



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Einsichten

Das Forschungsmagazin

Sonderheft 2013

Exzellenzuniversität LMU

Forschung im Fokus

Moderne Strukturen – das Zukunftskonzept

Promovieren mit Programm – die Graduiertenschulen

Wissenschaft von Weltruf – die Exzellenzcluster



Die Moleküle des Lebens im Blick: Biowissenschaften an der LMU. Foto: Jan Greune

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

als die Deutsche Forschungsgemeinschaft und der Wissenschaftsrat im Jahre 2006 im Auftrag von Bund und Ländern die Exzellenzuniversitäten der ersten Stunde ausriefen, waren es nur drei, die mit ihren Zukunftskonzepten zum Zuge kamen – darunter die LMU. In der aktuellen Runde konnte sie ihren Erfolg wiederholen: Sie gehört wieder zu den ausgezeichneten Universitäten. Auch die drei Exzellenzcluster und eine Graduiertenschule aus der ersten Runde gingen glatt durch, ebenso ein weiterer Cluster, an dem die LMU maßgeblich beteiligt ist. Dazu kamen noch vier neue Projekte, zwei davon in den Geisteswissenschaften.

In diesem Sonderheft des Forschungsmagazins *Einsichten* möchten wir Sie über die Erfolge der LMU im Exzellenzwettbewerb informieren und Ihnen die geförderten Projekte vorstellen. Wie schon die Graduiertenschule in den Systemischen Neurowissenschaften, die jetzt in einem zweiten Turnus gefördert wird, bieten auch die drei neuen Einrichtungen in den Quantitativen Biowissenschaften,

den Altertumswissenschaften und für Ost- und Südosteuropastudien hervorragenden Promovierenden ein strukturiertes Programm, in einem interdisziplinären und attraktiven Forschungsumfeld.

Zu den bereits seit 2006 laufenden Forschungsverbänden in den Nanowissenschaften, der Proteinforschung, der Laserphysik und der Astrophysik (Letzterer mit Beteiligung der LMU) ist ein weiterer Cluster – in der Systemneurologie – dazugekommen. Im Heft schildern unsere Autorinnen und Autoren, an welchen profilierten und innovativen Fragestellungen die Forscherinnen und Forscher an der LMU arbeiten.

Die Präsidenten von Freier Universität Berlin und LMU, Peter-André Alt und Bernd Huber, diskutieren in einem Gespräch zu Beginn des Heftes über die Zukunftskonzepte der beiden Universitäten, über Strukturbedingungen für die Spitzenforschung – und schließlich auch darüber, wie es in der deutschen Wissenschaft weitergeht, wenn die Exzellenzinitiative 2017 in der jetzigen Form ausläuft.

Eine anregende Lektüre
wünscht Ihnen
Ihre *Einsichten*-Redaktion

Inhalt



Neue Schulen und Cluster: Quantitative Biowissenschaften 14



Altertumswissenschaften 32

Fotos: Jan Greune (3), ITAR-TASSIM, Aleshkovsky/pa

Moderne Strukturen – das Zukunftskonzept

- 6 **Ein Netzwerk für die Forschung**
LMUexcellent: Ein Gespräch über Erfolge im
Exzellenzwettbewerb, über Nachwuchsförderung
und neue Kooperationen

Promovieren mit Programm – die Graduiertenschulen

- 14 **Die Stimmen der Kandidaten**
Vier Doktoranden geben Auskunft
über ihre Promotionsprojekte

- 16 **Die Sinne-Sucher**
Graduate School of Systemic Neurosciences:
Funktionsweisen des Gehirns verstehen
- 24 **Das rechte Maß**
Graduate School of Quantitative Biosciences Munich:
Verfahren zur Messung, Analyse und Modellierung
biologischer Prozesse erarbeiten
- 32 **Die Ordnung der Antike**
Distant Worlds: Munich Graduate School for Ancient
Studies – Gesellschaften des Altertums untersuchen
- 40 **Der gewendete Blick**
Graduate School for East and South East European
Studies: Eine Region im Umbruch analysieren



Ost- und Südosteuropastudien

40



Systemneurologie

62

[Wissenschaft von Weltruf –
die Exzellenzcluster](#)

- 54 **Das Gold der kleinen Dinge**
Nanosystems Initiative Munich: Für Daten-
übertragung, Energiegewinnung, Tumorbekämpfung
– ultrakleine Bausteine einer Welt von morgen
- 62 **Die Kultur der Clicks**
Center for integrated Protein Science Munich:
Die Eigenschaften von Eiweißen und die chemischen
Tricks der Modifikation
- 70 **Am Puls des Lichts**
Munich-Centre for Advanced Photonics:
Die Attosekundenphysik und ihre Anwendungen

- 78 **Auf der Spur der Nervenbahnen**
Munich Cluster for Systems Neurology: Degeneration,
Entzündung, Gefäßkrankung – gemeinsame Aspekte
neurologischer Leiden
- 86 **Alles übers All**
Origin and Structure of the Universe: Planeten, Sterne,
Galaxien – die Vorgänge in den Tiefen des Universums

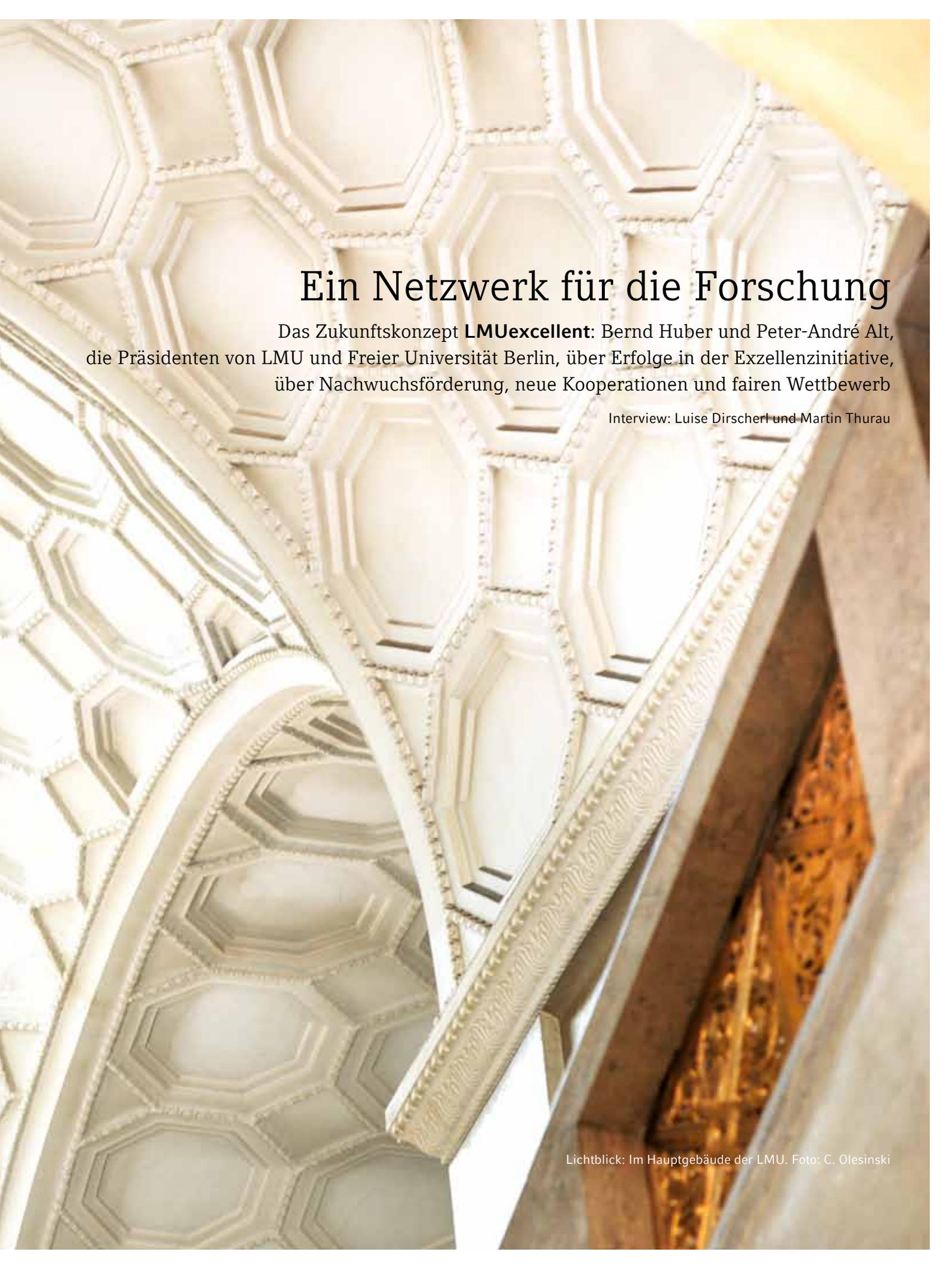
[Rubriken](#)

- 3 **Editorial**
- 94 **Impressum**

[Titelbild:](#) Mikroskopieren in der Neurobiologie. Foto: Jan Greune

Moderne Strukturen – das Zukunftskonzept





Ein Netzwerk für die Forschung

Das Zukunftskonzept **LMUexcellent**: Bernd Huber und Peter-André Alt, die Präsidenten von LMU und Freier Universität Berlin, über Erfolge in der Exzellenzinitiative, über Nachwuchsförderung, neue Kooperationen und fairen Wettbewerb

Interview: Luise Dirscherl und Martin Thureau



„Fast könnte man sagen, es hat eine Revolution stattgefunden“: Bernd Huber (vorn) im Gespräch mit Peter-André Alt. Foto: Bernd Wannemacher

Herr Professor Alt, Sie vergleichen die Freie Universität gerne mal mit Borussia Dortmund: Jahrelang hat die Mannschaft allenfalls im Mittelfeld herumgekrebst, dann plötzlich stand sie an der Spitze der Bundesliga. Wie haben Sie den Berliner Kader neu geordnet?

Alt: Dortmund steht ja im Moment nicht ganz oben, deshalb könnte ein Vergleich gefährlich werden. Wie dem auch sei, die Freie Universität hat früh begonnen, eine Selbststeuerung in Gang zu setzen – zunächst aus der Not geboren. Nach dem Mauerfall hatten Kürzungen sie schwer getroffen. Wir haben unter anderem die Budgetverantwortung dezentralisiert und vergeben seit rund einem Dutzend Jahren die knapper gewordenen Gelder sehr stark nach Leistungsindikatoren. Und wir haben die Bereitschaft gestärkt, Forschungsverbünde einzugehen; bei Neuberufungen ist dies Gegenstand von Zielvereinbarungen. Auf diese Weise haben wir eine Basis für unser Zukunftskonzept und unsere Projekte in der Exzellenzinitiative gelegt.

Die Borussen sind in der laufenden Saison also kein sicherer Titelanhänger. Um im Vergleich zu bleiben, Herr Professor Huber: Geht die Meisterschale diesmal nach München, an die LMU?

Huber: Von Fußball verstehe ich nichts, deshalb fällt es mir schwer, hier den Bogen zu schlagen. In der Tat haben sich aber in den vergangenen Jahren einige hervorragende Wissenschaftsstandorte in Deutschland herausgebildet. Berlin und München gehören mit Sicherheit dazu. In Bayern war die Hochschulpolitik lange Zeit vergleichsweise stabil, es gab kaum Kürzungen. Das änderte sich 2003. Zehn Prozent an Stellen und Mitteln sollten wir im Zuge der sogenannten Stoiber-Kürzungen verlieren. Unter diesem Druck haben wir eine Umstrukturierung eingeleitet, alle Fächer, alle Professuren auf den Prüfstand gestellt und neue Schwerpunkte entwickelt. Eine gute Vorbereitung für die erste Phase der Exzellenzinitiative und in mancher Hinsicht auch für die zweite.

Wie stehen FU und LMU im internationalen Vergleich heute da?

Alt: Es ist bemerkenswert, wie viel sich schon in wenigen Jahren getan hat, in der internen Organisation herausragender Universitäten, aber auch in ihrer internationalen Wirksamkeit. Ihre Attraktivität für weltweit renommierte Forscher hat deutlich zugenommen. Internationale Netzwerke zu bilden, gehört eigentlich zum Brot-und-Butter-Geschäft der Universitäten – Stichwort Universitätspartnerschaften. Doch mittlerweile haben sich solche Zusammenschlüsse auf einem strategischen Niveau organisiert – mit der Perspektive, gemeinsam Gastprofessuren zu organisieren, Programme zu entwickeln und akademische Grade zu vergeben.

Huber: Vor gut zehn Jahren noch galt das deutsche Wissenschaftssystem als komplett verpöft, strukturkonservativ, unbeweglich, wenig innovativ. Seitdem hat – ich würde fast schon sagen – eine Revolution stattgefunden: Wir haben die gesamte Studienstruktur umgestellt, weitere Strukturreformen gestemmt. Die Autonomie der Hochschulen wurde deutlich gestärkt. In der Forschung haben wir heute deutlich mehr Ressourcen, allein die Exzellenzinitiative pumpt jährlich 600 Millionen Euro in die Universitäten. Konnte man vor 15 Jahren noch das Gefühl haben, die Universitäten ähneln von ihrer Struktur her eher einer Behörde, so sind sie heute wieder zur Herzkammer des Wissenschaftssystems geworden und entwickeln sich äußerst dynamisch. Allerdings: Auch wenn man die deutsche Wissenschaft in den USA, in China und in Japan heute als wichtigen Player sieht – an der absoluten Spitze spielen unsere Universitäten noch nicht mit. Es gibt also keinen Grund zur Selbstzufriedenheit.

