieg zum Übergott schaffte“. Besonders im Nordreich Israel bis 720 vor Christus, erklärt Hartenstein, war Baal beheimatet: „Er wurde zum Gegenspieler JHWHs einfach, weil er als Wettergott JHWH zu ähnlich war.“ Entscheidend für die spätere Alleinstellung JHWHs ist aber, so der Alttestamentler weiter, die Zeit des Babylonischen Exils, das 6. Jahrhundert vor Christus.

Im Umfeld der babylonischen Hochkultur, in die die jüdischen Eliten von Nebukad-

nezar II. verschleppt wurden, liegen die entscheidenden Ursprünge des jüdischen Monotheismus, sagt Alttestamentler Hartenstein: „Der Umschlagpunkt ist schwer zu bestimmen. Festhalten lässt sich: Die Beschneidung, der wöchentlich wiederkehrende Sabbat und das schöpfungstheologisch begründete Bilderverbot als Konkretion der Alleinverehrung JHWHs sind die drei zentralen Kennzeichen des jüdischen Monotheismus – und sie dienen der Etablierung einer eigenen jüdischen Identität in der Diaspora.“

Um im Exil überhaupt eine eigenständige Identität behaupten zu können, bedarf es einer klaren Unterscheidung zwischen der sich nun als Religion etablierenden jüdischen Gemeinschaft und der Umwelt. So diente die Beschneidung auch der sichtbaren Markierung dieses Unterschieds, ebenso der Sabbat. Denn in der babylonischen Kultur wurde mit diesem Namen der monatliche Vollmond bezeichnet und nicht der siebte Tag der Woche. Auch das schöpfungstheologische Bilderverbot diente der Abgrenzung: „Nichts Geschaffenes kann JHWH und seine Allmacht repräsentieren.“ So lassen sich konkurrierende Religionen, die wie Ägypter, Assyrer, Babylonier, Kanaaniter, Griechen oder Römer ihre jeweiligen Gottheiten als Kultbilder in Tempeln verehren, als „Götzendienst“ ablehnen.

Nicht die Genesis, die Erzählung des Anfangs, gibt also allein Auskunft über den Übergang der JHWH-Verehrung zum Monotheismus, sondern auch andere alttestamentliche Texte wie die Psalmen. Manche dieser lyrisch gebundenen liturgischen Verse haben schon während des Babylonischen Exils ihre heutige Form gefunden und beklagen den Untergang Jerusalems: „Gott, warum verstößest du uns so gar und bist so grimmig zornig über die Schafe deiner Weide?“, heißt es etwa in Psalm 74: „Gedenke an deine Gemeinde, die du vor alters erworben und dir zum Erbteil erlöst hast, an den Berg Zion, darauf du wohnest.“ Der Psalm betont an anderer Stelle:

„Gott ist ja mein König von alters her.“ Anders als es Psalm 137 nahelegt („An den Wassern zu Babel saßen wir und weinten“), konnten die Juden in Babylon ein einigermaßen selbstbestimmtes Leben führen und ihrem Gott JHWH huldigen. Es war in der Folgezeit auch für sie möglich, im neuen kulturellen Umfeld Fuß zu fassen. Viele von ihnen blieben dann auch in der Perserzeit in Babylon und kehrten nicht nach Juda zurück. „Um die jüdische Identität auch in der Diaspora aufrechtzuerhalten, mussten sich die Juden von ihrem Umfeld abgrenzen“, erklärt Hartenstein. Sonst drohte nicht nur Identitätsverlust, sondern der Untergang als Volk.

In Psalm 74, der auf den Untergang Jerusalems reagiert, kulminieren daher alle wichtigen Attribute JHWHs als alleinigem Gott: JHWH hat eine Herkunft („Berg Zion“), er unterhält eine privilegierte Beziehung zu den Juden („deine Gemeinde“) und ist Alleinherrscher („mein König“). Dazu kommt – in dieser Betonung neu – seine Macht als anfänglicher Schöpfer der Welt: „Du hast das Meer gespalten durch dein Kraft [...] du hast gemacht, daß Sonne und Gestirn ihre sichere Bahn haben.“ Doch der Schöpfungsgedanke als solcher ist es noch nicht, der Monotheismus und Polytheismus unterscheidet. Auch Babylons Hauptgott Marduk, der im Alten Testament Bel, „Herr“, heißt, entwickelte sich vom lokalen Stadtgott schon im 2. Jahrtausend vor Christus zum Schöpfergott, dem im babylonischen Schöpfungsmythos Eluma Elisch gehuldigt wird. Marduk vereint darin die Eigenschaften zahlreicher anderer Götter in sich, was in seinen 50 Namen versinnbildlicht wird.

Welche Aspekte am Schöpfungsgedanken sind es dann, die zur Unterscheidung von babylonischer Götterwelt und dem altisraelitischen JHWH führen? Hartenstein hat dazu schon in seiner Dissertation zur „Unzugänglichkeit Gottes im Heiligtum“ von 1997 herausgefunden, dass die Funktion der Schöpfung für eine Religion entschei-



Eine Suche nach dem Ursprung: Im Alten Testament „ist Gott in seinem Anfang nicht thematisiert“, sagt Friedhelm Hartenstein. Foto: Greune

dend ist: „Schöpfung beinhaltet zwei Aspekte. Erstens: Was geschah am Anfang? Und zweitens: Wie kann die Schöpfung erhalten werden – von Seiten der Menschen zum Beispiel durch Opfer, Kulte oder königliches Handeln? Der Schöpfungsgedanke wird im alten Israel ganz neu wichtig, weil mit der Zerstörung des Jerusalemer Tempels 587/86 vor Christus die Einheit der Welt, die Tempel und Königtum garantiert haben, auseinanderzufallen droht. Damals entstanden Klagelieder wie Psalm 74 als Reflexion über den vermeintlichen Rückzug Gottes. Gott hat sich verborgen, die Geschichte auf der Ebene der Menschen, der Sieg der Babylonier, zeigt dies an – aber die Schöpfungsordnung besteht trotzdem weiter. Sie wird nun viel grundsätzlicher als zuvor in ihrer Bedeutung erkannt, weil sie viel größer ist als die menschlichen Zeitläufte und weil sie auf den eigenen einzigen Gott zurückgeht und seine Präsenz anzeigt. Der Schöpfungsmythos dient damit der Selbstvergewisserung in einer Zeit, in der die äußere Ordnung zusammengebrochen war.“

Das Urchaos, das JHWH in Himmel und Erde scheidet, und den Urozean aus Genesis 1 („Der Geist Gottes schwebte auf dem Wasser“) gab es ähnlich auch in den Kos-

mogonien der Phönizier, Mesopotamier und Ägypter. Was den priesterlichen Bericht in der Genesis aber unterscheidet, ist der Umstand, dass JHWH nun selbst als anfangslos erscheint. Das Alte Testament kennt keine Proto-Götter, die als Eltern des Schöpfergottes auftreten und damit eine Genealogie begründen, wie zum Beispiel den babylonischen Enki und seinen Sohn Marduk. JHWH – der Gott, der anfangs aus der Wüste und jetzt aus dem Exil kam – hat keine erzählbare Herkunft: „Gott ist in seinem Anfang nicht thematisiert, er ist nicht Teil des Weltgeschehens – und das unterscheidet den JHWHismus vom Kosmotheismus der altorientalischen Religionen“, erklärt Hartenstein den Unterschied. Darin manifestiere sich aber keine absolute Überlegenheit des Monotheismus, betont der ordinierte LMU-Wissenschaftler, sondern der Monotheismus Israels/des Judentums bilde historisch gesehen einfach eine „individuelle Gestalt der Religionsgeschichte“. Noch heute aber stellt sich die Frage, wie sich eine kritische Hermeneutik, die den Glauben und seinen Ursprung historisiert, mit der Forderung nach einer überzeitlichen Wahrheit der „Heiligen Schrift“ trägt. Natürlich relativiere die historisch-kritische Arbeit an den Ursprüngen des

Alten Testaments die Sicht auf den heiligen Text: Altes und Neues Testament, darauf legt Friedhelm Hartenstein in der Tradition Luthers großen Wert, bilden in theologischer Perspektive ein zusammenhängendes Textkorpus. Denn das Christentum lasse sich eben nicht allein aus dem Neuen Testament verstehen, auch wenn beide Schriftsammlungen ganz verschiedene Ursprünge haben und sich miteinander auch widersprechen, wie nicht nur das Beispiel „Auge um Auge“ (Altes Testament) versus „Liebe deinen Feind“ (Neues Testament) zeigen. Die aus historischer Forschung und hermeneutischer Exegese erwachsenen Spannungen gelte es auszuhalten und fruchtbar zu bearbeiten. Darin liegt für Hartenstein Auftrag und Zumutung des Glaubens heute. ■

Prof. Dr. Friedhelm Hartenstein

ist seit 2010 Inhaber des Lehrstuhls für Altes Testament II an der Evangelisch-Theologischen Fakultät der LMU. Hartenstein, Jahrgang 1960, studierte Evangelische Theologie, Assyriologie und Vorderasiatische Archäologie in München, Jerusalem und Bonn. Er promovierte an der LMU, habilitierte sich in Marburg und war Professor für Altes Testament und Altorientalische Religionsgeschichte an der Universität Hamburg.