Wäre das alles ohne die Exzellenzinitiative denkbar gewesen?

Alt: Drei Milliarden Euro in fünf Jahren, das sind Summen, die man sonst nicht so einfach für die Forschung zur Verfügung hat. Aber auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat sich als Einrichtung bewährt, die Gelder wettbewerbsorientiert vergibt. Und diese wettbewerblichen Verfahren haben die Qualität der Forschung erheblich gesteigert.

Geld allein war es also nicht. Ist Wettbewerb das Geheimnis der Exzellenzinitiative?

Huber: Ja, sie hat die Idee des Wettbewerbs im deutschen Wissenschaftssystem etabliert. Er setzte einen Differenzierungsprozess in Gang, in dem sich jede Universität positionieren musste. Das hat einen enormen Veränderungsdruck erzeugt, der zugegebenermaßen auch mit Schmerzen und mit unangenehmen Entscheidungen verbunden war. Bei aller Kritik – die Exzellenzinitiative war eine Kraftspritze für das deutsche Wissenschaftssystem und kam genau zur richtigen Zeit. Dass sie eine absolute Erfolgsgeschichte ist, kann man schon daran ablesen, dass andere Länder wie Frankreich oder Spanien das Modell mittlerweile kopiert haben.

Alt: Die Exzellenzinitiative hat die Fähigkeit zur Organisation von

gemeinschaftlichen Projekten und damit auch die Kooperation von universitären und außeruniversitären Einrichtungen erheblich verbessert. Hier in Berlin hat man vor 15 Jahren kaum Notiz voneinander genommen. Dass wir vier Max-Planck-Institute direkt auf unserem Campus haben, das war den meisten Kollegen kaum bewusst. Heute organisieren wir gemeinsam Forschung, fördern gemeinsam den Nachwuchs, finanzieren Labors, Projekte und den internationalen Austausch.

Was braucht ein Forscher denn überhaupt, um kreativ und erfolgreich zu sein? Was kann eine Universität ihm da bieten?

Alt: Zunächst einmal etwas, was keine andere Einrichtung im Wissenschaftssystem bietet: ein intellektuelles und institutionelles

»Die Exzellenzinitiative ist eine Kraftspritze«

Umfeld, das über seine Fachgrenzen hinaus für ihn förderlich wirkt, weil es Inspiration und Ergänzung zur eigenen Arbeit bietet. Wissenschaft ist heute weniger denn je die Sache Einzelner. Das gilt auch für die klassischen Geisteswissenschaften. Es ist die Vielfalt der Fächer, die Universitäten zu herausragenden Orten der Forschung macht, sie ist und bleibt eine wesentliche Grundlage wissenschaftlicher Exzellenz. Zweitens bieten Universitäten ein Zusammenspiel von Forschung und Lehre. An der alten humboldtschen Formel kommt man nicht vorbei und sie ist keine Festtagsformel, sondern hat einen ganz starken programmatischen Kern. Sie besagt nämlich, dass wissenschaftliche Innovationen nur in diesem Wechselspiel möglich sind.

Huber: Die erfolgreichsten Universitäten der Welt sind alle Volluniversitäten, die die Fächergruppen der Geistes-, Sozial- und Naturwissenschaften vereinen, in vielen Fällen auch noch die Medizin. In dieser spezifischen Atmosphäre sehr unterschiedlicher Fächerkulturen werden unkonventionelle Ideen geboren. Die Universitäten mögen konservative Institutionen sein, sie produzieren aber radikale Ideen und radikal viel Neues. In einem Unternehmen würde man womöglich sagen: Warum ist das nicht stärker fokussiert? Aber es ist gerade diese Vielfalt, dieser Reichtum an Fächern, die das spezielle Fluidum erzeugt, in dem eine Universität blüht und gedeiht.

In ihren Zukunftskonzepten betonen FU und LMU gleichermaßen die Nachwuchsförderung. Bis 2017, so hat sich die LMU auf die Fahnen geschrieben, sollen „nahezu alle Promovierenden“ nach den Qualitätsstandards strukturierter Doktorandenprogramme

ausgebildet werden. Welche Vorteile hat das für den Einzelnen und für den kollektiven Prozess der Wissenschaft?

Alt: Strukturierte Programme ermöglichen die wissenschaftliche Qualifizierung in einer Form, wie sie eine individuelle Promotion nicht bieten kann. Die Doktoranden sind gehalten, über die Grenzen des eigenen Vorhabens hinauszuschauen und mit jungen Wissenschaftlern anderer Fächer zu kommunizieren. Und ihnen werden zusätzliche Fähigkeiten vermittelt: Lehrqualifikationen, Führungs- und Leitungskompetenzen, Fremdsprachen. Die Promotion, Ausgangspunkt wissenschaftlicher Karrieren und zu großen Teilen auch Basis wissenschaftlicher Innovation, ist in vielen Fächern nicht mehr an die einzelne Professur gebunden, auch wenn die persönliche Prägung akademischer Lehre wichtig bleibt.

Können denn solche Programme Probleme lösen wie die Vereinzelung, die häufig in geistes- und sozialwissenschaftlichen Fächern auftritt?

Huber: Wir haben für die Betreuung der Doktoranden ganz bewusst strenge Qualitätsstandards formuliert, auch um die Probleme der

»Fächervielfalt ist eine Basis der Exzellenz«

Vereinzelung zu lösen. Wenn ich an die Plagiats-Debatten denke, ist eine solche Zielsetzung „alternativlos“, um einmal Frau Merkel zu zitieren. Das heißt nicht, dass wir Einzelpromotionen unterdrücken wollen. Aber sie sollen denselben Qualitätsstandards genügen wie strukturierte Programme, über die gesamte Universität hinweg.

Lange galt die Zeit von der Promotion bis zur ersten Berufung als Durststrecke – mit prekären Beschäftigungsverhältnissen und unklaren Perspektiven. Was können Sie dem Nachwuchs da bieten?

Alt: Die Modelle an der Freien Universität und der LMU sind unterschiedlich, aber sie verfolgen dasselbe Ziel: Karrieren planbar zu machen und die Engpässe in den Übergangsphasen zu überwinden, etwa beim Start in die Postdoc-Phase oder beim Übergang von der Juniorprofessur zu einer W2-Professur. Wir halten flexible Mittel bereit, um in diesen Perioden ein Projekt fördern zu können oder schnell und pragmatisch Hilfe zu leisten, wenn Verträge auslaufen. Und nicht zuletzt sollen die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ergänzende Qualifikationen erwerben können, die ihnen bis zu einem gewissen Grade auch Berufsmärkte außerhalb der Forschung eröffnen – ohne dass das als eine Art Ausstiegsvariante oder Abbruchmodell gilt.

Huber: Es muss möglich sein, Alternativen aufzuzeigen, wenn es, aus welchen Gründen auch immer, mit der Karriere hin zur Professur nicht klappt, damit sich die jungen Wissenschaftler nicht auf einer Einbahnstraße bewegen. Denn eine Wissenschaftskarriere ist anspruchsvoll, immer gibt die individuelle Leistungsfähigkeit den Ausschlag. Es lässt sich nicht vorab am Reißbrett skizzieren, wohin es einmal geht. Mit einem Postdoc-Office wollen wir die jungen Wissenschaftler hier unterstützen.

Die LMU setzt auf das Tenure-Track-Modell; Sie nennen es eine „Erfolgsgeschichte“. Was kann es leisten?

Huber: Wir haben uns damals gegen die Juniorprofessur als generelles Instrument der Nachwuchsförderung entschieden. Dafür gestalten wir alle W2-Professuren – wohlgermerkt Dauerstellen – nach dem Tenure-Track-Modell; diese Professuren sind zunächst auf sechs Jahre befristet, eine Evaluation entscheidet darüber, ob sie verdauert werden. Grundsätzlich ist es auch möglich, auf eine W3-Professur aufzusteigen.

Verfolgen Sie mit dem Überbrückungsfonds ähnliche Ziele?

Alt: Ja. Natürlich gibt es weiter den traditionellen Weg der Assistentenstelle. Aber unser Zukunftskonzept sieht auch vor, dass Nachwuchsforscher mit dem Status eines Juniorprofessors eine eigene Gruppe leiten. Die Stellen sind auf sechs Jahre befristet, nach drei Jahren gibt es eine Zwischenevaluation. Daran kann sich eine befristete W2-Professur anschließen, die wir derzeit aus Exzellenz-Mitteln bezahlen. Das schafft eine Art Zwischenfinanzierung; herausragend qualifizierte können dann womöglich auf Stellen des Strukturplans nachrücken. Ich nenne das das „Prinzip Brückenbau“. Eine Tenure-Perspektive, wie Sie sie dem Nachwuchs in München bieten, also die Berufung auf eine tatsächlich dann unbefristete Professur, ist für uns finanziell nicht machbar.

Huber: Hier zeigt sich auch ein Strukturproblem: Die Expansion des Wissenschaftssystems in den vergangenen Jahren hat vor allem Projektstellen geschaffen, die von vornherein befristet sind. An der LMU bezahlen wir mittlerweile die Hälfte der Mitarbeiter aus Projekt- und Drittmitteln. Wir brauchen deshalb eine stärkere Grundfinanzierung, mit der es möglich ist, auch wieder mehr dauerhafte Positionen anzubieten. Wir können nicht immer nur die Zahl der Nachwuchskräfte ausdehnen, wir müssen ihnen auch eine echte Berufsperspektive schaffen können.

Auf den Professuren sind Frauen deutlich in der Minderheit, im Studium haben sie noch die Mehrheit. Was tun Sie, um dieses Missverhältnis auszugleichen?

Alt: Das muss man langfristig planen. Hier begann es in den 70er-Jahren als Anliegen der jungen, progressiven Universität mit der Geschlechterforschung. Mittlerweile hat sich diese in ein Element



„Die Universitäten müssen auch auf die Begabungs- und Leistungspotenziale der Frauen setzen“ – „Das geht nicht ohne Anreize“: Bernd Huber (links) und Peter-André Alt im Dialog. Fotos: Bernd Wannemacher

auch des Managements weiterentwickelt. Wir fördern jetzt die Bereitschaft der Fachbereiche, Wissenschaftlerinnen – natürlich nach Qualitäts- und nicht nach Quotierungsgesichtspunkten – zu berufen, indem wir dafür leistungsbezogene Mittel zusätzlich ausschütten. Als Indikatoren gelten nicht nur wie üblich Drittmittelquoten und Absolventenzahlen, sondern auch Gender-bezogene Daten. Heute sind 35 Prozent der Professuren mit Frauen besetzt, damit liegen wir bundesweit vorn. Aber ohne Anreize geht das nicht. **Huber:** An der LMU sind mittlerweile 60 Prozent der Studierenden Frauen. Bei den Promotionen liegt der Wert etwas niedriger. Aber unter denen, die dann tatsächlich in der Wissenschaft bleiben, machen die Frauen nur 25 bis 30 Prozent aus. Wir müssen mehr junge Frauen davon überzeugen, eine wissenschaftliche Karriere zu ergreifen. Das versuchen wir mit gezielten Maßnahmen wie zum Beispiel einem Mentoring-Programm. Wenn uns das nicht gelingt, wird der Professorinnen-Anteil auf Dauer irgendwo um die 30 Pro-

zent bleiben. Dabei brauchen wir die Begabungs- und Leistungspotenziale von Frauen ganz dringend auch an den Hochschulen.

All das, was Sie bisher gesagt haben, kann nur greifen, wenn die Finanzierungsbasis der Universitäten solide bleibt. Der neue DFG-Präsident, der Münchner Germanist Peter Strohschneider, prognostiziert, dass die sieben fetten Jahre der Forschungsförderung für die Universitäten womöglich vorbei seien. Sehen Sie das auch so?

Alt: Das hängt davon ab, wie viel Mittel in einem neuen Hochschulpaket für die DFG kommen und vielmehr noch, wie viel für Overheads. Denn an einer Stelle leiden wir auch unter unserem Erfolg: Je mehr Drittmittel die Freie Universität akquiriert, desto mehr muss sie aus eigenen Geldern beisteuern – für die benötigte Infrastruktur, für Labor- und Büroflächen, für Energie. Wir haben ausgerechnet: Den 110 Millionen Euro Drittmitteln, die die Universität jährlich einwirbt, stehen 60 Millionen Euro an zusätzlichen Kosten



„Die herausragenden Universitäten sind international sichtbar“ – „Sie sind wieder die Herzkammer des Wissenschaftssystem“: Peter-André Alt und Bernd Huber. Fotos: Bernd Wannemacher

gegenüber. Die Overheads, die die DFG ausschüttet, reichen also nicht aus. Und dass es nun tatsächlich nennenswerte Aufwüchse im Hochschulpaket gibt, Mittel für die DFG, die zusätzlich fließen, mag man realistischweise bezweifeln.

Huber: Wir haben in den letzten zehn bis 15 Jahren eine hervorragende Entwicklung an den Hochschulen, im Wissenschaftssystem gehabt. Auch von einem allgemeinen politischen Standpunkt aus wäre es äußerst unklug, das zu gefährden, indem Bund und Länder jetzt die Finanzversorgung drosselten. Es gibt ja in Deutschland nicht so viele Bereiche, in denen wir als Land in die Zukunft investieren können. Bildung und Wissenschaft gehören zentral dazu. Daher müssen wir dafür sorgen, dass nach den sieben guten Jahren – ich würde nicht von fetten reden – weitere sieben gute kommen.

Mit der Exzellenzinitiative in dieser Form jedenfalls ist es 2017 vorbei. Was kommt danach?

Huber: Wichtig ist, dass ein neues Programm nachfolgt. Im Moment gehen mit der Exzellenzinitiative, wie gesagt, 600 Millionen Euro jährlich an die Universitäten. Wenn das wegfallen würde, wäre das eine nicht auszudenkende Katastrophe für das Wissenschaftssystem. Das würde uns um Jahre zurückwerfen. Wenn man diesen Wettbewerb durchlebt hat, weiß man aber auch: Das ist in dieser Form nicht noch einmal wiederholbar. Es hat die Universitäten über die Maßen angespannt und ihnen eine ungeheure Anstrengung abverlangt. Man muss also über ein neues Programm nachdenken. Eine Schlüsselfrage wird sein, wie sich der Bund bei einer Auflösung des grundgesetzlichen Kooperationsverbotes künftig in die Finanzierung der Hochschulen einbringt. Das ist in einen parteipolitischen Streit hineingeraten. Jetzt vor der Bundestagswahl kommen viele taktische Erwägungen zum Tragen. Ich weise nur darauf hin: 2017 läuft die Exzellenzinitiative aus, da bleibt nicht mehr so wahnsinnig viel Zeit, ein neues Programm auch umzusetzen.

Die Helmholtz-Gemeinschaft bringt sich schon in Stellung als möglicher Senior-Partner für universitäre Einrichtungen. An dem Testfall ist auch die FU beteiligt: Die Berliner Universitätsmedizin, die Charité, soll mit dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin fusionieren, der Großforschungseinrichtung in Berlin-Buch. Wie kann aus dem neuen Versuch ein erfolgreiches Modell werden?

Alt: Das geplante Berliner Institut für Gesundheitsforschung (BIG) ist tatsächlich eine große Chance. Gerade in den Lebenswissenschaften und der klinischen Forschung sind die Finanzierungslasten so groß, dass die Universitäten und die Landeshaushalte sie auf Dauer allein nicht tragen können, auch wenn im Fall der Charité gleich zwei Universitäten, die Freie Universität und die Humboldt-Universität, dahinterstehen. Insofern ist es richtig, dass sich der Bund für den Zusammenschluss der beiden herausragenden Einrichtungen engagiert. Es muss aber sichergestellt sein, dass die Qualität der Forschung laufend evaluiert wird. Das wird hier so sein. internationale Gutachter werden regelmäßig draufschauen. Es muss einen fairen Wettbewerb um die Bundesfinanzierung geben.

Huber: Die Zusammenarbeit mit außeruniversitären Einrichtungen wird sicher in Zukunft eine größere Rolle spielen. Ich hielte es aber für falsch, wenn die Förderung, die die Exzellenzinitiative nach 2017 ersetzen soll, vorrangig über die außeruniversitäre Forschung an die Universitäten gelenkt würde. Über die Helmholtz-Gemeinschaft beispielsweise ließe sich zudem der große Bereich der Geisteswissenschaften nicht fördern, weil sie keine einschlägigen Institute unterhält. Die Universitäten sind das Rückgrat des Wissenschaftssystems, und wir brauchen Wege, wie sie gezielt auch vom Bund unterstützt werden können. Und das setzt eben voraus, dass das Kooperationsverbot fällt.

Der Münchner Molekularbiologe Ernst-Ludwig Winnacker, erst DFG-Präsident und später Generalsekretär des Europäischen Forschungsrates, bezweifelt, dass derartige Fusionen gut gehen können: „Eine Universität, die ihre Forschung bottom-up organisiert, vermählt sich mit einer quasistaatlichen Forschungsinstitution, die sich an politischen Programmen orientiert.“ Sieht er da zu schwarz?

Alt: Mit der Zusammenarbeit mit Helmholtz-Zentren haben wir gute Erfahrungen gemacht, sie ist pragmatisch und zielorientiert. Aber es kann nicht sein, dass jetzt nach Gutsherrenart das Geld vergeben und damit Forschungspolitik gemacht werden soll. Schließlich hat die DFG über Jahrzehnte ein faires wettbewerbliches Vergabesystem aufgebaut.

Huber: Ja, wenn ich mir das Programm „Helmholtz 2020“ anschau, muss ich mir schon Gedanken machen, ob da nicht eine zweite DFG aufgebaut werden soll. Die braucht es nicht. Es muss beides geben: die Programmforschung in Großforschungseinrichtungen, die ein gesamtstaatliches Interesse etwa in der Energieforschung bedient, und Bottom-up-Forschung, in der Wissenschaftler frei

ihre Themen suchen und die auf der Basis des Peer Reviews, der Begutachtung also durch Fachkollegen, funktioniert.

Die Max-Planck-Gesellschaft wünscht sich das Label einer Graduiertenuniversität. Was halten Sie davon?

Huber: Wir dürfen kein Rosinenpicken zulassen. Es kann nicht sein, dass sich einzelne Institutionen besonders attraktive Bereiche wie die Doktorandenausbildung herausuchen und den Universitäten die Grundausbildung überlassen. Dann könnten wir genauso gut anfangen, Angebote einzustellen und in Physik etwa und Chemie gleich mit der Master- und Doktorandenausbildung zu beginnen.

Alt: Wenn wir nur an einer Stelle eine Dysbalance zulassen, die Profilschärfe zulasten der Vielfalt ermöglicht und damit die Wettbewerbsfähigkeit steigert, bricht das System an mehreren Stellen weg. Ich hielte das für einen Kulturbruch. Wir werden das Promotionsrecht nicht aus der Hand geben. Außerdem gibt es bereits enge Formen der Zusammenarbeit mit Max-Planck-Wissenschaftlern – in Forschung und Lehre. Eine Max-Planck-Graduierten-Akademie brächte uns da nicht weiter.

Dann hätte Deutschland aber endlich einen Spitzenkandidaten in den globalen Rankings, halten die Befürworter der MPG-Idee dagegen. Braucht es das, oder stehen in zehn Jahren FU und LMU dort oben – als Bundesuniversitäten?

Alt: Die Frage der Rankings halte ich für einigermaßen irrelevant. Und Bundesuniversitäten auszurufen, das ist meines Erachtens nicht der richtige Weg. Wir brauchen weiter ein gutes Wettbewerbssystem der Qualitätssicherung und der Finanzierung.

Huber: Ob nun Bundesuniversitäten entstehen oder andere Förderprogramme anlaufen: Wir brauchen eine Lösung, die insbesondere die längerfristige Grundfinanzierung der Universitäten verbessert. Und das schnell. Sonst werden wir womöglich doch noch die Diskussion über ein „akademisches Prekariat“ führen müssen. Und was die Platzierung in den globalen Rankings angeht, handelt es sich um ein europäisches Problem, Großbritannien einmal ausgenommen. Wir kommen alle aus einer egalitären Tradition, in der die Fiktion vorgeherrscht hat, alle Universitäten seien in ihrem Leistungsniveau, in der Forschung und genauso in der Lehre, annähernd gleich. Das hat nie gestimmt, natürlich nicht, und stimmt schon gar nicht mehr seit der Exzellenzinitiative.

Prof. Dr. Peter-André Alt, Jahrgang 1960, ist Professor für Neuere deutsche Literaturwissenschaft und seit Juni 2010 Präsident der Freien Universität (FU) Berlin.

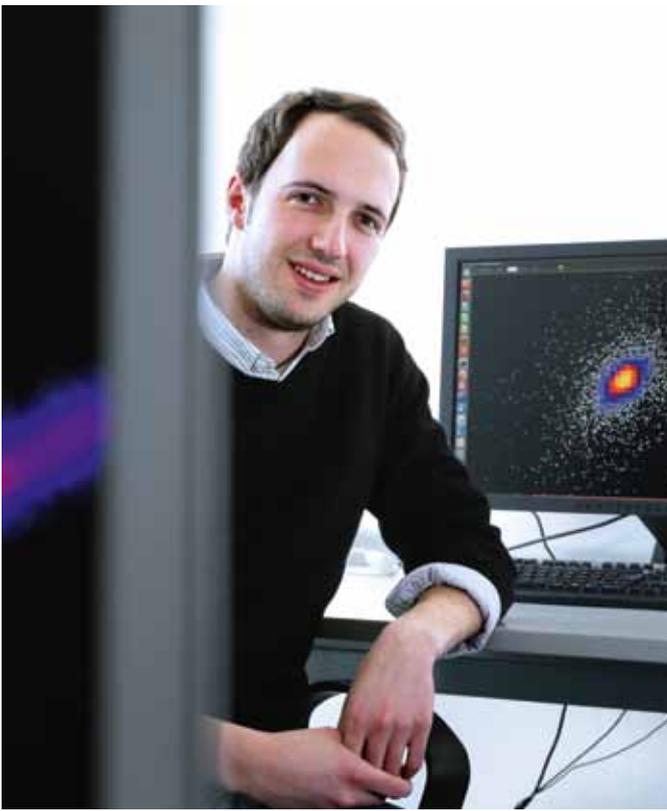
Prof. Dr. Bernd Huber, Jahrgang 1960, ist Professor für Finanzwissenschaft und Präsident der Ludwig-Maximilians-Universität München. Er wurde 2002 an die Spitze der LMU gewählt.



Die Stimmen der Kandidaten

Patricia Vidovic, 26, Kunsthistorikerin, promoviert an der Graduiertenschule für Ost- und Südosteuropastudien:

» In Ländern wie Ungarn, Tschechien und Rumänien hat sich eine ganz eigene Form des imaginativen, hochpoetischen Kinos herausgebildet. Die Filme erzählen meist kleine, gleichwohl existenzielle Geschichten – ohne jedes Pathos. Die Grenze aber zwischen Fakten und Fiktion ist aufgelöst und gibt einem subjektiven Mikrokosmos und einer eigenwilligen, sensiblen ‚Form des Verstehens‘ Raum. Auch wenn sie scheinbar unpolitisch wirken und aus einer subjektiven Erzählperspektive geschildert werden, lassen sich anhand ihrer Ästhetik, die neue Sichtbarkeiten hervorbringt, Rückschlüsse auf veränderte politische Kontexte ziehen. Dies zu versuchen, dabei hilft mir die Interdisziplinarität der Schule – und die schlichte Tatsache, dass viele der Promovierenden aus Osteuropa stammen und mir ihren persönlichen Eindruck der politischen Entwicklungen nahebringen können.«



Daniel Bader, 24, Bioinformatiker, promoviert ab Herbst an der Graduate School of Quantitative Biosciences Munich:

» In meinem medizinisch-bioinformatischen Promotionsprojekt analysiere ich Patientendaten auf Anhaltspunkte für entzündliche Darmkrankheiten, zum Beispiel Morbus Crohn. Zu dem komplexen Datensatz gehören Genomdaten, Genexpressionsprofile und Mikrobiomdaten, die Aufschluss über die Besiedlung der Probanden mit Mikroorganismen geben, zum Beispiel die Zusammensetzung der Darmflora. Ziel der Studie ist es, Ursache für diese Krankheiten zu finden. Wenn wir am Ende den Erkrankten helfen könnten, wäre das ein Traum. Bei QBM sind die verschiedenen Disziplinen verschmolzen. Im Vordergrund steht jeweils die Fragestellung. Die beteiligten Forscher werfen dafür ihr Know-how zusammen; davon können wir als Doktoranden nur profitieren.«



Zsuzsanna Végh, 26, Ägyptologin, promoviert an der Graduate School for Ancient Studies „Distant Worlds“:

» Die deutsche Ägyptologie ist international hoch anerkannt. Da war es für mich naheliegend, nach dem Studium in Budapest nach Deutschland zu kommen. Der Zuschnitt der Münchner Graduiertenschule hat mich gereizt, schließlich formiert sich hier eine Arbeitsgruppe, die den thematischen Fokus auf die ‚Konstruktion von Eliten‘ legt. Und das passt genau zu meinem Promotionsprojekt: Ich untersuche das Fest zu Ehren des Totengottes Osiris, das von etwa 2100 vor Christus an alljährlich in der Stadt Abydos gefeiert wurde. Anhand der Quellen versuche ich, den Verlauf dieses für den Osiris-Kult in der Zeit des Mittleren Reiches so wichtigen Festes zu rekonstruieren – und die soziale Dynamik, die sich aus der Teilnahme ableitete.«

Arnost Stanzel, 28, Politikwissenschaftler und Historiker, promoviert an der Graduiertenschule für Ost- und Südosteuropastudien:

» In meiner Promotion geht es um Staudambauten in den Karpaten zwischen 1945 und 1989, ich vergleiche die Tschechoslowakei und Rumänien. Daran lässt sich mehr nachzeichnen als nur eine kleine Episode der Umweltgeschichte. Welcher Umgang mit Natur spiegelt sich in solch riesigen Infrastrukturprojekten? Wie fügen sie sich in die große propagandistische Erzählung vom sozialistischen Aufbau? Und wie gingen die Regime mit dem drängenden Problem der Wasserverschmutzung um? Die Graduiertenschule erschließt einem auf ganz natürliche Weise interdisziplinäre Zugänge. Und mit dem Konzept der Area Studies ist sie darauf angelegt, Bezüge zu anderen Weltregionen zu schaffen. In meinem Fall lässt sich damit der Umgang mit natürlichen Ressourcen weltweit vergleichen.«

Fotos: Jan Greune (Orte: Monopol am Nordbad, Genzentrum, Ägyptisches Museum und Isar)





Wie ruft das Gehirn Inhalte aus dem Gedächtnis ab?
Tests in der virtuellen Realität. Foto: Jan Greune



Die Sinne-Sucher

Die **Graduate School of Systemic Neurosciences**: Forscher unterschiedlichster Fachrichtungen und ihre Doktoranden arbeiten gemeinsam daran, die Funktionsweise des Gehirns und die Verarbeitung von Wahrnehmungen zu verstehen.