Das Heer der Fliegen: Sammlung von Drosophila-Mutanten. Foto: Jan Greune



Flexible Hülle

Der genetische Code ist nicht alles: Der Molekularbiologe Peter Becker erforscht, welche Rolle die Verpackung des Erbmaterials DNA bei der Regulation der Genaktivität spielt.

Von Kathrin Burger

Wenn es um die Funktion und Struktur des Erbgutes geht, stand lange allein die DNA im Vordergrund, nur um die Sequenz des Doppelstranges ging es dann, die Reihenfolge der sogenannten Nukleotidbausteine und die Information, die darin gespeichert ist. Und immer, wenn wieder das Erbgut eines Organismus, das Genom, entschlüsselt war, egal ob Maus, Mikrobe oder Schachtelhalm, machte dies in der Welt der Wissenschaft Furore. Doch das Drumherum im wahrsten Sinne des Wortes spielte so gut wie keine Rolle: Die sogenannten Histone und andere Proteine, die die DNA umgeben und mit ihr das „Chromatin“ bilden, fanden kaum Beachtung. Sie galten als reines Verpackungsmaterial im Chromosom, als statische Struktur.

Doch mittlerweile zeichnet sich immer klarer ab, dass das Genom nichts ist ohne seine komplexe Steuerung – und dass ausgerechnet die Verpackung dabei eine wichtige Rolle spielt. Die Chromatinfaser bietet eben nicht nur eine schützende Hülle, sondern ist sehr beweglich und an der Steuerung wichtiger Entwicklungs- und Stoffwechselprozesse beteiligt. Die Mechanismen dieser dynamischen Wechselwirkung untersucht Peter Becker, Inhaber des Lehrstuhls für Molekularbiologie am Biomedizinischen Centrum der LMU, seit Langem.

Damit gehört das Chromatin, so zeigen Beckers Arbeiten, zu jener zellulären Maschinerie, die die Aktivität der Gene steuert und festlegt, wann welches Gen in welcher Zelle aktiv ist. Nach einer Art Schaltplan, einem höheren Programm, kann der Organismus gezielt und sehr flexibel einzelne Gene in den Zellen und damit auch einzelne Stoffwechselvorgänge an- und abschalten. Das verändert nicht die genetischen Baupläne selbst, die Gensequenzen, sondern nur die Aktivitätsmuster, nach denen die Zellmaschinerie mit ihnen arbeitet. Die Codes, die diesen Regulationsvorgängen zugrunde liegen und gewissermaßen den eigentlichen genetischen Code überlagern,

fassen Wissenschaftler heute unter der Bezeichnung Epigenetik zusammen. Diese Form der Steuerung kann sehr kurzfristig und auch reversibel reagieren, der Organismus kann damit auch auf alle möglichen Umwelteinflüsse reagieren.

Epigenetische Signale sorgen dafür, dass Muskelzellen sich anders entwickeln und anders arbeiten als Blutzellen und diese wiederum anders als Neuronen. Aber auch Einflüsse wie krankhafter Stress, falsche Ernährung oder Bewegungsmangel können epigenetische Signale setzen. Und schließlich sind epigenetische Änderungen an der Entstehung vieler Krankheiten beteiligt, sie spielen eine Rolle bei Diabetes und Depressionen, bei Krebs und Kreislaufleiden.

Doch welche Rolle spielt ausgerechnet die DNA-Verpackung bei dieser Form der Regulation und wie füllt sie sie aus? Das ist die Frage, an deren Beantwortung Peter Becker seit seiner Promotion vor 30 Jahren arbeitet. Keine unerhebliche Frage, denn sie zielt ins Zentrum grundlegender biologischer Vorgänge, und eine hochkomplexe noch dazu. Becker, prämiert mit dem hoch angesehenen Leibnizpreis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und einem hochdotierten Grant des Europäischen Forschungsrates (ERC), ist seit 2013 Sprecher bereits eines zweiten Sonderforschungsbereichs an der LMU zum Chromatin und seiner Dynamik.

Auf den ersten Blick mag es fast scheinen, als sei der Natur mit dem Chromatin ein Fehler unterlaufen. Bei den sogenannten Eukaryonten, der Organisationsform, die die Zellen aller Pflanzen, Tiere und auch des Menschen aufweisen, sind die Erbanlagen nur schwer zugänglich. Sie sind hochdicht verpackt, schließlich müssen zwei Meter DNA in einem Zellkern von nur wenigen Mikrometer Größe Platz finden. Darum ist der DNA-Strang wie auf eine Spule um sogenannte Histone gewickelt, acht solcher Pakete wiederum bilden ein Nukleosom. Innerhalb dieser festgepack-

ten Struktur finden sich zahlreiche Bindungen, Paketschnüre sozusagen, die für einen guten Zusammenhalt sorgen.

Heute weiß man aber längst, dass dies kein Dauerzustand ist und es im Gegenteil Hunderte von Enzymen gibt, die die Chromatin-Organisation verändern. Beckers Arbeitsgruppe zum Beispiel untersucht eine bestimmte Gruppe von Enzymen, die unter Energieverbrauch in der Lage sind, Nukleosomen auf der DNA zu verschieben, im Fachjargon: Nucleosome-remodeling-Faktoren. Sie binden an die Nukleosom-Pa-

Das Erbgut – nicht immer voll aufgespult

kete, an Histone oder direkt an die DNA. Da die Bindungen innerhalb des Chromatins so stark sind, ist es nicht verwunderlich, dass die Zelle die komplexe Verpackungsform nur mit großem Energieaufwand auszuhebeln vermag. Dabei werden die Histone versetzt oder gar ausgetauscht.

So entstehen Freiräume in der dichten Verpackung, damit die Maschinerie der Eiweißsynthese den Zugriff auf einzelne Gene hat und sie als Bauplan ablesen kann. Blockiert man zum Beispiel in Hefezellen, die ebenfalls zu den Eukaryonten gehören, die Remodeling-Faktoren, werden Gene abgelesen, die für Nonsense-Moleküle kodieren. „Die Regulation der Zugänglichkeit der Erbinformation auf der Ebene der Verpackung ist die für alles Weitere grundlegende Steuerung“, sagt Becker.

Ähnliche Modifikationen sollen Lücken in der Chromatinverpackung schließen. Es gibt also spezielle Enzyme, die sozusagen als Aufräumer die regelmäßige Anordnung der Nukleosomen wiederherstellen. Und diese Ordnung spielt eine wichtige Rolle.



Mutanten unter dem Mikroskop:
Fliegen sichten mit dem Feinhaarpinsel.
Foto: Jan Greune

Denn Veränderungen auf dieser unteren Nukleosomen-Ebene haben auch Auswirkungen auf übergeordneter Ebene. „Zum Beispiel werden Repressionsmechanismen, die stabile Chromatinfaltungen beinhalten, gestört, wenn man die Regelmäßigkeit der Faser auf der untersten Ebene beeinträchtigt“, sagt Becker. Forscherkollegen entwickeln derzeit spezielle Mikroskopiertechniken, mit denen sich solche Veränderungen sichtbar machen lassen.

Die Aufräumer unter den Remodeling-Faktoren sorgen damit gewissermaßen auch für die Chromatinreparatur und halten so die Zelle gesund. Denn wenn beim Ablegen der Erbanlagen der Chromatinverbund aufgelöst wird, ist das Risiko groß, dass die DNA Schaden nimmt. „Wenn man solche Remodeling-Faktoren in der Fliege inaktiviert, sind diese Tiermodelle empfindlicher gegenüber Strahlenschäden“, sagt Becker. Und auch für menschliche Zellen hat Becker gezeigt, dass das Fehlen eines solchen Enzyms, das die Bezeichnung SNF2H trägt, zu Chromosomenbrüchen führt. In metastasierenden Tumorzellen fehlt hingegen häufig ein anderes, nahe verwandtes Enzym, SFN2L.

Biochemiker Becker versucht derzeit, die Prinzipien zu klären, nach denen die Remodeling-Maschinerie, die dem Chromatin Plastizität verleiht, zu bestimmten Chromatinabschnitten gelotst wird. „Entweder sind die Faktoren überall vorhanden, tasten also quasi die Chromatinfaser ab, ob irgendwo eine Lücke entstanden ist, oder sie werden durch andere Proteine an eine bestimmte Stelle geführt“, erklärt Becker, beispielsweise dann, wenn ein DNA-Schaden entstanden ist.