Von Hubert Filser

Man kann sich Benedikt Grothe gut vorstellen, wie er dort, auf der Insel San Servolo, mit seinen Studenten diskutiert, wie er dabei lebhaft und durchaus leidenschaftlich die großen und zentralen Fragen angeht: Wie entsteht die Welt im Kopf? Und was ist eigentlich das „Ich“? Jedes Jahr im September fährt der Neurobiologe zusammen mit Kollegen und einem Großteil der Studenten der Münchner *Graduate School of Systemic Neurosciences (GSN)* auf die kleine, rechteckige Insel, nur fünf Minuten mit dem Boot vom Markusplatz in Venedig entfernt. Außer den Seminarräumen und den Gästehäusern gibt es dort nur eine Mensa, einen Tennisplatz und einen kleinen Park. Es ist ein perfekter Ort, um über komplexe Dinge auch aus ungewohnter Sicht nachzudenken. Früher war hier ein Kloster, später ein Gefängnis, danach eine geschlossene psychiatrische Einrichtung und jetzt eben residiert in den alten Renaissance-Gebäuden die Internationale Universität Venedig, an der auch die LMU beteiligt ist. „In München schaffen wir es wegen unserer vielen Termine nie, vier Tage lang so intensiv über wichtige ethische, philosophische und neurobiologische Fragen zu reden“, sagt Grothe, Sprecher der GSN.

Für den Neurobiologen ist das jährliche Seminar in der Lagunenstadt mehr als ein Betriebsausflug in netter Umgebung. Es ist auch ein Zeichen dafür, dass die rasante Entwicklung, die die Neurowissenschaften in den vergangenen Jahren genommen haben, einen Bedarf schafft, die fachlichen Ergebnisse auch einmal unter anderen Blickwinkeln zu diskutieren und sich mit Kollegen und Doktoranden verschiedenster Fachrichtungen auszutauschen.

Und so steht die Tagung symbolisch für die Idee der Graduiertenschule, in der ebenfalls der interdisziplinäre Austausch und die Vernetzung im Mittelpunkt stehen. Man könnte die GSN selbst als dynamisches Netzwerk verstehen. „Die GSN verbindet möglichst praxisnah Lehrinhalte aus den Bereichen Neurobiologie, Psychologie, Neurophilosophie mit Physik und mathematischer Modellbildung und bildet so ein interdisziplinäres Forschungsnetzwerk“, fasst Grothe das Programm zusammen. Davon erhoffen sich die Forscher neue Impulse für das gesamte Gebiet der Gehirnforschung.

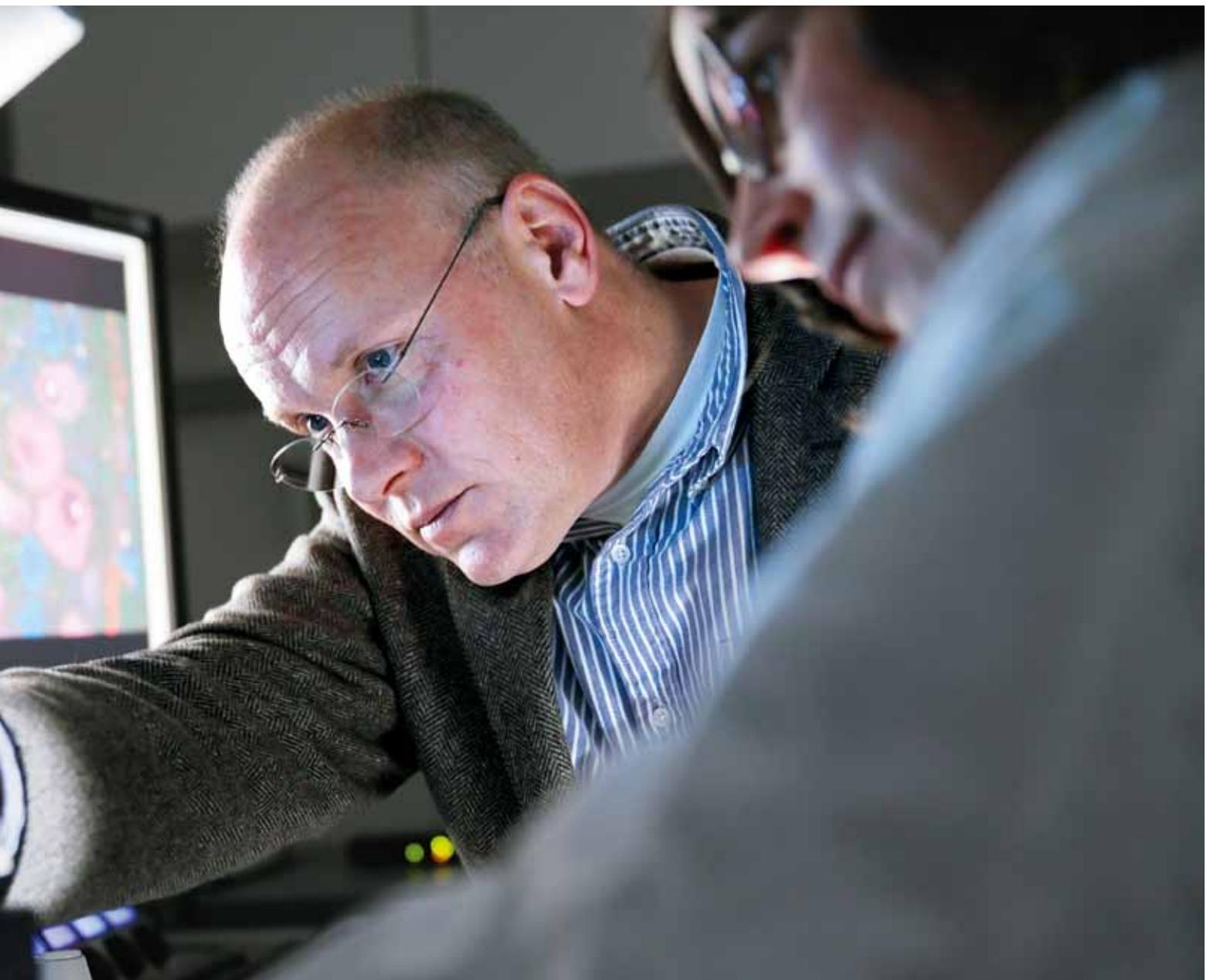
Denn schließlich geht es in der Graduiertenschule, ganz allgemein formuliert, um nichts weniger als darum, die Funktionsweise des Gehirns zu verstehen. GSN, bereits seit 2006 gefördert, ist in fünf Kernbereiche gegliedert; ausgehend von einem systemisch-organischen Schwerpunkt bindet sie eine Reihe von Fachrichtungen und Methoden ein: Neurobiologen untersuchen die Struktur und Funktion einzelner Nervenzellen oder die Signalwege in Nervenzellverbänden, Experimentelle Psychologen wollen unter anderem wissen, welche Informationen wir wirklich verarbeiten, wenn wir uns räumlich orientieren. Neurologen beschäftigen sich mit neuen Ansätzen, Nervenkrankheiten besser zu verstehen und Heilungsprozesse zu fördern. Physiker und Mathematiker versuchen, die



neuen Ideen in theoretische Modelle zu fassen und damit wiederum Daten und Experimente zu überprüfen.

Viele der Wissenschaftler in München arbeiten an der Erforschung neuronaler Systeme mit sehr klaren Funktionen, der räumlichen Orientierung beispielsweise, Sehen oder Hören. „Hier versuchen wir, die Beziehung zwischen Struktur und Funktion aufzuklären“, sagt Grothe. „Wie sind Neurone verschaltet, um eine bestimmte Information aufzubereiten, zu verarbeiten oder zu filtern?“ Viele Projekte sind deshalb interdisziplinär besetzt.

Die Gruppe um Heiner Deubel, Psychologie-Professor an der LMU, zum Beispiel analysiert, wie visuelle Aufmerksamkeit und Bewegungsablauf zusammenhängen. Einer komplexen Bewegung geht eine Verteilung der „Aufmerksamkeitsressourcen“ voraus, die spezifisch gleichsam die Bewegung vorwegnimmt und „alle handlungsrelevanten Objekte auswählt“, sagt Deubel. „Dafür haben wir mittlerweile viele Belege gefunden.“ Zielgerichtete Bewegungen



Untersuchen Nervenzellen unter dem Mikroskop: Benedikt Grothe und Nachwuchsforscherin Annette Stangl. Foto: Jan Greune

setzen einen „Selektionsprozess“ voraus, in dessen Verlauf das Handlungsziel aus vielen möglichen Objekten ausgewählt wird und „die für die Bewegung relevanten Parameter“ berechnet werden. Grothe selbst untersucht in seiner Arbeitsgruppe unter anderem, wie Neurone und kleine Netzwerke strukturiert sein müssen, um einen Schall exakt zu lokalisieren. Um zeitlich versetzt ankommende Schallinformationen zu verarbeiten, müssen die Nervenzellen Zeitdifferenzen im Bereich von Mikrosekunden, Millionstel Sekunden also, verrechnen können. „Normalerweise schaffen das Neurone nicht“, sagt Grothe. Es gibt aber doch Nervenzellen, die das zuwege bringen. Verarbeitungszeiten von nur 25 Mikrosekunden sind physiologisch dann möglich, so haben die Forscher erkannt, wenn verschiedene Nervenzellen extrem genau synchronisiert sind. Da diese Zellen nämlich praktisch keinen Eingangswiderstand haben, können sie nur so ein Aktionspotential für die Reizleitung aufbauen. „Auf diese Idee haben uns die Ingenieure gebracht“, erzählt Grothe.

Es sei oft gerade eine solche fächerübergreifende Zusammenarbeit, aus der neue Ideen entstünden – so auch bei der Frage, wie Schallinformationen so aufbereitet werden, dass wir im Alltag den Raum um uns wahrnehmen. „Wir Neurobiologen kennen die Schaltkreise im Gehirn, die beteiligt sind, wir kennen die Moleküle und die Ionenkanäle, die eine Rolle spielen“, sagt Grothe. Doch um ein komplexes Thema wie das der Orientierung anzugehen, bedarf es des Zusammenwirkens verschiedener Expertisen. Die Theoretiker entwickeln Schaltkreise, die die Stärke von hemmenden und erregenden Nervenbahnen simulieren, sie bauen in ihre Algorithmen Einflüsse wie die Eigenschaften von Membranen oder Ionenkanälen ein, sie bilden biologische Systeme wie eine Nervenzelle mit all ihren Ein- und Ausgängen in einem dreidimensionalen Modell der Signalübertragung ab. Vor allem die theoretische Modellierung seines Kollegen Christian Leibold habe ihn auf neue Gedanken gebracht, sagt Grothe. „Unsere Modelle ver-

bessern wir im direkten Austausch. Wir füttern sie mit Messdaten, sie uns mit neuen Ideen, das ist ein mühsamer, aber wichtiger Prozess. Aber wenn wir wissen, wie die Systeme laufen, können wir auch Voraussagen machen. Die können wir dann zusammen mit Psychophysikern überprüfen.“ Die Philosophen leisten ebenfalls ihren Beitrag, sagt Grothe. Schon die allererste Doktorarbeit an der GSN habe sich mit der philosophischen Frage nach Raum und Zeit beschäftigt.

Ganz offensichtlich funktioniert dieser interdisziplinäre Ansatz. Die GSN ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen. 80 Dozenten, Professoren und Laborleiter beteiligen sich mittlerweile, betreuen Studenten, halten Vorlesungen. Der Ansturm ist groß, nur zehn Prozent der Bewerber werden angenommen. Die Graduiertenschule kann eigenständig und unabhängig von einer Fakultät einen Dokortitel vergeben, auch den anglo-amerikanischen PhD. Jedes Jahr im März werden 60 Kandidaten zu einer Interviewwoche eingeladen, etwa die Hälfte von ihnen wird dann aufgenommen. Wäh-

»Es ist eine ganz andere Art von Lehre möglich«

rend dieser Woche haben die Doktoranden auch die Möglichkeit, sich ein passendes Labor und ein Promotionsthema zu suchen.

Grothe, der mit der Entwicklung der GSN seit 2006 hochzufrieden ist, räumt ein, er habe einen Erfolgsfaktor anfangs in seiner Bedeutung unterschätzt: das soziale Netzwerk der Doktoranden. Es gibt inzwischen auch eigens eingestelltes Personal, das nur für die Belange der Studenten zuständig ist, berichtet Lena Bittl, die Koordinatorin der Graduiertenschule. „Wir organisieren viele Veranstaltungen für sie, Exkursionen zu anderen Forschungseinrichtungen beispielsweise, aber eben auch private Aktivitäten am Wochenende oder am Abend.“ Die GSN unterhält Kooperationen mit anderen Universitäten, für den Austausch von Doktoranden, gemeinsame Workshops sowie Sommer- und Winterschulen. Partner seien unter anderen Amsterdam und London, die Medical School und das Center for Brain Science der Harvard University sowie das Queensland Brain Institute in Australien.

Mit der intensiven Betreuung sei das Niveau deutlich gestiegen, meinen viele der beteiligten Professoren. „Wir können extrem engagierte Studenten von den besten Universitäten nach München locken“, sagt Grothe. Auch der Vorlesungsbetrieb ist höchst individuell. „Eigentlich halte ich keine Vorlesung, sondern wir diskutieren gemeinsam Themen. Das ist eine ganz andere Art der Lehre.“ Da gibt es schon mal die Luxussituation, dass nur drei Studenten in

einer dieser Lehrveranstaltungen sitzen. „Da entstehen intensive Gespräche, fast wie an angelsächsischen Elite-Universitäten, an denen es einmal pro Woche Eins-zu-eins-Gespräche gibt.“

Die Austauschprogramme sind auch ein Beleg für die neue, bewusst internationale Ausrichtung. „Wir wollen einen Anteil ausländischer Studenten zwischen 40 und 60 Prozent“, sagt Grothe. „Das erweitert den Horizont.“ Aktuell kommt rund die Hälfte der 150 Studenten aus dem Ausland. „Für mich liegt der Reiz der GSN in der Internationalität“, sagt Christian Leibold denn auch. „Ich kann Studenten rekrutieren, die sonst nie auf die Idee gekommen wären, wegen einer Promotion anzufragen, und ihnen gleichzeitig viel mehr außerhalb der Promotion bieten: Reisen zu Konferenzen, Kooperationspartnern oder zu Vorstellungsgesprächen für anschließende Postdoktoranden-Stellen.“ Sein Doktorand Alvaro Tejero-Cantero beispielsweise ist aufgrund eines Vortrags in Oxford gelandet. „Die GSN ist einfach genial organisiert“, sagt Tejero-Cantero rückblickend. „Ich habe an Sicherheit beim Lehren gewonnen, meine Präsentationstechnik verbessert und Wichtiges aus der Biologie gelernt, das ich als gelernter Theoretischer Physiker benötigte.“

„Uns Wissenschaftlern steht doch im Moment die Welt offen“, sagt Grothe. „Wir unterstützen unsere Doktoranden, sich irgendwo in der Welt ein spannendes Labor zu suchen, das sie in ihrer Arbeit weiterbringt. Sie sollen aktiv ihre Karriere gestalten. Das funktioniert nicht, wenn man im eigenen Saft schmort.“ Grothe spricht von einem „neuen Geist“ an der LMU. „Wir haben jetzt nicht mehr einen bunten Haufen von Doktoranden. Es ist eine Community entstanden, die wissenschaftlich und kulturell vernetzt ist. Früher gab es so etwas an so großen Universitäten wie der LMU nicht.“ Früher hätte er auch „ganz rational“ gesagt, Deutschland brauche solche Graduiertenschulen, „um im internationalen Vergleich bestehen zu können“, sagt Grothe. „Heute würde ich emotional sagen: Die GSN ist das Beste und Wichtigste, was ich in meinem Leben bisher gemacht habe. Auch wenn ich in meinem Leben sonst nichts mehr zustande bringe, kann ich sagen, es war nicht ganz umsonst.“ ■

Graduate School of Systemic Neurosciences

An der GSN, die bereits seit 2006 gefördert wird, suchen Doktorandinnen und Doktoranden aus verschiedenen Bereichen der Neurowissenschaften nach Antworten auf die fundamentalen Fragen der modernen Hirnforschung. Die Graduiertenschule deckt das gesamte Spektrum neurowissenschaftlicher Forschung ab, von der Molekular- und Zellbiologie über systemische Neurowissenschaften und Wissenschaftstheorie bis hin zu Neuropsychologie und -philosophie. Kooperationspartner der LMU sind die Technische Universität München, die Max-Planck-Institute für Neurobiologie und Ornithologie sowie das Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.



Das Gehirn als Forschungsobjekt: Doktorand Roberto Banchi (oben) und Nachwuchsforscherin Andrea Lingner mit Benedikt Grothe bei Experimenten mit Wüstenrennmäusen (unten). Fotos: Jan Greune





Registriert die Blickbewegungen mithilfe spezieller Kameras mit höchster zeitlicher Auflösung: Donatas Jonikaitis.

Dem Blick voraus

Man könnte sagen, Donatas Jonikaitis macht eine Art Hochgeschwindigkeitsforschung. Die Blickbewegungskameras im Labor an der Münchner Leopoldstraße können Augenbewegungen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Tausendstel Sekunde messen. So schnell muss man sein, um antizipatorischen Vorgängen beim Sehen auf die Spur zu kommen, zu verfolgen, wie wir es schaffen, Vorgänge in unserer Welt im Blick zu behalten.

Zur Einstimmung zeigt Jonikaitis, der am Lehrstuhl für Allgemeine und Experimentelle Psychologie der LMU arbeitet, ein Video auf Youtube: „Whodunnit?“ heißt es. Ein Kommissar soll darin den Mord an einem englischen Lord aufklären und befragt drei Verdächtige. Während man dem Mörder auf der Spur ist, verändert sich ständig die Szenerie, ohne dass man es bemerkt. Es sei ein Beleg, wie leicht wir zu täuschen sind und auf welche Dinge unser Seh-System wirklich achtet, um im Chaos konkurrierender Informationen zurechtzukommen, sagt Nachwuchsforscher Jonikaitis. Darum gehe es letzten Endes auch in seiner Forschung, sagt Jonikaitis: Wie können wir beispielsweise, so lautet eine Frage, einen Freund im Durcheinander auf dem Münchner Marienplatz verfolgen, obwohl doch ständig andere Bildinformationen und Geräusche ablenken?

Die Wissenschaftler stellen sich das so vor: Unser Bewusstsein analysiert ständig die Szenerie und bereitet unser Wahrnehmungssystem schon darauf vor, welche Bereiche im Blickfeld es kurz darauf verarbeiten muss. Bei jeder schnellen Blickbewegung, Sakkade

genannt, ändert sich das Abbild der Umwelt auf der Netzhaut des Auges dramatisch. Es gleitet drei- bis viermal pro Sekunde mit hoher Geschwindigkeit über den Augenhintergrund. Das menschliche Gehirn ist trotzdem in der Lage, Wahrnehmungseindrücke vor und nach einer Sakkade so miteinander zu verbinden, dass wir die Welt räumlich und zeitlich als Kontinuum wahrnehmen.

„Ich konnte in meiner Arbeit zeigen“, sagt Jonikaitis, „dass sich die visuelle Aufmerksamkeit bereits vor der Blickbewegung dorthin verschiebt, wo sich relevante Objekte am Ende der Sakkade befinden werden.“ Mithilfe der Blickbewegungskameras konnte er zeigen, dass sich die visuelle Wahrnehmung genau in diesem verhaltensrelevanten Bereich des Gesichtsfelds schon vor der Augenbewegung messbar verbessert. „Dies ist von großer funktionaler Bedeutung für das Sehen, möglicherweise erlaubt uns dieser effektive Mechanismus, relevante Teile unserer Welt trotz häufiger Blickbewegungen ‚im Auge‘ zu behalten“, sagt sein Betreuer, Psychologie-Professor Heiner Deubel. „Visuelle Verarbeitung ist weitgehend auf handlungsrelevante Zielobjekte beschränkt – ‚Sehen‘ steht wesentlich im Dienste der Handlungssteuerung.“ ■

Das Netz der neuen Nerven

Wenn Nervenzellen aufgrund einer neurodegenerativen Erkrankung oder eines Schlaganfalls Schaden nehmen oder absterben, werden sie im Regelfall nicht mehr ersetzt. Für die Betroffenen ist das eine Katastrophe, denn die Hirnleistung nimmt oft schlagartig ab. „Deshalb interessieren wir uns für Ansätze, wie wir neue Nervenzellen bilden können“, sagt Leibniz-Preisträgerin Magdalena Götz; sie ist Direktorin des Instituts für Stammzellforschung am Helmholtz Zentrum München und Inhaberin des Lehrstuhls für Physiologische Genomik an der LMU. Doch bislang ist unklar, ob und wie sich neu gebildete Nervenzellen zum Beispiel nach einer Transplantation neuronaler Stammzellen oder nach Umwandlung multipotenter Stammzellen im lebenden Organismus überhaupt wieder richtig mit den anderen Nervenzellen im Gehirn verknüpfen. „Niemand hat bislang die Verknüpfung neu gebildeter Nervenzellen nach Gehirnverletzung untersucht“, sagt Götz.

„Hier ist die Doktorarbeit von Aditi Deshpande sehr wichtig“, sagt Magdalena Götz. Die aus Indien stammende Nachwuchswissenschaftlerin hat ein System weiterentwickelt, um Verbindungen mit Nervenzellen, die im Erwachsenenalter neu entstehen, zu verfolgen. Aditi Deshpande hat dabei das Tollwut-Virus so verändert, dass man es als ein Signal einsetzen kann, das im Gehirnschnitt sichtbar ist, als eine Art viralen Vektor.

Im Gehirn werden bei erwachsenen Menschen nur in zwei Regionen neue Nervenzellen gebildet, im Riechkolben und in einer Region des Gyrus dentatus, einem Teil des Hippocampus, der für das Lernen besonders wichtig ist. Genau in diese Regionen schleuste Deshpande bei Mäusen das Virus ein und beobachtete, wie sich die neu gebildeten Zellen mit den vorhandenen verbinden. Das Ergebnis: Die Nervenzellen verknüpften sich innerhalb weniger Wochen sowohl lokal mit Interneuronen wie auch mit weiter entfernten Hirnregionen.



Magdalena Götz untersucht mit ihren Doktoranden die Verknüpfung neugebildeter Nervenzellen.



Christian Leibold entwickelt ein mathematisches Modell der Gedächtniswiedergabe. Fotos: Jan Greune, LMU (2)

„Das ist eine wichtige Vorarbeit für unser Team. Mit dieser neuen Beobachtungstechnik können wir nun auch die Verbindungen von regenerierten Nervenzellen untersuchen“, sagt Stammzellforscherin Götz. „Kein Labor im gesamten Feld der neuronalen Stammzellforschung hat bislang analysiert, wie sich eigentlich die Nervenzellen, die wir nach Gehirnverletzung wieder zur Neubildung anregen können, in das bereits bestehende Nervenzellnetzwerk integrieren. Dies ist aber für die Wiederherstellung der Gehirnfunktion besonders wichtig.“ ■

Erregung aus dem Hippocampus

Es geht um die „100-Millionen-Dollar-Frage“. Jedenfalls nennt Christian Leibold, Professor am Biologie-Department II, sie so: Wie tauscht sich der Hippocampus im Gehirn mit dem Rest des Cortex aus? Und wie spannt er ihn mit ein, wenn es darum geht, Inhalte aus dem Gedächtnis abzurufen? „Das ist ein Gebiet, das momentan viele Kollegen stark beschäftigt“, sagt Leibold – auch ihn und seine Doktoranden an der GSN. Alvaro Tejero-Cantero ist einer von ihnen. Der Physiker hat untersucht, wie kurzzeitige Oszillationen im Gehirn entstehen und ausklingen, er hat sich dabei vor allem die schnellen Oszillationen mit einer Frequenz von 200 Hertz im Hippocampus angeschaut. In diesem speziellen Teil der Hirnrinde findet sich eine der stärksten Erregungswellen im ge-

samen Gehirn. Mit einer Kombination aus mathematischen Modellen und Datenanalyse versuchte Tejero-Cantero zu klären, wie es gemeinsam angestimmte Neurone im Hippocampus schaffen, Szenen aus dem Gedächtnis wiederzugeben.

Bislang ging man davon aus, dass schnelle Oszillationen in der Hirnrinde ausschließlich durch hemmende neuronale Verbindungen (Synapsen) vermittelt werden. Alvaro Tejero-Cantero analysierte experimentelle Daten einer Forschergruppe von der Charité in Berlin und entwickelte Methoden, mit denen die verschiedenen Beiträge von hemmenden und erregenden Synapsen zu den Oszillationen in ihre Einzelanteile zerlegt werden können – „mit sehr großer Detailverliebtheit, was in diesem Kontext durchaus positiv gemeint ist“, sagt Betreuer Christian Leibold. Lokale erregende Signale seien stärker an der Oszillation beteiligt als bisher gedacht und gleichzeitig mit der hemmenden Aktivität ausgezeichnet koordiniert, so hat Alvaro Tejero-Cantero festgestellt. „Beide Uhren beginnen die Oszillation zeitverschoben, enden aber erstaunlich einstimmig.“

Die Arbeiten sind wichtig für das mathematische Modell der Gedächtniswiedergabe, das Leibold entwickelt. „Alvaro konnte durch seine Datenanalyse zum ersten Mal eine der Grundannahmen unserer theoretischen Modelle bestätigen, nämlich dass Pyramidalzellen im Hippocampus mit ihren erregenden Synapsen zeitlich präzise miteinander kommunizieren können“, sagt Leibold. „Wir haben nun großartige neue Einsichten, wie die beiden synaptischen Signale auf kurzer Zeitskala miteinander interagieren. Alvaro hat damit die Grundlage für die Arbeiten einer nächsten Doktorandengeneration gelegt.“ ■



Der ausgefeilten Choreografie des Lebens
auf der Spur: die Wissenschaftler und
Doktoranden von QBM. Foto: Jan Greune



Das rechte Maß

Graduate School of Quantitative Biosciences Munich: Lebenswissenschaftler erarbeiten neue Verfahren zur Messung, Analyse und Modellierung genregulatorischer Prozesse. Damit wollen sie die Komplexität biologischer Systeme besser erfassen.