Doch wie werden diese Mikromotoren ihrerseits reguliert? Dazu sind mittlerweile eine ganze Reihe von Details bekannt. Teilweise geschieht dies bereits während der Entwicklung der Zelle, dadurch bekommen die Enzym-Komplexe eine an die jeweilige Zellfunktion gut angepasste Gestalt. In manchen Fällen entstehen dann

durch die bloße An- oder Abwesenheit der Substanzen verschiedene Chromatinvarianten. In vielen anderen regulieren kleine chemische Veränderungen der Histone die Aktivität der Remodeling-Enzyme. Dabei binden kleine Molekülreste wie Methyl- oder Acetylgruppen an die Histone und verändern so die Infrastruktur, die grundlegende Faser. Vor allem diejenigen Histone werden häufig chemisch aktiviert und deaktiviert, die sehr eng an den Stoffwechsel der Zelle gebunden sind. „Das Spannende ist zu sehen, dass nicht nur die Infrastruktur, sondern auch die Enzyme, die das Chromatin beeinflussen, selbst durch die

Beim Männchen doppelt abgelesen

Modifikation reguliert werden“, sagt Becker. Durch eine faszinierende Kombination von positivem Feedback und sich selbst verstärkenden Prozessen sind also einzelne Chromatinstrukturen sehr stabil, da sie immer wieder von allen Seiten bestätigt werden. Die chemischen Veränderungen können aber durch Abspaltung auch wieder rückgängig gemacht werden. So sind einige Stellen im Chromatin einem ständigen Wechsel unterworfen.

Beckers Forschung räumt damit endgültig mit der Vorstellung auf, dass es gleichsam nur zwei Verpackungszustände für das Erbmaterial gäbe: das besonders kompakte, gut verschnürte und deshalb inaktive Heterochromatin und das lockere Euchromatin. „Vielmehr gibt es dazwischen jede Menge feine Abstufungen“, sagt Becker – Gegenstand des zellulären Feintunings.

Einem besonderen Fall einer solchen Feinabstimmung widmet Becker ein größeres Forschungsprojekt. Sein Team versucht,

die Mechanismen der sogenannten Dosis-Kompensation zu entschlüsseln. Wie gelingt es dem Organismus, dass beim Männchen auch die X-Chromosomen genügend Genprodukte liefern? Schließlich enthält jede Zelle einen doppelten Chromosomensatz, die Geschlechtschromosomen aber sind beim Männchen jeweils nur einfach vertreten. Auf dem Y-Chromosom liegen ohnehin nur wenige Gene, doch für das X-Chromosom muss die Zellmaschine, die die Gene in Produkte umsetzt, gleichsam doppelt aktiv sein. Wie die Zellen in bestimmten Fällen die Produktivität hochfahren können, das erforscht Becker am Beispiel der Taufliege. Ohne eine solche Dosis-Kompensation, so viel ist klar, ist ein Organismus nicht lebensfähig.

Und wieder stellt sich heraus, dass das Chromatin eine wesentliche Rolle bei diesem grundlegenden Steuerungsprozess spielt. Fein abgestimmte Modifikationen des Chromatins sichern, dass Gene auf den X-Chromosomen doppelt abgelesen werden. „Wir wissen, dass es dafür einen Signalgeber gibt, den sogenannten Dosis-Kompensationskomplex“, abgekürzt DCC, sagt Becker. Und bekannt ist auch, dass dieser Komplex neben Proteinen aus einem langen nicht kodierenden Abschnitt des Erbmaterials RNA besteht.

Beckers Arbeiten konzentrieren sich nun auf die Frage, wie der DCC das X-Chromosom identifiziert und wie die Gene darauf aktiviert werden. Erste Ergebnisse gibt es bereits: „Durch die Acetylierung eines bestimmten Histons wird die Chromatinfaser geöffnet, sodass die Enzyme die Erbinformation vermehrt ablesen können“, erklärt Becker. Dabei steigert die Acetylierung die Genaktivität um sogar das Zehnfache. Zum Feintuning muss die Zellmaschine also gehörig gegenregulieren. Mithilfe welcher Repressionsmechanismen dies geschieht, ist aber noch nicht bekannt.

Welche Rolle spielt aber der lange RNA-Abschnitt, der in den Dosis-Kompensationskomplex eingebunden ist? Das ist eine



Verpackungsspezialist: Peter Becker erforscht die Wandelbarkeit des Chromatingerüsts.
Foto: Jan Greune

der Spuren, die Becker verfolgt. Dass auch er mehr als reines Packmaterial ist, dafür spricht die generelle Erkenntnis, dass nicht, wie lange angenommen, nur der kleine Teil des Genoms abgelesen wird, der für Proteine kodiert. Heute ist klar, dass weit größere Teile des Genoms abgelesen und in RNA übersetzt werden.

Nicht nur im Fall des DCC „vermuten wir, dass die RNA-Anteile sehr flexible Gerüste darstellen“, sagt Becker. Schließlich lassen sie sich zum Beispiel durch sogenannte Helikasen verändern und zu Haarnadelstrukturen und Schleifen falten. Aber wenn RNA-Moleküle an Proteine gebunden werden, beeinflussen sie nicht nur deren Struktur, sondern auch deren Eigenschaften. Beim Dosis-Kompensationskomplex vermuten die LMU-Wissenschaftler, dass die RNA-Haarnadel als eine Art Aus-Schalter fungiert. Nur unter Bedingungen, wie sie an bestimmten Regionen des X-Chromosoms vorliegen, so lautet die Hypothese, klappt die Nadel auf, der Schalter ist umgelegt, der Komplex kann aktiv werden. Damit wäre sichergestellt, dass der Organismus die Dosis-Kompensation nur auf Gene des X-Chromosoms anwendet. Das, so Becker, wäre neben dem energieintensiven Remodeling und dem Markieren durch Molekülreste ein dritter Mechanismus, die Dynamik im Chromatin zu wecken – und damit die Genaktivität flexibel zu steuern. ■

Prof. Dr. Peter Becker

ist Inhaber des Lehrstuhls für Molekularbiologie am Biomedizinischen Centrum der LMU. Becker, Jahrgang 1958, studierte Biologie in Heidelberg und promovierte dort 1987 am Deutschen Krebsforschungszentrum, wo er bis 1988 wissenschaftlicher Mitarbeiter war. Nach Stationen am Laboratory of Biochemistry am National Cancer Institute (USA) und am European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Heidelberg ist Becker seit 1999 Ordinarius an der LMU. Becker wurde 2005 mit dem Leibnizpreis der DFG ausgezeichnet, 2011 mit einem Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates (ERC).



Ruhestand, das war einmal

Von der Anforderung, aktiv zu altern, der systematischen Ungerechtigkeit des Rentensystems und Billig-Jobs mit 67: Der Soziologe Stephan Lessenich untersucht, wie sich das Alter verändert.

Interview: Nicola Holzapfel

Weitermachen auch im Rentenalter.
Foto: Jan Woitas/dpa/Picture Alliance

Deutschland altert, der Statistik zufolge. Was bedeutet das für die Gesellschaft?

Lessenich: Das Ausmaß des demografischen Wandels wird überschätzt. Im ungünstigsten Fall kommt künftig auf zwei Erwerbsfähige eine Person im nicht mehr erwerbsfähigen Alter. Es ist keineswegs so, dass wir eine Mehrheit an Rentnern hätten. Diese Behauptung wird oft mit einer Angst vor der „Herrschaft der Alten“ verbunden. Da wird unterstellt, es drohe eine eindimensionale Entwicklung der Gesellschaft. Das ist nur erklärbar durch unsere negativen Bilder des Alters.

Wie ist denn das vorherrschende Altersbild?

Lessenich: Wir wollen alle gerne alt werden, aber nicht alt sein. Es gibt die Vorstellung, die Qualität einer Gesellschaft bestimme sich am durchschnittlichen Alter und Alter sei etwas Defizitäres. Die Gesellschaft an sich sei weniger kreativ und lebendig, wenn das Durchschnittsalter der Bevölkerung steigt. Aber es spricht wenig dafür, dass alte Menschen per se weniger produktiv wären. Und es ist nicht nachvollziehbar, dass eine Gesellschaft mit mehr jungen Leuten lebenswerter sein soll. Unser negatives Bild des Alters und unsere nachvollziehbare individuelle Angst davor, alt zu werden, sind die Grundlage dafür, dass solche Argumente anschlussfähig sind. In der westlichen Zivilisation war das Alter nie gut beleumundet.

Häufig ist von einem „Generationenkonflikt“ die Rede. Worum geht es dabei?

Lessenich: Lange Zeit hat niemand berechnet, welche Rendite die gesetzliche Rente bringt. Heute wird suggeriert, Generationengerechtigkeit wäre, wenn die heute Jungen in Zukunft genau so eine Rendite aus ihrer Rente bekommen wie die gegenwärtigen Alten. Das ist eine ganz spezifische Vorstellung von Gerechtigkeit. Generationengerechtigkeit könnte ja auch heißen, dass alle Generationen zur glei-

chen Zeit gleichermaßen am gesellschaftlichen Wohlstand partizipieren. Stattdessen wird der Zusammenhang hergestellt, dass die Alten heute auf Kosten der Zukunft der jungen Leute leben. Welche anderen Bedingungen dafür eine Rolle spielen, bleibt ausgeblendet. Sie hängt ja auch von der Produktivität, der Globalisierung oder weiteren Finanzmarktkrisen ab. Es ist auffallend, dass Ungleichheitsmuster, die es in dieser Gesellschaft gibt, heute in demografischen Begriffen verhandelt werden. Es gab eine Zeit, da bildeten Arbeit

Die Unterstellung, die Älteren täten zu wenig

und Kapital die Gegensätze oder Arbeitsplatzbesitzer und Arbeitslose. Heute sind es die gierigen Alten und die armen Jungen, die die Zeche zahlen.