Von Martin Thureau



„In gewisser Weise zu den methodischen Wurzeln zurückgekehrt“: Systembiologin Ulrike Gaul. Foto: Jan Greune

Als James Watson und Francis Crick die Idee von der DNA-Doppelhelix in die Welt brachten, passte das mit allem Drum und Dran noch auf eine Seite im Fachblatt *Nature*. Die Geschichte dieser schmalen Publikation ist seither Stoff für Legenden. Und es war wohl eher geniale Kombinationsgabe als besonders aufwendige Datenanalyse, mit der die beiden der chemischen Gestalt des Erbgutes auf die Spur kamen. 60 Jahre liegt diese Geburtsstunde der Molekulargenetik mittlerweile zurück, und wie der genetische Code funktioniert, wie die darin gespeicherte Information zur Blaupause des Lebens wird, ist längst nicht nur in groben Zügen verstanden. Denn Legionen von Lebenswissenschaftlern haben sich immer tiefer zu den entscheidenden Detailfragen durchgearbeitet. Immer feiner ist das Verständnis, immer verschlungener sind die zellulären Stoffwechsel- und Signalwege, die Wissenschaftler kartieren können, immer genauer auch das Bild vom molekularen Feintuning in den Zellen und dem Organismus – damit aber auch immer komplexer. Längst geht es nicht mehr um einzelne Gene und Proteine, sondern um riesige zelluläre Maschinerien, Signalwege und Netzwerke – komplette biologische Systeme. Und wenn die Forscher die molekularen Mechanismen und deren Eigenschaften nach ihrer Verteilung in Raum und Zeit beschreiben wollen, droht das die Grenzen der herkömmlichen Molekularbiologie zu sprengen: Aus einer Wissenschaft, die mit ihren Experimenten vornehm-

lich zu qualitativen Ergebnissen kommt, so erklärt Ulrike Gaul, ist eine Forschung geworden, die sehr genaue quantitative Aussagen treffen muss – über Zustände in Regelkreisen, die sich nicht einfach mit „an“ oder „aus“ klassifizieren lassen. Und dafür braucht es ausgeklügelte, vielschichtige Messverfahren, Datenanalysemethoden und Computermodelle.

Dass ohne Physik, Mathematik und Informatik fast nichts mehr läuft in der modernen Biologie, das weiß Systembiologin Gaul, Professorin am Genzentrum der LMU, aus eigener Erfahrung. An der Fruchtfliege, dem klassischen Tiermodell der Genetik, untersucht sie die Embryonalentwicklung: Wie wird aus einer befruchteten

Graduate School of Quantitative Biosciences Munich

Die Graduiertenschule, die unter dem Kürzel QBM firmiert, bildet junge Lebenswissenschaftler in interdisziplinärer Forschung an der Schnittstelle von Experiment und theoretischer Analyse aus – von der Biochemie und Medizin über Bioinformatik und Physik bis hin zur Mathematik. QBM will den Doktoranden ein umfassendes Know-how in der modernen, quantitativ und systemisch orientierten Biowissenschaft vermitteln. Der thematische Schwerpunkt der Graduiertenschule liegt auf der Kontrolle der Genexpression und dem Zusammenspiel verschiedener Kontrollmechanismen in regulatorischen Netzwerken. Beteiligt sind neben der LMU das Max-Planck-Institut für Biochemie und das Helmholtz Zentrum München.



Schwierige von der Evolution eingeübte Schrittfolgen: Ulrike Gauls Team analysiert komplexe regulatorische Muster. Foto: Jan Greune

Eizelle ein ausgewachsener Organismus? Wie läuft die Steuerung, sodass am Ende jede Zelle am richtigen Platz, jedes Organ intakt ist? Gaul fühlt sich da an den modernen Tanz erinnert, an eine ausgefeilte Choreografie des Lebens: Keiner darf patzen, aus dem Takt oder an den falschen Platz geraten. Nur dann wird die Aufführung ein Erfolg. Übersetzt heißt das: Die molekulare Maschinerie in den Zellen des Fliegenembryos muss eine Unzahl von Genen an der richtigen Stelle zur richtigen Zeit an- und wieder abstellen. Selbst wenn Gaul nur an einem kleineren Ausschnitt analysiert, wie der genetische Bauplan dafür umgesetzt wird, muss sie ein komplexes regulatorisches Netzwerk in den Blick nehmen.

Ulrike Gaul spricht von einem regelrechten Paradigmenwechsel. Auf diese Herausforderung müsse die kommende Wissenschaftlergeneration vorbereitet sein. „Für den Nachwuchs ist es unverzichtbar, neue quantitative Methoden zu beherrschen“, fordert die LMU-Forscherin und umreißt damit das Ziel der neuen *Graduate School of Quantitative Biosciences Munich*, kurz *QBM*, die aus Mitteln der Exzellenzinitiative finanziert wird. Beteiligt daran sind auch das Helmholtz Zentrum München und das Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried. Und natürlich kommt es schon Ulrike Gauls Fachrichtung wegen nicht von ungefähr, dass die Systembiologin entscheidenden Anteil an der Initiative hat und nun auch Sprecherin der neuen Graduiertenschule ist. „Doch geht es dabei nicht nur um Fragen der Systembiologie“, betont Gaul.

„Wir wollen die unterschiedlichen Fächerkulturen zusammenbringen“: auf der einen Seite experimentell arbeitende Biologen, Biochemiker und Mediziner, auf der anderen die Vertreter der „quantitativen“, sprich der dem Rechnen und Modellieren verpflichteten Wissenschaften Physik, Mathematik und Bioinformatik. In der Graduiertenschule sollen die Nachwuchsforscher lernen, beide Sprachen zu beherrschen, sich in beiden Kulturen zu Hause zu fühlen. Die Sprache der anderen soll den Doktoranden zwar nicht zur „Muttersprache“ werden, sagt Gaul. Aber „fließend, so vertraut wie eine gut beherrschte Fremdsprache“ sollte es schon gehen. „Ein Biologe muss nicht lernen, selbst die Algorithmen zu schreiben, mit denen sich biologische Systeme analysieren lassen. Aber er sollte verstehen, wie sie funktionieren und wie man sie anwendet.“ Und ein Biophysiker, der theoretische Modelle entwickelt, sollte wissen, wie man biologische Experimente plant, was sie unter Umständen schwierig macht und woher das Rauschen in den Daten kommt. „Es geht darum, sich wechselseitig Welten zu eröffnen und miteinander kommunizieren zu lernen.“

Ulrike Gaul vereint beide Welten in ihrer Person: Sie hat Biochemie studiert – und Physik. Mit der Doktorarbeit am Max-Planck-Institut in Tübingen und ihren Stationen an renommierten Einrichtungen in den Vereinigten Staaten etablierte sie sich als Entwicklungsbiologin. 20 Jahre lang forschte sie in den USA, die längste Zeit davon an der Rockefeller University in New York, bevor sie

2009 als Alexander von Humboldt-Professorin an die LMU kam. Sie gehörte zu den ersten, die mit dem höchstdotierten deutschen Forschungspreis für eine langfristige Forschertätigkeit in Deutschland gewonnen wurden.

„Lange haben wir die klassischen entwicklungsbiologischen Experimente gemacht, wir haben gezielt ein Gen ausgeschaltet und die Folgen registriert“, bestimmte Missbildungen zumeist, sagt Gaul. Seit gut einem Jahrzehnt hat sich ihr Blick geweitet, auf eine ganzheitliche Sicht biologischer Systeme – und sie ist dabei in gewisser Weise zu ihren „methodischen Wurzeln zurückgekehrt“. Wie verläuft zum Beispiel die Segmentierung des Fliegenembryos? In diesem ebenso zentralen wie vielschichtigen Prozess bilden sich im lang gestreckten Embryo Zonen unterschiedlicher Genaktivität aus, aus denen später die Körpersegmente und Gliedmaßen hervorgehen. Um dieses genetische Ballett zu choreografieren, braucht es eine minutiöse Regie und perfektes Timing: Diese Steuerung erfolgt durch ein großes Ensemble sogenannter Transkriptionsfaktoren – in einer von der Evolution eingeübten komplizierten Schrittfolge. Um ein Gen aktivieren zu können, muss dabei der Transkriptionsfaktor an ein cis-regulatorisches Element binden; solche cis-Elemente sind kurze DNA-Abschnitte in der Umgebung eines Gens, die die relevanten Steuerungsinformationen enthalten. Um diesen „Code“ zu knacken, hat Gauls Team zusammen mit Physikern zunächst Rechenverfahren entwickelt, mit denen sich cis-regulatorische Elemente in der DNA finden lassen. Und schließlich haben die Wissenschaftler mit all ihren Erkenntnissen ein Computermodell gebastelt, eine Art Vorhersageinstrument, das die Genaktivität aus der in der DNA enthaltenen Information vorausberechnet.

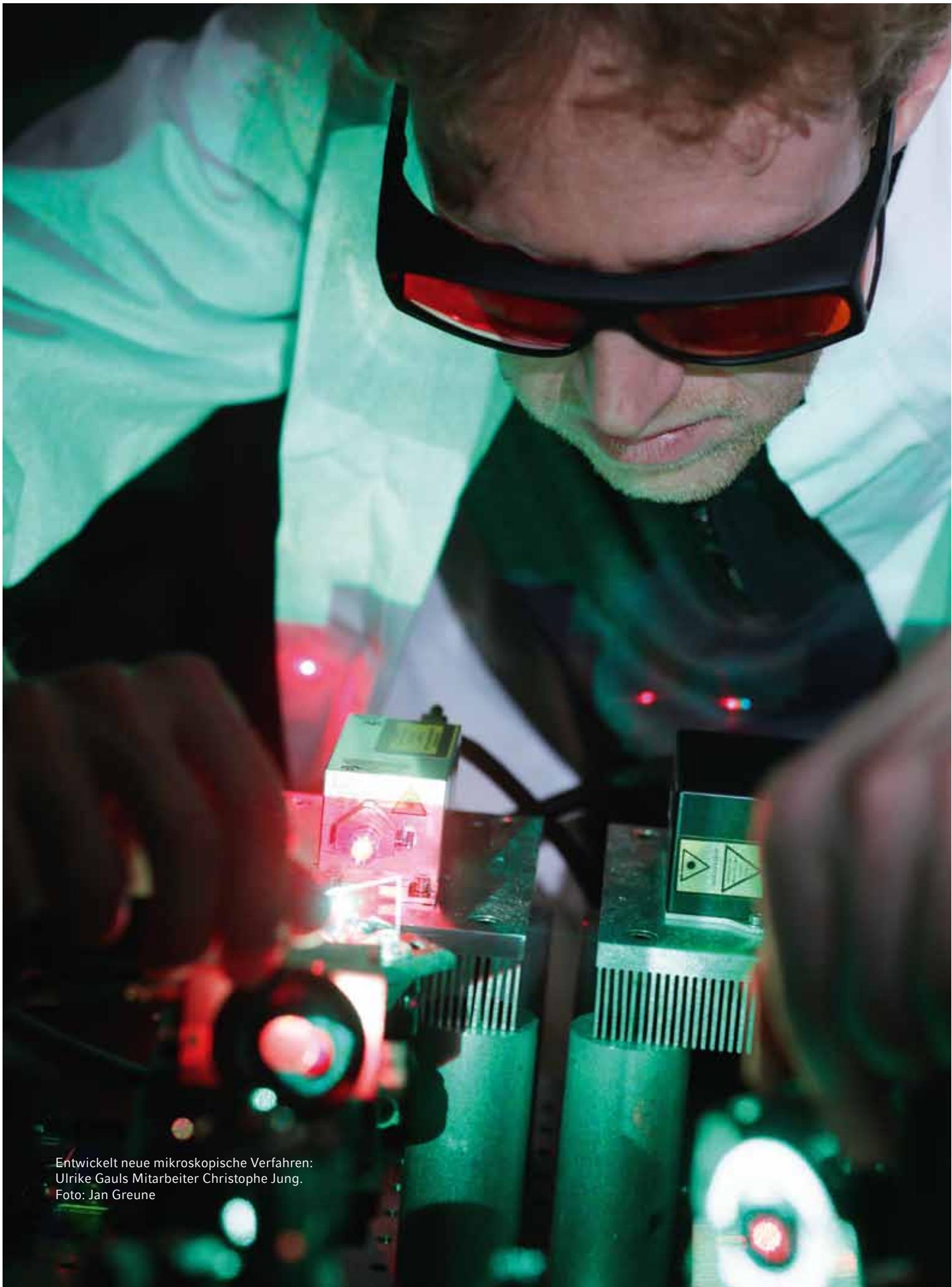
Doch das Modell hat noch seine Lücken, räumt Gaul ein. Mit welcher Intensität beispielsweise binden die Transkriptionsfaktoren jeweils an die DNA? Diese Größen beeinflussen maßgeblich die Regulation der Segmentierung, doch hinlänglich präzise Daten dazu gibt es bislang zumeist nicht. Unklar ist bis dato auch, wie die Bindung des Transkriptionsfaktors an die DNA die Aktivität der sogenannte Polymerase steuert – die molekulare Maschine, die die Abschrift des Gens und damit die Eiweißsynthese in Gang setzt. Je mehr Polymerase-Moleküle arbeiten, desto größer auch die nachfolgende Eiweißproduktion. Methoden für die Messung solcher Prozesse zu entwickeln, sagt Gaul, sind Projekte „ganz auf der Linie der Graduiertenschule“.

Überhaupt ist das Forschungsprogramm stark methodisch ausgerichtet. Inhaltlich fokussiert es auf die Genexpression, die Biosynthese der Eiweiße also und ihre Regulation. Das Thema ist in München so prominent in der Forschung vertreten wie sonst wohl kaum in Deutschland oder in Europa. Und die Bioforschung hat, das sieht Gaul als mindestens ebenso gewichtigen Grund, mittlerweile so viel – qualitatives – Wissen über die Genexpression angehäuft, dass das Thema „reif für eine quantitative und systemische Analyse“ ist.