Hat sich das Altersbild nicht in den vergangenen Jahren geändert? Die EU hatte ja sogar mal ein „Year of Active Aging“ ausgerufen.

Lessenich: Dahinter steht das Bewusstsein in Politik und Wissenschaft, dass das „Problem“ der alternden Gesellschaft noch größer wird, wenn wir negative Altersbilder pflegen. So ist das Bild vom „jungen“ Alter entstanden, von den aktiven, produktiven Alten, die durch ihre Kompetenzen und Ressourcen etwas beitragen zur Bewältigung des demografischen Wandels und der möglichen Folgeprobleme. Davon zeugen auch die Altenberichte der Bundesregierung der vergangenen Jahrzehnte.

Und ist das so, sind Ältere nun produktiv?

Lessenich: Wenn man dafür werben muss, dass die Alten jetzt aktiv werden, impli-

ziert man: Bisher saßen sie zu Hause vorm Fernseher und sind bestenfalls in den Garten gegangen, um die Rosen zu schneiden. Ältere sind immer schon aktiv gewesen auf irgendeine Weise. Nur die Vorstellung von „richtiger“ Aktivität, die ändert sich. Es soll eine gezieltere Aktivität sein, die die Leute fit und gesund hält oder mit der sie sich in irgendeiner Form gesellschaftlich engagieren. Neben dieser positiven Assoziation schwingt immer die Unterstellung mit, dass die Älteren zu wenig täten.

Im Begriff des aktiven Alterns steckt also viel „Sollen“?

Lessenich: Bis zur Jahrtausendwende war der Begriff „aktiv“ mit der Vorstellung verknüpft, dass man etwas für sich selbst tut, um möglichst lange eigenständig sein Leben führen zu können. Das streben auch alle an: Sie wollen so lange wie möglich zu Hause bleiben, nie und nimmer ins Altenheim und nicht ihren Kindern zur Last werden. Seit Beginn der 2000er-Jahre kommt stärker ein moralisierendes Moment dazu nach dem Motto: Ihr habt so viele Ressourcen und so viel Zeit, nutzt die doch für andere und tut was Sinnvolles: Seid Lese-Oma im Kindergarten oder passt auf die Enkelkinder auf, damit die Töchter und Schwiegertöchter arbeiten können. In der Werbekampagne für aktives Altern des Bundesfamilienministeriums erscheinen sehr kompetenzreiche Figuren wie der Ex-Manager, der jetzt junge Unternehmer berät. Aber der oder die Durchschnittsalte sieht vielleicht nicht, wo er sich gesellschaftlich nützlich machen könnte, und empfindet auch nicht die Verantwortung, auch nach einem langen Erwerbsleben noch der Gesellschaft zu Diensten zu sein.

Momentan werden Ältere auf dem Arbeitsmarkt diskriminiert, sie sind häufiger arbeitslos und tun sich schwerer als Junge, einen Job zu finden. Wird sich da etwas ändern?

Lessenich: Die Rente mit 67 suggeriert, dass wir alle bis dahin beschäftigen können. Hier tut sich aber eine Lücke auf. Es gibt einige, für die es tatsächlich einen Arbeitsmarkt gibt. Aber es gibt viele, für die ein früherer erzwungener Ausstieg aus der Erwerbstätigkeit Einkommenseinbußen und damit auch eine geringere Rente bedeutet.

Während die einen nach 45 Erwerbsjahren in Rente gehen dürfen, müssen die andern also bis 67 arbeitslos sein?

Lessenich: Unser Rentensystem prämiert jene, die während ihres ganzen Lebenslaufs auf der Seite der Glücklichen waren.

»Die Riesterrente ist der totale Reinfall«

Ob man 45 Jahre in einem einigermaßen guten Job mit einem einigermaßen guten Einkommen arbeiten konnte, ist nicht nur das Ergebnis der eigenen Leistung. Es ist auch Glück dabei und es spielen viele gesellschaftliche Bedingungen mit, etwa aus welchem Milieu man stammt oder ob man zu einem günstigen Zeitpunkt ins Berufsleben eingetreten ist. Dies müsste man ausgleichen und sagen: Wir wollen diese Ungleichheiten nicht bei der Rente reproduzieren. Das wäre eine andere Philosophie für das Alterssicherungssystem in Deutschland.

Wird also durch unser System eine Zweiklassengesellschaft unter Rentnern entstehen?

Lessenich: Eine Mehrklassengesellschaft, weil es bei den gesicherten Renten Abstufungen gibt. Es gibt sehr großzügige Renten, auch die bestens gestellten Pensio-

näre werden in Zukunft keine Sorgen haben. Aber all jenen, die keine durchgängigen Erwerbskarrieren haben, zwischenzeitlich arbeitslos, zu Niedriglöhnen oder nur in Teilzeit beschäftigt waren, wird die Rente – zumal, wenn sie noch eine Scheidung erlebt haben – nicht ausreichen. Es ist auch eine Geschlechterfrage, die Renten von Frauen sind deutlich niedriger. Und es wird zunehmend ein Ost-West-Problem sein. Gegenwärtig haben die Ostrentner den Vorteil ihrer langen Erwerbskarrieren in der DDR. Aber die zukünftigen Rentnerinnen und Rentner in Ostdeutschland hatten nach der Wende deutlich schlechtere Berufsverläufe. Gerade im Osten wird es in 20, 30 Jahren ein massives Alterssicherungsproblem geben.

Unsichere Erwerbsverläufe sind inzwischen in ganz Deutschland für immer mehr Menschen Alltag. Was bedeutet das für die Rente mit 67?

Lessenich: Es wäre eine Reform der Alterssicherung nötig. Bisher war die Antwort, die private Zusatzvorsorge zu fördern bei abgesenktem Leistungsniveau der gesetzlichen Rentenversicherung. Die Riesterrente aber ist der totale Reinfall. Nur diejenigen, die es am wenigsten nötig haben, satteln damit etwas auf ihre Rente drauf. Eine Reform des Alterssicherungssystems müsste eine möglichst großzügige Grundsicherung garantieren, die unabhängig davon ist, ob man 20, 30 oder 40 Jahre erwerbstätig war. Das aber wäre ein Bruch mit dem deutschen Rentenversicherungssystem, das sehr stark auf der Gleichsetzung von Ansprüchen, die man im Erwerbsleben akkumuliert hat, und der Höhe der Altersrente setzt.

Welche Jobs werden Ältere denn künftig überhaupt machen können?

Lessenich: Es wird normaler werden, dass größere Teile der Erwerbsbevölkerung in ihrem Beruf länger arbeiten. Es gibt schon heute Hochqualifizierte, darunter viele



„In westlichen Zivilisationen war das Alter nie gut beleumundet“, sagt Soziologe Stephan Lessenich. Foto: LMU

Selbstständige, die bis 70, 75 arbeiten. Gleichzeitig wird es auch diejenigen geben, die darauf angewiesen sind, ihr Renteneinkommen aufzubessern, und dafür einfache Dienstleistungstätigkeiten erfüllen. Dass man bis ins hohe Alter dazuverdient, war in Deutschland die letzten zwei, drei Jahrzehnte nicht mehr bekannt. Es war früher aber ganz normal und ist es zum Beispiel in den USA auch heute: Hier stehen Ältere hinter der Supermarktkasse und packen die Einkäufe der Kunden in Tüten.

Das ist nicht gerade die Vorstellung, die man hierzulande von seinem Ruhestand hat: für einen geringen Stundenlohn im Supermarkt arbeiten zu müssen.

Lessenich: Das sagen Sie heute. Aber wer weiß, was in 20 Jahren ist? Bei uns herrscht noch das Ruhestandsideal vor,

auch wenn das Bild vom aktiven Alter medial und politisch verbreitet wird. Heute sind wir noch sozialisiert mit der Idee: Es gibt ein Erwerbsleben, das irgendwann vorüber ist, und dann gibt es den „wohlverdienten“ Ruhestand. Wenn man aber nicht mehr die Erfahrung macht, dass die eigenen Eltern in Ruhestand gegangen sind, werden sich auch die Vorstellungen ändern. Vielleicht wird es dann den Begriff „Ruhestand“ gar nicht mehr geben.

Es fällt auf, dass in jedem Lebensalter die freie Zeit weniger wird: Kinder kommen früher in die Krippe, Mütter nehmen kürzere Erziehungszeiten und Rentner arbeiten nun. Wie schätzen Sie diese Entwicklung ein?