Das interdisziplinäre Grundanliegen spiegelt sich im Aufbau und Lehrprogramm der Schule. Nicht nur, dass die 25 beteiligten Forscher und ihre Gruppen selbst das breite Fächerspektrum fein austariert abdecken. Eine Besonderheit etwa ist, dass jeder Doktorand zwei Betreuer zur Seite bekommt, die ihn intensiv begleiten. Zusammen repräsentieren sie jeweils, wenn man so will, die qualitative und die quantitative Seite. Mit ihnen arbeitet der Doktorand an einem transdisziplinären Projekt. So bieten beispielsweise Patrick Cramer und Johannes Söding gemeinsam ein Forschungsvorhaben an, das klären soll, wie die Transkription, also der erste Schritt der Proteinsynthese, durch die Polymerase in Gang gesetzt wird – mit schnellen automatisierten Messverfahren und Computermodellen. Cramer ist Professor für Biochemie, Direktor des Genzentrums der LMU und Experte für die molekularen Mechanismen der Genexpression. Physiker Söding leitet am Genzentrum eine Arbeitsgruppe zu „Protein Bioinformatics & Computational Biology“. Eckhard Wolf, Professor an der Tiermedizinischen Fakultät der LMU und Spezialist für Fortpflanzungsbiologie, bietet zusammen mit Bioinformatik-Professor Ralf Zimmer ein Projekt an, bei dem durch

Jeder Doktorand hat zwei Betreuer zur Seite

genomweite Messungen die Zelldifferenzierung in frühen Säugtierembryonen systematisch erfasst und modelliert werden soll. Auch das Kursangebot der Schule setzt auf Komplementarität. Neben einem einjährigen sogenannten Core Course, der die biologischen Fragestellungen und Themen aus dem Blickwinkel aller beteiligten Disziplinen beleuchtet und von allen Doktoranden gemeinsam besucht wird, gibt es auch Primer Courses, die die Doktoranden mit der jeweils anderen Wissenschaftssphäre beziehungsweise -sprache vertraut machen sollen. Die Theoretiker bekommen also die Grundlagen der experimentellen Lebenswissenschaften vermittelt, die Molekularbiologen lernen Biophysik und Modellbildung. „Außerdem Biostatistik, da gehen alle hin, das können alle brauchen.“ Dazu kommen Kurse, die beispielsweise die interkulturelle Kompetenz und das Gender-Bewusstsein stärken sollen. Dass die Schule den richtigen Kurs einschlägt, daran lassen die beteiligten Forscher keinen Zweifel. „Die Zukunft der Biologie liegt in der quantitativen Analyse“, sagt Erwin Frey, Professor für Theoretische Physik. Und Biochemie-Professor Roland Beckmann pflichtet bei: „Eine nur qualitative Erfassung ist am Ende unbefriedigend, wenn man mit dem Verständnis biologischer Systeme weiterkommen will.“ ■



Entwickelt neue mikroskopische Verfahren:
Ulrike Gauls Mitarbeiter Christophe Jung.

Foto: Jan Greune



Fixiert in kristalllosem Eis: Form und Funktion von Molekülmaschinen kann Roland Beckmann mit der Kryo-Elektronenmikroskopie enträtseln.



Entlang dem Temperaturgradienten: Dieter Braun entwickelt ausgeklügelte optische Messmethoden. Fotos: Jan Greune (2), LMU (8)

Die Mechanik der Maschinen

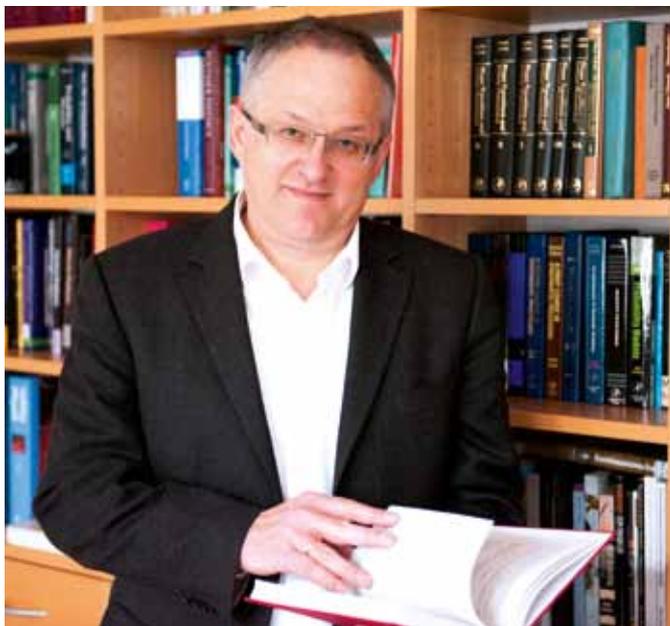
Wie baut die Zelle nach dem genetischen Bauplan aktive Proteine? Das ist auch die Frage, der Roland Beckmann nachgeht. Und wie sortiert die Zelle die Eiweiße gleich bei ihrer Synthese nach ihrem Bestimmungsort? Rund ein Drittel aller Proteine werden etwa als Rezeptoren für Signale in die Zellmembran eingebaut, berichtet der Biochemie-Professor am Genzentrum, oder gar aus der Zelle ausgeschleust, weil sie beispielsweise als Antikörper oder Verdauungsenzyme fungieren. Die Synthesemaschinen, die sogenannten Ribosomen, hieven die frischen Eiweiße gleich beim Zusammenbau in einen molekularen Kanal, durch den sie an ihren Platz in der Membran gelangen oder aus der Zelle hinaus.

Wie aber greifen die verschiedenen Maschinerien dabei in der Zelle ineinander? Wie bringen sie die fertige Eiweißkette in die richtige dreidimensionale Form? Und wie besorgen sie obendrein eine Qualitätskontrolle und sondern den Ausschuss aus? Um solche Fragen zu beantworten, wendet Beckmann eine spezielle Untersuchungsmethode an: die Kryo-Elektronenmikroskopie. Dafür werden die Proben in flüssigem Ethan schockgefroren, sie sind dann fixiert in sogenanntem vitrifiziertem Eis, das keine Kristalle bildet. Die Strukturdaten, die Beckmann aus solchen Aufnahmen gewinnt, lassen Rückschlüsse auf die Mechanik der Maschinen zu. In der Graduiertenschule plant Beckmann die Aktivität der Ribosomen noch anders zu untersuchen: Zusammen mit Bioinformatikern will er alle Gen-Baupläne entschlüsseln, die die Ribosomen zu einem bestimmten Zeitpunkt in Arbeit haben. Ein solches Profil, hofft er, eröffne eine neue Sicht auf die Mechanismen der Proteinsynthese. ■

Wanderung in die Kälte

In gewisser Weise versteht sich Dieter Braun als Dienstleister: „Wir liefern das, was die Leute aus der Biologie brauchen“, sagt der Professor für System-Biophysik an der LMU. Natürlich aber steckt auch eine Portion Understatement in diesem schlichten Satz, denn die optischen Messmethoden, die Brauns Team entwickelt, sind reichlich ausgeklügelt. So hat Dieter Braun ein Verfahren etabliert, mit dem sich bestimmen lässt, wie gut beispielsweise ein Wirkstoff an sein Zielmolekül bindet. Er nutzt dabei das überraschende Phänomen der sogenannten Thermophorese aus: Wird eine Lösung punktförmig erwärmt, sammeln sich die darin vorhandenen Stoffe entlang dem Temperaturgradienten in den kühleren Regionen. Und je größer ein Molekül, desto stärker ist dieser Drive. Haben sich beide Bindungspartner gefunden, wächst deshalb ihre Neigung, ins Kalte zu wandern. Ist einer der beiden Bindungspartner zudem mit einem Fluoreszenzfarbstoff gelabelt, gibt die Stärke des Leuchtens Aufschluss über den Erfolg der Reaktion. Braun hat seinen Thermophorese-Set unter anderem mit hyperbeweglichen Laser-Wärme-Punkten zu einer Art Evolutionsreaktor erweitert, in dem er die Entwicklung des Lebens aus der Ursuppe nachstellt.

Solche Größen wie Bindungsaffinitäten in komplexen Lösungen mit hoher Auflösung messen zu können – das ist etwas, was die Lebenswissenschaftler von QBM brauchen können. Und so will Braun zusammen mit Doktoranden der Graduiertenschule seine Verfahren so weiterentwickeln, dass sie sich auch an lebenden Zellen anwenden lassen und mit kleineren Probevolumina auskommen. ■



Entwirft seine theoretischen Modelle in enger Zusammenarbeit mit Experimentatoren: Physiker Erwin Frey.



Die molekularen Mechanismen der Fortpflanzung und Entwicklung untersucht Tiermediziner Eckhard Wolf.

Eine Frage der Konzentration

Lebende Systeme mit Methoden der Physik zu verstehen, das ist die Klammer, die Erwin Freys Arbeiten zusammenhält. In enger Zusammenarbeit mit Experimentatoren entwirft Frey theoretische Modelle. So hat der Professor für Theoretische Physik ein Modell dafür entwickelt, wie die Artenvielfalt sinkt, wenn Lebensräume eingeschränkt werden. Es basiert auf dem Zusammenspiel von Wachstumsverhalten und Wettbewerb durch Bakteriengifte.

In anderen Arbeiten berechnet Frey, welche biomechanischen Kräfte Zellskelett und molekulare Proteinmaschinen bei der zellulären Fortbewegung und bei der Teilung entfalten. Oder er untermauert mit mathematischen Methoden, wie die Interaktion von Proteinen biochemische Verteilungsmuster in einer Zelle erzeugt, die ihrerseits wieder mechanische Prozesse einleitet. Bei der Zellteilung einfacher Darmbakterien wie *E. coli* beispielsweise sammeln sich Proteine an den beiden Enden der stäbchenförmigen Zelle, die die Bildung bestimmter Proteinfilamente unterdrücken. In der Mitte der Bakterienzelle dagegen ist die Konzentration der hemmenden Proteine gering, dort schnüren sich die Filamente zu einem immer engeren Ring zusammen, der die Zelle schließlich teilt. Frey fasst in mathematische Gleichungen und Modelle, wie die Proteine oszillieren und die Dichteverteilungen sich ausprägen. In der Graduiertenschule will er unter anderem zusammen mit der System- und Entwicklungsbiologin Ulrike Gaul sowie Doktorandinnen und Doktoranden die Genexpression und die Verteilung der Proteine genauer berechnen, die bei der frühen Musterbildung die Körpergliederung des Embryos festlegen. ■

Die ersten Teilungen

Auf den ersten Blick mag einem der Rekord höchst seltsam erscheinen: Das Team um Eckhard Wolf verfügt über die „weltweit größte Kollektion an Diabetesmodellen im Schwein“. Mit modernen Fortpflanzungstechniken wie dem Klonen hat der Tiermediziner Dutzende Exemplare gezüchtet, die unterschiedlichste Merkmale der Zuckerkrankheit oder therapeutisch interessante Eigenschaften tragen. Sie sollen der biomedizinischen Forschung nützen, hofft der Lehrstuhlinhaber für Molekulare Tierzucht. Erst vor Kurzem ist es Wolf gelungen, in Schweinen genetisch veränderte Zellen zu erzeugen, die Insulin produzieren und gleichzeitig die Körperabwehr hemmen. In Mäuse transferiert, ließ sich damit der Zuckerhaushalt der diabeteskranken Nagetiere normalisieren, ohne dass das Immunsystem, das die Forscher zuvor künstlich dem menschlichen etwas angeglichen hatten, die Zellen abstieß. Bei QBM wollen Wolf und der Bioinformatiker Ralf Zimmer zusammen mit Doktoranden beispielsweise untersuchen, wie sich der Diabetes des Muttertieres auf die Fortpflanzung auswirkt. Wann werden die Schäden in der frühen Embryonalentwicklung gesetzt, die sich in Missbildungen oder höherer Krankheitsneigung manifestieren? Mit quantitativen Methoden werden die Forscher anhand von Profilen der Genexpression die Entwicklung analysieren. Überhaupt betrachten die QBM-Wissenschaftler vor allem die frühe Embryonalentwicklung. Welche Mechanismen, so lautet eine der Fragen, führen dazu, dass die Zellen des Embryos schon nach den ersten Teilungen ihre Totipotenz verlieren, die Fähigkeit, später zu jeder Art von Zelle heranreifen zu können? ■



Ferne Zeiten, antike Kunst: Altphilologe Martin Hose in der Münchner Glyptothek. Foto: Jan Greune



Die Ordnung der Antike

Ferne Welten: In der **Munich Graduate School for Ancient Studies** suchen Nachwuchsforscher aus allen Zweigen der Altertumswissenschaft nach sozialen und kulturellen Prinzipien der Gesellschaften.

Von Hubert Filser

Man könnte diese Reise in die fernen Welten an vielen Orten in München beginnen, in der Glyptothek zwischen den grandiosen antiken Statuen zum Beispiel oder in der Staatlichen Münzsammlung mit den Drachmen und Statern aus griechischer und römischer Zeit – oder aber in einem eher unscheinbaren Büro in der Münchner Schellingstraße. Im 3. Stock der Hausnummer 3, einem eher schmucklos als antik anmutenden Universitätsgebäude, arbeitet Martin Hose, Professor für Griechische Philologie und Euripides-Experte. An die Antike erinnert in seinem Büro vorderhand nur eine kleine Homer-Büste auf dem Schreibtisch am Fenster. „Ein Erbstück des Lehrstuhls“, sagt Hose lapidar. Doch wenn Martin Hose beginnt, über seine Projekte zu berichten, ist man längst eingetaucht in die Vergangenheit. „Wir wollen ferne Kulturen beschreiben und Zugänge zu antiken Gesellschaften finden“, sagt Hose programmatisch. „Wir treiben sozusagen Schächte in den Berg der Vergangenheit.“ Hose ist Mitinitiator eines neuen Großprojekts an der LMU, das nun im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert wird: der Graduiertenschule *Distant Worlds*.