Lessenich: Das ist hochgradig paradox. Die Arbeitsproduktivität in Deutschland insgesamt und die jedes einzelnen Arbeit-

nehmers steigt ständig. Daraus könnte man schließen, dass man entweder weniger Leute zum Arbeiten braucht oder diejenigen, die arbeiten, kürzer arbeiten. Aber das Gegenteil ist der Fall. Es gibt kein „Genug“ – das ist Teil dieser Aktivierungsprogrammatik, die keine Stopp-Regeln hat. Man kann immer noch aktiver sein. Es ist bezeichnend, dass das Alter über Jahrzehnte von diesen Produktivitätsdebatten ausgenommen war. Es gab eine gesellschaftliche Selbstverständigung, dass man in den letzten Jahrzehnten seines Lebens vom Leistungsgedanken enthoben ist. Inzwischen ist auch das Alter einbezogen in diese große Produktivitätskoalition, die unsere Gesellschaft ist.

Andererseits ist es vielleicht nicht unbedingt schlecht, dass Ältere heute mehr einbezogen werden sollen?

Lessenich: Das hat immer diese Doppeldeutigkeit. Mit der Idee des Ruhestands war auch ein Abschieben verbunden. Wenn man jetzt die Älteren adressiert und ihnen sagt: Wir wollen euch einbinden, ist das Inklusion. Aber selbstverständlich gibt es immer noch die andere Dimension: Auch die aktiven Alten werden irgendwann einmal pflegebedürftig oder dement. Diese Problematik schiebt sich nur nach hinten im Lebenslauf, aber sie löst sich nicht.

Und das rückt nun durch die Betonung des „aktiven“ Alters in den Hintergrund?

Lessenich: Es könnte sein, dass sich eine neue soziale Norm des Alters entwickelt. Wer in hohen Jahren wirklich nicht mehr kann, gerät vielleicht unter Legitimationsdruck und muss sich rechtfertigen, dass er oder sie nicht mehr aktiv ist. Die Allermeisten werden tatsächlich irgendwann in die Situation geraten, Hilfe zu brauchen. Wenn Hilfe aber unter dem Vorbehalt steht, dass man sich nützlich zeigen muss, ist das ein Problem. Die Feier des jungen Alters birgt die Gefahr, dass das höchste, wirklich pflegebedürftige, abhängige, siehe Alter noch stärker in eine randständige Position gerät. Das wird dann vielleicht nicht einmal mehr gut, sondern nur noch notdürftig versorgt. Das höhere Alter muss sichtbar werden. Man müsste die Organisation von Altenpflege grundlegend ändern und nicht die Alten in Heimen dahinvegetieren lassen. Es geht darum, dass es einen anerkennen den Umgang gibt mit dem höchsten Alter, obwohl man ihm keine Produktivität mehr zusprechen kann. Und dass man diesem höchsten Alter Rechte zuspricht, auch Selbstbestimmungsrechte.

Meinen Sie die Sterbehilfe?

Lessenich: Das ist ein extrem schwieriges Feld. Wie viel Freiwilligkeit, wie viele wahrgenommene Zwänge sind dabei, wenn man für sich selbst favorisiert, nicht mehr leben zu wollen? Womöglich liegt es

daran, dass man anderen zur Last zu fallen meint. Das hängt natürlich auch von gesellschaftlichen Bildern ab: Hat man nur dann eine Lebensberechtigung, wenn man etwas zu bieten hat und sich einbringen kann? Dann liegt der Gedanke nahe, dass man besser „Auf Wiedersehen“ sagen sollte, wenn man nichts mehr zu geben hat, nur noch nehmen muss.

Im sechsten Altersbericht heißt es, dass Älteren „eine höhere Verantwortung für die eigene Person zugeordnet“ wird, unter anderem wird „der Verzicht auf Risikofaktoren, eine gesunde Ernährung und ein aus-

»Die meisten sehen sich erst mit 80 als alt an«

reichendes Maß an körperlicher und geistiger Aktivität“ genannt: Wie viel individuelle Gesundheitsfürsorge kann die Gesellschaft vom Einzelnen verlangen?

Lessenich: Ein geflügelter Begriff in den Altersberichten ist die „selbst- und mitverantwortliche Lebensführung“. Selbstverantwortlich heißt: alles zu tun, um möglichst lange eigenständig leben zu können. Und das nicht nur, damit es einem selbst gut geht, sondern auch, damit man nicht dem Gesundheitswesen zur Last wird. Und das fällt dann schon in diese Mitverantwortlichkeit. Das bekommt immer so einen seltsamen Zungenschlag, als seien die Alten irgendwie selbst schuld, wenn sie nicht genug leisten können. Das gehört zu der Entwicklung, alles auf die Subjekte zu projizieren und Struktur- in Verhaltensprobleme zu übersetzen. Überall da, wo soziale Probleme identifiziert werden, ist die Tendenz stark, auf die Betroffenen zu schauen: Was machen die falsch?

Wie denken Sie eigentlich an Ihr eigenes Alter?

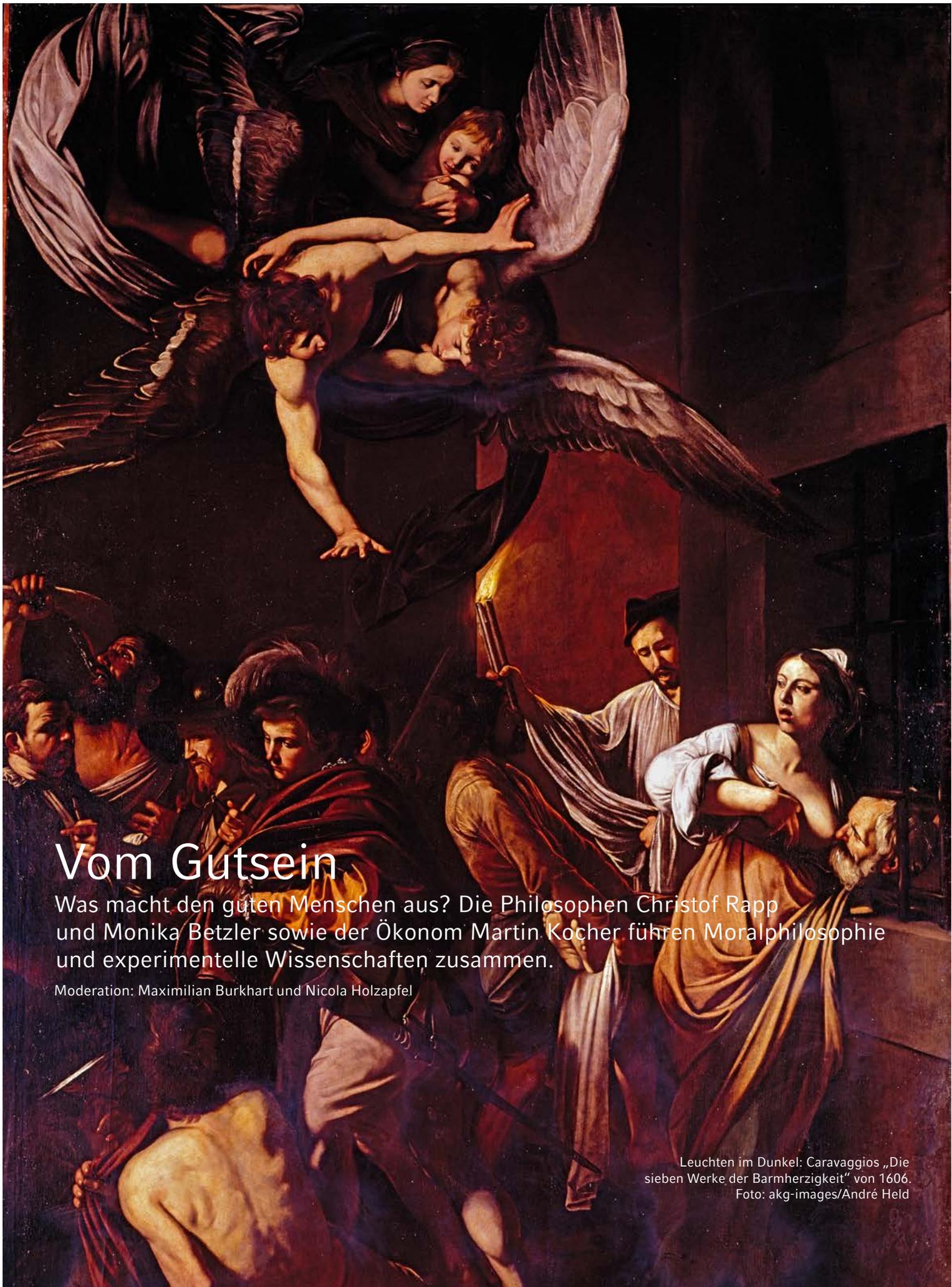
Lessenich: Was ist denn Alter? Das Alter wird mit dem Rentenübergang in Verbindung gebracht. Aber warum ist die Beendigung der Erwerbstätigkeit der Marker zum Übergang ins Alter? Die meisten Alten, die man befragt, ziehen sich auf ihr subjektives Altersgefühl zurück. Im Schnitt fühlen sie sich zehn Jahre jünger. In der Wahrnehmung der Älteren selbst ist 80 ein Marker. Erst dann sehen sie sich selbst als alt. Für mich ist ein Altersmarker, wenn die gewohnte Lebensführung nicht mehr möglich ist. Das muss nicht dramatisch sein in dem Sinn, dass ich am Beatmungsgerät hänge. Es reicht, wenn ich das, was ich für meinen eigenen Lebensinhalt für wichtig halte, nicht mehr tun kann.

Ist das nicht auch ein negatives Bild vom Alter?

Lessenich: Es ist erst einmal ein Bild von einer massiven Veränderung. Wenn wir etwas nicht mehr tun können, wird das als Verlust empfunden. Aber es eröffnet auch Chancen. Man muss in der Situation dann eben überlegen: Entspricht meine Lebensführung bislang überhaupt in jeder Hinsicht meiner Vorstellung? Und: Was würde ich gerne machen? Das höchste Alter gehört zum Leben dazu, aber diese Gesellschaft und wir alle, sind gut darin, das auszublenden.

Prof. Dr. Stephan Lessenich

ist Professor für Soziologie an der LMU. Lessenich, Jahrgang 1965, studierte Politikwissenschaft, Soziologie und Geschichte. Er wurde an der Universität Bremen promoviert und habilitierte sich für das Fach Soziologie an der Universität Göttingen. Danach hatte er einen Lehrstuhl für Soziologie in Jena inne, wo er auch einer der Direktoren der DFG-Kollegforschergruppe „Postwachstumsgesellschaften“ war. Seit 2014 ist er Inhaber des Lehrstuhls für „Soziale Entwicklungen und Strukturen“ an der LMU.



Vom Gutsein

Was macht den guten Menschen aus? Die Philosophen Christof Rapp und Monika Betzler sowie der Ökonom Martin Kocher führen Moralphilosophie und experimentelle Wissenschaften zusammen.

Moderation: Maximilian Burkhart und Nicola Holzapfel

Leuchten im Dunkel: Caravaggios „Die sieben Werke der Barmherzigkeit“ von 1606.
Foto: akg-images/André Held



Was ist moralisch gut? „Wir beanspruchen nicht, diese Frage erschöpfend zu beantworten“: Martin Kocher, Monika Betzler und Christof Rapp (von links nach rechts). Fotos: LMU

Was bedeutet, gut zu sein und moralisch zu handeln?

Rapp: Sicher, man könnte diese schon alte Frage klassisch-philosophisch angehen, in unserem Schwerpunkt „Moral Behavior“ am Center for Advanced Studies gehen wir anders vor. Wir behandeln sie gewissermaßen unter einer anderen, einer empirischen Perspektive: Wir fragen, inwiefern man das Gutsein über Charakterzüge oder über psychologische Merkmale bestimmen kann. Wir untersuchen interdisziplinär gleichsam die Ingredienzen des Gutseins, wie sie aus der Entwicklung, aus dem Sozialverhalten kommen. Um es gleich vorwegzunehmen: Wir beanspruchen damit nicht, die Frage,

was moralisch gut ist, hinreichend und erschöpfend zu beantworten. Es gibt jedoch Teilaspekte des Phänomens, die man auch auf empirische Weise behandeln kann. Eine der Annahmen, die wir überprüfen möchten, wäre zum Beispiel, ob es konsistente Charakterzüge gibt. Ist die Tatsache, dass jemand heute ehrlich ist, ein brauchbares Kriterium, um anzunehmen, dass er auch morgen ehrlich oder unter anderen Umständen ehrlich sein wird? Im Alltag gehen wir von solchen Annahmen sehr oft aus. Die Wahl von Partnern wird etwa von dem Glauben getrieben, dass der andere „in guten wie in schlechten Tagen“, also in sehr unterschiedlichen Situationen, be-

stimmte Charaktereigenschaften beibehält. Aber wenn man sich das aus psychologischer Sicht anschaut, gibt es Gründe, daran zu zweifeln, dass es beständige Charakterzüge gibt, die auch unter sehr stark wechselnden Umständen dieselben bleiben. Kann man Menschen durch Beeinflussung dazu bringen, dass ihre Charakterzüge versagen? Konfrontiert man zum Beispiel eine ehrliche Person mit ganz besonderen Verlockungen, lässt sich dann ihr Verhalten noch verlässlich prognostizieren?

Als die Finanzwelt kollabierte, hieß es, das System hätte Anreize zu unmoralischem



Und wie ist der Mensch nun, anthropologisch gesehen: amoralisch oder nicht?

Kocher: Man sollte nicht davon ausgehen, dass alle Menschen gleich sind. Wenn es um die Moral geht, ist viel Heterogenität im Spiel. Die klare Zuordnung, woher moralisches Verhalten kommt, ist extrem schwierig. Als Ökonom interessiert mich, inwieweit Menschen von der einfachen Vorstellung abweichen, dass sie immer ihren Nutzen maximieren. In unseren Experimenten sehen wir, dass es Menschen gibt, die in vielen Situationen sehr egois-

Konfrontation mit besonderen Verlockungen

tisch handeln. Und es gibt Menschen, die sehr kooperativ und altruistisch handeln. Die genauen Quoten hängen nicht immer von den Anreizen ab. Woran es dann liegt, beschäftigt nicht mehr nur Neuropsychologen und Genetiker, sondern mittlerweile auch Ökonomen. Auch zu den genetischen Grundlagen für soziales Verhalten gibt es nur sehr wenige Studien. Einige beschäftigen sich mit der Frage, ob es Korrelate gibt von Hirnaktivität und Verhalten, wofür es einige Hinweise gibt. Aber warum fühlen sich einige Leute glücklicher, wenn sie sich altruistisch verhalten, und andere nicht?

Wie kann man moralisches Verhalten messen? Und gibt es Abstufungen im moralischen Verhalten?

Rapp: Es gibt Aspekte moralischen Verhaltens, deren Verständnis wir verbessern können, wenn wir es empirisch untersuchen. In der Tugendethik versteckt sich zum Beispiel die Annahme, dass wir stabile Charakterzüge wie Ehrlichkeit, Ge-

Verhalten gegeben, beispielsweise wegen der sehr hohen Boni, die Mitarbeitern gezahlt wurden. Ist das im Großen so ein Testfall?

Kocher: Es ist eine Mischung aus drei Faktoren, die die Finanzkrise verursacht hat: Es gab sowohl unmoralisches Verhalten als auch falsche Anreize und schließlich eine falsche Regulierung durch die öffentliche Hand. Ob das unmoralische Verhalten letztlich entscheidend war, ist nicht geklärt. Für Ökonomen ist wichtig: Die Moralität des Verhaltens kann ich nicht beeinflussen. Aber ich kann die Regulierungen und damit die Anreize beeinflussen.

Was ist denn, mal ganz grundsätzlich gefragt, moralisches Verhalten?

Betzler: Kurz gesagt: wenn man die Interessen anderer angemessen berücksichtigt und nicht die eigenen in den Vordergrund stellt. Dafür müssen wir viel wissen: Was sind die Interessen anderer? Wie werden uns diese bekannt? Und wie können wir diese berücksichtigen? Benötigen wir emotionale Fähigkeiten, wie etwa Empathie, oder bedarf es abstrakter Überlegung? Moral kann über soziales Verhalten hinausgehen, sie muss nicht unbedingt in direkter Interaktion stattfinden, aber letztlich richtet sie sich immer darauf, wie wir mit anderen umgehen.

rechtigkeit, Fairness ausbilden können. Es ist interessant zu wissen, ob sich das auch empirisch belegen lässt. Welche Einflüsse hat altruistisches Verhalten auf ökonomische Entscheidungen und woher kommt es überhaupt? Sagt es uns die Vernunft? Oder üben es schon Kinder aus? Der Entwicklungspsychologe Markus Paulus et-

den Paternalismus rechtfertigen und sagen, es gibt Grenzen der Autonomie? Zum Beispiel könnten wir sagen: Wir wollen nicht, dass Menschen sich zu Tode bringen, weil sie sich leichtsinnig verhalten. In diesem Fall ist man gut beraten zu wissen, welche Regulierungen wie wirken würden. Das untersuchen die empirischen Sozialwissenschaften und da gibt es ganz spannende Überschneidungen.

Es ist auffallend, dass die Politik immer stärker auf Ethikkommissionen zu setzen scheint. Woran liegt das? Stößt die Politik an ihre Grenzen?

Rapp: Allein schon durch die Veränderungen in der Medizintechnik braucht die Politik auch eine neue Art von Expertise. Da kommt man mit dem gesunden Menschenverstand und gut gemeinten Überzeugungen nicht sehr weit. Kommt die Politik damit an ihre Grenzen? Ich sehe keinen generellen moralischen Notstand. Aber es gibt Entwicklungen, die Regulierungsbedarf haben und eben auch einen Bedarf an mehr Beratung durch Menschen, die mehr Expertise und mehr Zeit haben, sich damit zu beschäftigen. Andererseits kann man das natürlich auch missbrauchen. Christoph Knill, der Politikwissenschaftler in unserem Schwerpunkt, sagt, die Politik möchte sich nicht gerne unnötige moralische Entscheidungen aufladen. Für den Wahlkampf bringt das nichts, und deswegen gibt es eine Tendenz, das auszulagern.

Betzler: Ich bin Mitglied der „Eidgenössischen Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich“ in der Schweiz und kann das voll bestätigen. Wir haben beratende Funktion, und es ist Auf-

Von wann an zeigen Kinder Mitgefühl?

wa, der im Schwerpunkt mitarbeitet, untersucht, wann bestimmte altruistische Handlungsweisen manifest werden. Ab wann Kleinkinder Mitgefühl zeigen mit anderen und in welcher Weise sie daraus Rückschlüsse auf ihre Handlungen ziehen. Und was bedeutet es, wenn Kleinkinder fair handeln, aber gar nicht begründen können, warum? Oder denken Sie an Autonomie und Selbstkontrolle – es ist ein klassisches Ideal in der Moralphilosophie, dass man ein kontrolliertes Leben führen und sich nicht irgendwelchen kurzfristigen Impulsen hingeben soll. Das beschäftigt wiederum auch die Entwicklungspsychologie, in der Entscheidungstheorien behandelt werden: Wann und wie lernt man, die Erwartung auf eine Belohnung aufzuschieben, um einen bestimmten Plan realisieren zu können? Das sind Fragen, die in der Moralphilosophie eigentlich immer schon eine Rolle spielen, die aber nur selten experimentell angegangen wurden. **Betzler:** Nehmen Sie den Paternalismus: Es gibt jede Menge experimentelle Untersuchungen darüber, was überhaupt das Wohl einer Person erhöht und inwiefern man eingreifen soll. Soll man Dinge verbieten? Oder soll man einfach die Attraktivität der Optionen verändern? Will man

Herr Kocher, Sie sagten, dass sich einige Teilnehmer in Ihren Experimenten altruistisch verhalten. Können Sie nachvollziehen, woran das liegt? Zahlt sich moralisches Verhalten am Ende womöglich aus?

Kocher: Wenn ich mich altruistisch verhalte und dafür meine eigenen Ressourcen herbeigebe, dann verschlechtere ich zunächst meine Situation und schränke meine Optionen ein. Jetzt kann man ein Modell entwickeln, bei dem das dennoch Sinn machen könnte – in der Kleingruppe zum Beispiel, wenn es darum geht, gemeinsam etwas zu erreichen, oder über den Aufbau von Reputation. Wenn alle glauben, dass Helfen eine wichtige Tat ist, und ich besonders hilfreich bin, dann habe ich ein höheres Ansehen und kann darüber wieder „Gewinne“ machen. Um es an einem ganz konkreten Beispiel zu veranschaulichen: Möglicherweise bringt es mir als Firmeninhaber tatsächlich Vorteile, wenn ich die Arbeiter besser bezahle, als ich müsste. Auch wenn sich Menschen dadurch besser fühlen, dass sie sich moralisch verhalten, könnte das ein Vorteil für sie sein. Sie nehmen geringere Ressourcen in Kauf, weil das gute Gefühl den Verlust aufwiegt.

Betzler: Sobald ich das in meine moralische Motivation einbaue, wirft es aber das interessante Problem des „Self Defeating“ auf. Wenn ich moralisch handle, um meinen Profit zu maximieren, unterlaufe ich den Zweck moralischen Verhaltens – es ist also ein nicht moralisches Verhalten, weil ich die Haltung der Andersbezogenheit unterlaufe.

Wenn das gute Gefühl den Verlust aufwiegt

gabe der Politiker, sich aus unseren sehr differenzierten Gutachten, das Mehrheits- und Minderheitsmeinungen reflektiert, ein eigenes Bild zu machen. Wir geben eine gewisse Vorlage, weil es einfach extrem zeitaufwendig ist, sich das technische Wissen, die ethischen Theorien und so weiter in jedem Fall selbst anzueignen.

Kocher: Als Politiker bin ich der Öffentlichkeit gegenüber verantwortlich. Und deswegen versuche ich auch, möglichst breit Expertenwissen einzubauen und nicht alles aus dem Bauch heraus zu ent-

»Mehr Player als nur die großen Kirchen«

scheiden. Ich glaube, das ist durchaus legitim.

Rapp: Wenn ein Politiker aber zum Beispiel sagt, wir wollen überhaupt keine genetisch veränderten Nahrungsmittel und sich dabei nur auf seine Intuition verlässt, ohne zuvor mit den Biologen und anderen Experten zu sprechen, ist das ärgerlich. Bei bestimmten Fortschritten bilden sich so schnell keine verlässlichen Intuitionen aus. Denn eine moralische Intuition entsteht auch in Rückkopplung mit gesellschaftlichen Prozessen. Solche beratenden Gremien wie Ethikkommissionen müssen das dann im Zeitraffer abwägen.

Seit einigen Jahren gibt es Bewegungen wie Attack und Femen, gewissermaßen eine Re-Ethisierung des Alltages und eine Besinnung auf fundamentale ethische Prinzipien. Woran liegt das? Ist Ethik modeabhängig?

Rapp: Ja, natürlich gibt es Moden. Aber die Frage ist, ob empathisches Verhalten grundsätzlich solchen Moden unterworfen ist. Ein moralpsychologischer Zugang aus politikwissenschaftlicher oder gesellschaftswissenschaftlicher Perspektive wäre zu fragen, warum Felder immer neu moralisiert werden und was die gesellschaftlichen Konsequenzen sind. Der Politikwissenschaftler Christoph Knill untersucht etwa, wie Politik mit Moraldruck

und Regulierungsfragen umgeht, die ihr aufgedrängt werden, weil bestimmte Gebiete jetzt neu mit moralischen Werten oder Normen besetzt worden sind, die es vor einigen Jahren noch nicht waren. Zum Beispiel bei der Diskussion um den Umgang mit Prostitution oder um Nachhaltigkeit beim Konsum.

Inzwischen gibt es ja sogar einen „International Bag Free Day“, um Plastiktüten zu vermeiden. Ist das der Weg der Ethik heute? Weg von fundamentalen Ver- und Geboten und hin zu Aktionismus – gleichsam eine Eventisierung der Moral?

Rapp: So würde ich es nicht sagen. Das klassische Modell in der Bundesrepublik war, dass die Politik reagiert, weil eine Konfession sagt: „Wir haben ein moralisches Problem und möchten gerne, dass das geregelt wird“, wie etwa die Abtreibungsfrage oder das Zusammenleben von Homosexuellen. Heute gibt es mehr Player auf dem Markt. Es sind nicht nur die großen Kirchen, deren Einfluss ja abgenommen hat. Mit dem Islam ist noch eine weitere Religion hinzugekommen und es gibt andere Gruppen, die Themen moralisch besetzen, die Naturschutzbewegung, die Friedensbewegung, die Feministen. In Bezug auf die von Ihnen angesprochene Eventisierung gilt: Man darf nicht jeden vorgeschobenen moralischen Grund als ein moralisches Problem nehmen. Es ist ja auch oft so, dass moralische Gründe einfach instrumentalisiert werden durch eine gewisse Empörungskultur, die man über das Internet und die Sozialen Medien nähren kann.

Kocher: Empirisch gibt es keine Erkenntnisse darüber, ob die Menschheit moralischer geworden wäre. Das ist eine spannende Frage, aber wir wissen nicht, ob es da eine systematische Veränderung gibt oder nur eine Wahrnehmungsveränderung in den Medien.

Betzler: Es ist interessant, dass es das nicht gibt. Denn auch in der Moralphiloso-

phie gibt es nur relativ wenig Arbeiten zum Thema „Moralischer Fortschritt“. Womöglich hängt dieser damit zusammen, dass neue Faktoren moralisch relevant werden, die es früher nicht waren. Zum Beispiel hatten früher Tiere keinen moralischen Status, heute sehen viele das anders. Sind wir moralisch besser als die Menschen in der Antike? Das ist schwierig zu beantworten.

Prof. Dr. Monika Betzler

ist Inhaberin des Lehrstuhls für Praktische Philosophie und Ethik an der LMU. Betzler, Jahrgang 1962, studierte Philosophie, Germanistik, Romanistik und Geschichte in München und Lyon, promovierte an der LMU. Nach Stationen an der Universität Göttingen, der Harvard University, Cambridge/USA, und der University of California at Berkeley/USA habilitierte sie sich an der LMU. 2006 wurde sie an die Universität Bern als Professorin für Philosophie mit Schwerpunkt Praktische Philosophie berufen.

Prof. Dr. Martin Kocher

ist Inhaber des Lehrstuhls für Verhaltensökonomik und Experimentelle Wirtschaftsforschung an der Volkswirtschaftlichen Fakultät der LMU. Kocher, Jahrgang 1973, promovierte an der Universität Innsbruck, wo er sich 2007 auch habilitierte. Er ist unter anderem Sprecher des Vorstands des Munich Experimental Laboratory for Economic and Social Sciences (MELESSA).

Prof. Dr. Christof Rapp

ist Inhaber des Lehrstuhls für Antike Philosophie und Rhetorik an der LMU. Rapp, Jahrgang 1964, studierte Philosophie, Griechisch, Logik und Wissenschaftstheorie an der Universität Tübingen und an der LMU. Er wurde 1993 in München promoviert und 2000 in Tübingen habilitiert. Zwischen 2001 und 2009 hatte er den Lehrstuhl für Philosophie der Antike und Gegenwart an der Humboldt-Universität zu Berlin inne. Seit Oktober 2009 ist Christof Rapp Direktor des Center für Advanced Studies (CAS) der LMU.

Monika Betzler, Martin Kocher und Christof Rapp gehören zum Advisory Board des Schwerpunktes „Moral Behavior“ am CAS.



Büchertisch

Wo, bitte sehr, ist hier links, wo rechts? Alte Gewissheiten helfen nicht mehr – im Plenarsaal wie im Rest der Gesellschaft. Foto: Imagekrocker/mrp

Weg vom Schema!



Links und rechts, das waren einst Wegweiser durch das politische System. Es waren griffige Beschreibungen für zwei Blöcke der Gesellschaft, zwischen denen man sich entscheiden musste. Sie standen für klar voneinander abgegrenzte politische Haltungen. Sie waren sogar so prägnant, dass sie der jeweilig anderen Seite als griffiges Schimpfwort dienten. Solche klassischen Zuschreibungen verniedlichen die Realität, meint LMU-Soziologie-Professor Armin Nassehi.

Denn sie gehen davon aus, dass Gesellschaften homogen sind. „Die Gesellschaft ist nicht aus einem Guss“, sagt Nassehi. Sie sei längst viel zu komplex und unübersichtlich geworden, um sie noch mit den alten politischen Begriffen beschreiben zu können. So lautet der Untertitel seines neuen Buchs „Die letzte Stunde der Wahrheit“ denn auch: „Warum rechts und links keine Alternativen mehr sind und Gesellschaft ganz anders beschrieben werden muss“. Nassehi hält dieses Lagerdenken also nicht nur für überholt, sondern für einen Teil des Problems der Diskussionen heute. „Sie promovieren Diagnosen, die sich dem Problem gesellschaftlicher Komplexität nicht stellen wollen“, schreibt Nassehi. Wir können aktuelle Probleme nicht mehr eindimensional begrifflich verstecken. Das suggeriert letztlich nur einen Informationswert, den es längst nicht mehr gibt. Denn die gewohnten Chiffren, mit denen sich unsere Gesellschaft öffentlich selbst beschreibt, träfen offenbar nicht mehr das, worum es geht. Wir müssen also lernen, neu und anders zu

denken, auf eine gewisse Art liberaler, nur so lassen sich die wichtigen Themen angehen, meint Nassehi. Komplexität sei so etwas wie der Schlüssel zum Verständnis unserer Welt. Das erfordert eben auch, das eigene Lagerdenken abzulegen, also anzuerkennen, dass das Links-Rechts-Schema letztlich naiv sei. Nassehi: „Eine Übersetzungsleistung würde immer darin bestehen, die andere Perspektive in ihren Erfolgsbedingungen und Limitationen zu verstehen und auch die eigenen Limitationen zu verstehen, um dann dazuzukommen, mit der komplexen Situation selbst umzugehen.“ Mit seiner Analyse propagiert Nassehi ein neues Denken, das Kompetenz nicht mit stabilem Wissen verwechselt, das nur wenige Menschen haben. Wir leben in einer Art Zeitalter der verteilten Intelligenz. Und das bedeutet automatisch, dass man sich mit allen anderen beschäftigen müsse, egal, welchem Bereich der Gesellschaft sie angehören. (huf)

Armin Nassehi: Die letzte Stunde der Wahrheit; Murmann-Verlag, Hamburg 2015, 344 Seiten



Der Sog Europas



Die jüngere europäische Geschichte ist reich an markanten Ereignissen. Der Fall der Mauer 1989 und die überwundene Spaltung von Ost und West inklusive der deutschen Wiedervereinigung gehören ebenso dazu wie kurz darauf der Krieg in Jugoslawien mit der Tragödie von Srebrenica, als bosnische Serben in die dortige UN-Schutzzone eindringen und 8000 bosnische Jungen und Männer ermordeten. Auch an der Finanzkrise und ihren Folgen, die mit den Proble-

men Griechenlands brennend aktuell bleiben, kommt man bei einer Zusammenschau nicht vorbei. Ja, man würde sogar ganz im Osten beim aktuellen Ukraine-Konflikt landen, der ja auch mit Europa zu tun hat.

Wie stark sich Europa seit 1989 verändert hat, beschreibt Andreas Wirsching, Direktor des Instituts für Zeitgeschichte München – Berlin und Professor an der LMU, in seinem Buch „Demokratie und Globalisierung“. Es scheint einerseits eine Geschichte von Erfolgen wie der rasanten Demokratisierung der Ostblockstaaten zu sein, andererseits gibt es auch immer wieder schwerwiegende Irritationen, die sich – wie das Beispiel Griechenland zeigt – oft infolge der Finanzkrise und der Globalisierung entwickelt haben. Der aufkommende Rechtspopulismus etwa gründet auf dem Wiedererstarken nationaler Gedanken vor allem in Osteuropa, analysiert Wirsching. Dahinter stehen oft alte Eliten, die die Transformation anhalten wollen.

In jüngeren Diskussionen ist oft zu hören, dass es Europa an einer gemeinsamen Idee fehle, um den Zweiflern zu begegnen. Gerade in den vergangenen Jahren scheinen

die dunklen Konflikte der Vergangenheit wiederzukehren, der Imperialismus wie in der Ukraine, der ethnisch-kulturell angetriebene Hass. Gleichzeitig erzeugt der europäische Gedanke immer noch einen Sog, wie der Wunsch der Ukraine zeigt, der EU beizutreten. Die Lage scheint paradox.

Bei seiner Bestandsaufnahme kommt Wirsching zu einem verblüffenden Urteil: Die Krise Europas bestehe in nichts anderem als in seinem Zusammenwachsen. Trotz aller Unterschiede sei die europäische Geschichte seit 1989 von „einem mächtigen historischen Trend zur Konvergenz geprägt“, so schreibt der Historiker. Das gemeinsame Europa speise sich aus immer engeren Verflechtungen, gemeinsamen Erfahrungsschätzen – und einer wachsenden Angleichung. Die Krisendiskussion sei deren Folge, sie erzeuge gegenläufige Tendenzen. Für Wirsching bleibt Europa dennoch ein vielversprechender Weg. (huf)

Andreas Wirsching: Demokratie und Globalisierung. Europa seit 1989; Verlag C.H.Beck, München 2015, 248 Seiten



Überrascht vom Wolkenbruch. Foto: Hennig Kaiser/dpa/Picture Alliance

Die Zukunftsfrage

Wie kommen wir zu genaueren Wetterprognosen?

George Craig, Inhaber des Lehrstuhls für Theoretische Meteorologie an der LMU: „Mit der klassischen Wettervorhersage können wir mittlerweile eine Woche einigermaßen verlässlich prognostizieren. Vor dreißig Jahren war dies nur für ungefähr vier Tage im Voraus möglich. Solche Fortschritte haben große Bedeutung, denn je genauer die Prognosen, desto besser können sich Gesellschaften beispielsweise gegen Stürme oder Hochwasser wappnen, desto genauer können aber auch Stromversorger die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien wie Photovoltaik und Windkraft aktuell planen.

Es zeichnet sich aber immer deutlicher ab, dass wir an die Grenzen der Vorhersagbarkeit kommen. Die Atmosphäre und die Prozesse, die sich darin abspielen, bilden ein chaotisches System, schon leichte Abweichungen in den Ausgangsdaten können sich zu eklatanten Fehlern in der Vorhersage auswachsen. In einem neuen Sonderforschungsbereich wollen wir das besser verstehen lernen. Ebenso wollen wir die Prozesse der Wolkenphysik und die teilweise starken Effekte kleinskaliger Phänomene wie der Konvektion noch genauer kennen lernen.“ Protokoll: math

Lesen Sie ein ausführliches Gespräch zur Zukunft der Wettervorhersage im nächsten Heft.

Impressum

Herausgeber

Präsidium der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

Konzept und Redaktion

Kommunikation & Presse LMU
Luise Dirscherl (verantwortlich)
Martin Thureau (math) (federführend)

Autoren dieser Ausgabe

Kathrin Burger, Maximilian Burkhart (mbu), Hanno Charisius, Hubert Filser (huf), Monika Goedde (göd), Nicola Holzapfel (nh), Martin Thureau (math)

Design

Christoph Olesinski

Online-Redaktion

Thomas Pinter

Auflage

9000 Exemplare

Erscheinungsweise

halbjährlich

Druck

Kriechbaumer Druck GmbH & Co. KG,
München

Einsichten – Das Forschungsmagazin wird auf
Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft gedruckt.

Distribution

Mathias Schiener

Redaktionsadresse

Geschwister-Scholl-Platz 1
80539 München
Tel.: 089 2180 3808
E-Mail: Einsichten@lmu.de

www.lmu.de/einsichten

Unter dieser Adresse können Sie
Einsichten – Das Forschungsmagazin
auch kostenlos abonnieren.

Einsichten – Das Forschungsmagazin erscheint mit großzügiger
Unterstützung der Münchener Universitätsgesellschaft.