In dieser *Munich Graduate School for Ancient Studies* werden in den kommenden fünf Jahren bis zu 60 Nachwuchswissenschaftler zu ergründen suchen, wie antike Gesellschaften strukturiert waren, was sie stabilisierte und erfolgreich werden ließ. „Es geht uns darum, auch die historischen Dynamiken zu begreifen“, sagt Martin Hose. Die Graduiertenschule, an der insgesamt 23 Professoren aus sieben LMU-Fakultäten als Lehrende mitwirken, soll den interdisziplinären Austausch in den Altertumswissenschaften fördern und eine neue Plattform vor allem für Nachwuchswissenschaftler bieten.

Die Schule gliedert sich in sieben thematisch übergeordnete Fokus-Bereiche. Jedem dieser Bereiche sind zwischen fünf und acht Doktoranden zugeordnet, jeweils ein Professor und ein Postdoktorand betreuen sie. In den ersten drei Bereichen stehen Fragen der staatlichen Ordnung und der Organisation des sozialen Lebens im Mittelpunkt. Es geht beispielsweise um gesellschaftliche und religiöse Normen; sie sind, wie Friedhelm Hartenstein, Professor für Alttestamentliche Theologie, es nennt, ein Ausdruck von Ordnung und der Versuch, „dem Chaotischen entgegenzuwirken“. Ein anderes Thema sind die gesellschaftlichen Eliten. Wie etwa gehen sie mit Minderheiten um, wie mit niedriger gestellten Bevölkerungsschichten? Und schließlich sollen die Doktoranden die Konstruktionen des Ästhetischen auffächern. Was galt in den antiken Gesellschaften als schön, was als hässlich? Welche sozialen Zuschreibungen waren mit derlei Klassifizierungen verbunden? „Häufig ist der Herrscher der Schönste, er hat ja auch die Deutungshoheit über das Schöne“, sagt Hartenstein.

Neben solchen strukturgebenden Gesellschaftsprinzipien stehen aber auch der Alltag in der Antike und Fragen nach dem gesell-

schaftlichen Wandel im Fokus von Untersuchungen. So kümmern sich Doktoranden um Fragen der Koexistenz, um das Zusammenleben in der Gesellschaft und das Verhältnis zu den Nachbarstaaten. Andere Arbeiten werden sich um den Tausch von Waren und den Austausch von Ideen drehen. Und schließlich werden einige Nachwuchswissenschaftler der Frage nachgehen, wie antike Gesellschaften mit Opposition oder generell mit abweichenden Meinungen umgingen und wie sich dies in den historischen Quellen abbildet. Der letzte Themenkomplex widmet sich dem Erinnern und Vergessen. „Um zu verhindern, dass die Erinnerungen ins Ungefähre abrutschen, brauchen Gesellschaften externe Gedächtnisspeicher“, sagt Theologe Hartenstein. Denn nach spätestens vier Generationen lassen sich keine Zeitzeugen mehr befragen. Dies sei gleichzeitig die Möglichkeit, die Vergangenheit im Nachhinein umzudeuten. „Was wird vergessen, was wird erinnert, das ist auch eine Machtfrage“, sagt Hartenstein. Die Deutungshoheit liege meist bei den Herrschenden. Ein berühmtes Beispiel sei die Pharaonin Hatschepsut aus Ägypten. Nachdem sie nicht mehr an der Macht war, hat man ihre Denkmäler bewusst zerstört, um sie aus der Erinnerung zu löschen. Mit *Distant Worlds* setzen die Münchner Altertumswissenschaftler ihre Bemühungen fort, den Standort München weiter zu profilieren. Die Schule ist an das 2008 gegründete Münchner Zentrum für Antike Welten angebunden, den Zusammenschluss einer ganzen Reihe einschlägiger Forschungseinrichtungen und Sammlungen. Von den jungen Kollegen verspricht sich Martin Hose dabei viel. „Wirklich neue Ansätze kommen nur durch die jungen Forscher in die Fächer“, sagt Hose. „Wir als erfahrene Wissenschaftler können sie theoretisch und methodisch anleiten.“

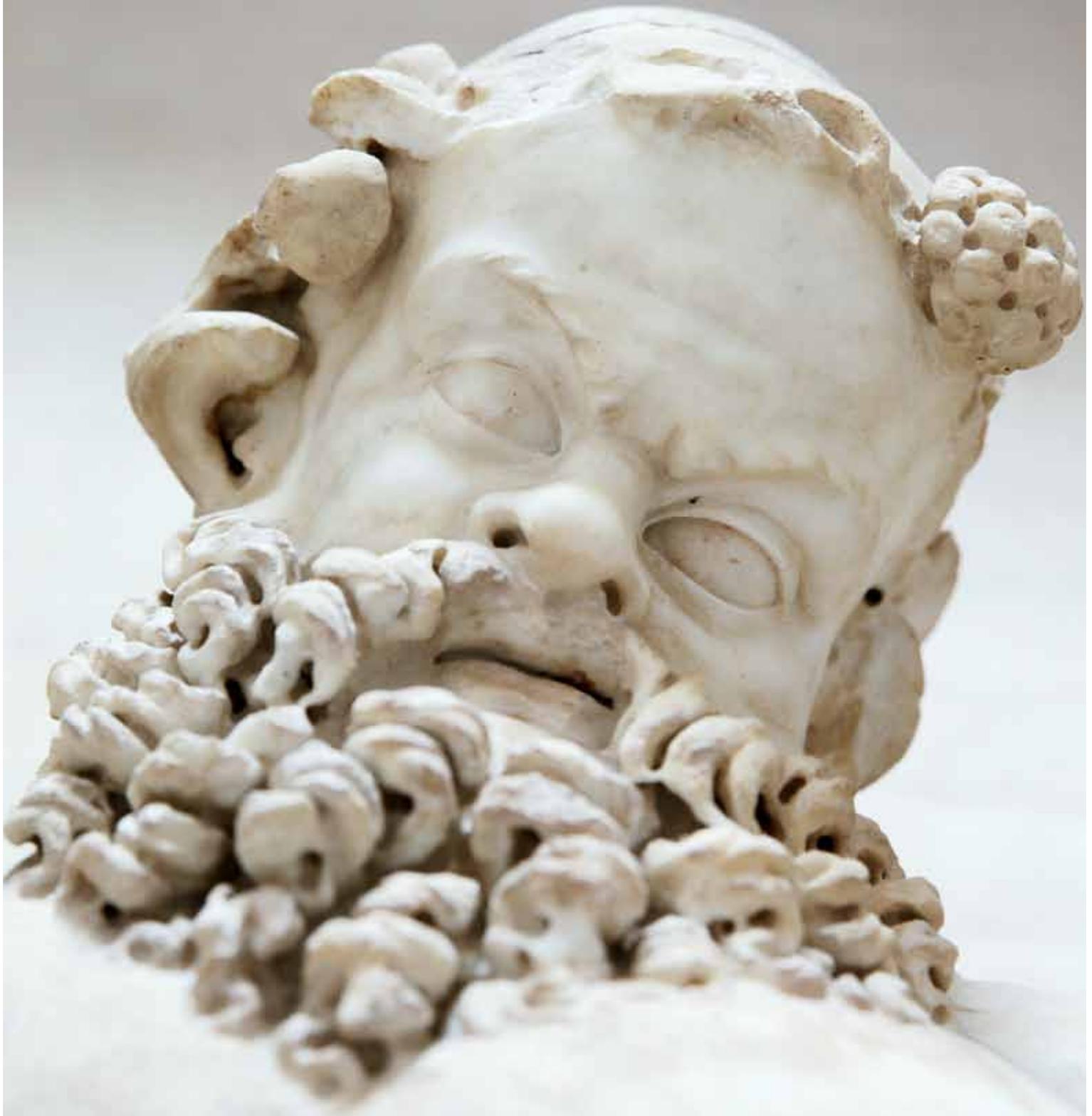
Verena Schulz ist eine dieser Nachwuchshoffnungen, sie hat im November 2012 als Postdoktorandin begonnen. Sie hat in Klassischer Philologie promoviert und soll neben ihrer Forschung auch die Doktorandengruppe „Erinnerung und Vergessen“ leiten. Als Philologin hat sie sich bislang beispielsweise mit der Stimme in der

Distant Worlds: Munich Graduate School for Ancient Studies

Die Munich Graduate School for Ancient Studies will die grundlegenden Prinzipien ermitteln, die antike Kulturen tragen und strukturieren. Dafür vereint sie das breite Spektrum von altertumswissenschaftlichen Disziplinen an der LMU – von der Vor- und Frühgeschichte über die Alte Geschichte und die Klassischen Philologien bis hin zu Indologie und Sinologie. Dazu kommen die altertumswissenschaftlichen Einrichtungen am Standort München. Kooperationspartner sind die Bayerische Akademie der Wissenschaften, die Staatliche Antikensammlung und die Glyptothek, das Staatliche Museum Ägyptischer Kunst, die Staatliche Münzsammlung München, das Staatliche Museum für Völkerkunde und die Archäologische Staatssammlung München, außerdem das Deutsche Archäologische Institut (DAI), der Verlag Walter de Gruyter und OIKOS Netherlands.



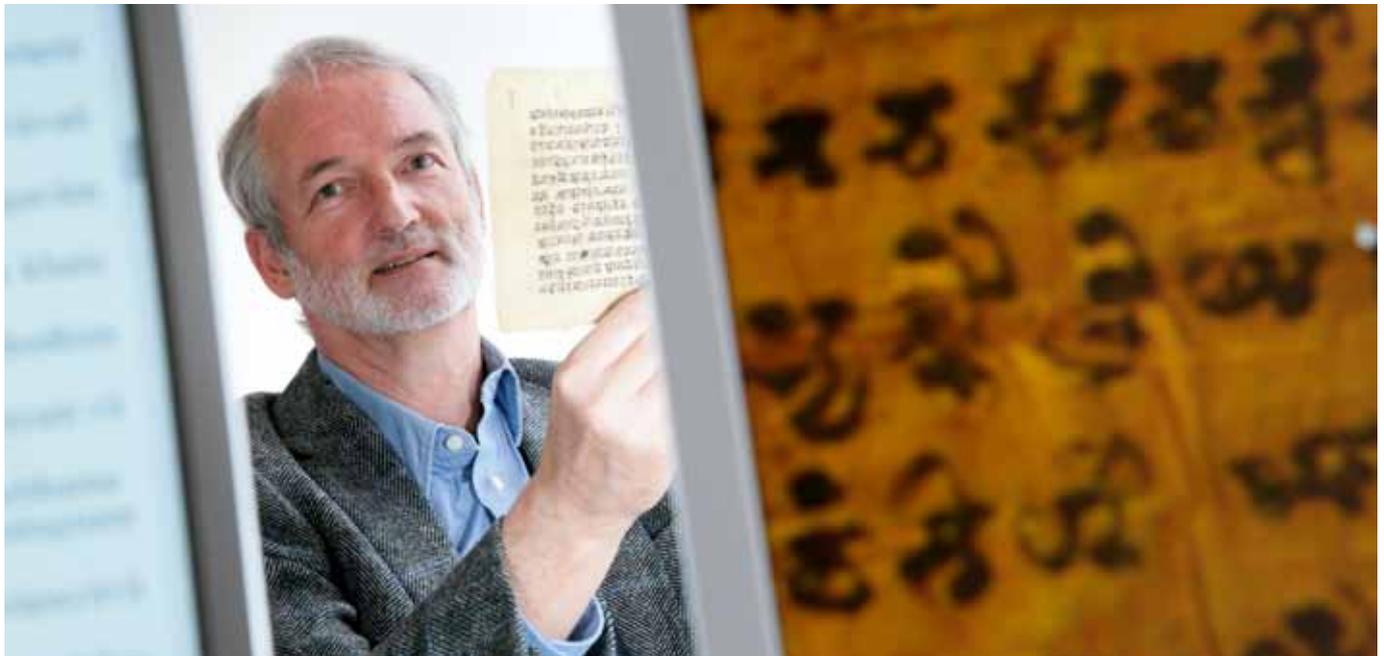
Der Barberinische
Faun in der Glyptothek.
Foto: Jan Greune



Trunkener Silen, Skulptur in der Glyptothek. Foto: Jan Greune

antiken Rhetorik beschäftigt. „Da mussten Redner im Forum Romanum bei sengender Hitze fünf Stunden lang vor tausend Leuten sprechen“, erzählt Schulz. „Natürlich ohne Mikrofon. Das ging nur mit spezieller Ausbildung.“ Schulz hat aufgedeckt, dass es dabei auch deutliche Bezüge zwischen antiker Rhetorik und Medizin gab. Die Ärzte gaben Tipps, wie sich die Stimme am besten pflegen ließ. Die Redner beispielsweise sollten nicht mit lauter Stimme beginnen, so hieß es, oder prophylaktisch Schnittlauch mit Öl vermengt essen. In ihrem Projekt im Rahmen der Graduiertenschule beschäftigt sich Verena Schulz mit den oft als verrückt beschriebenen römischen Kaisern Nero, Caligula und Domitian. Doch waren sie wirklich geisteskrank? „Die Geschichtsschreibung enthält oft bewusste Falschdarstellungen, die Chronisten verfolgten damit ihre ganz eigenen politischen Absichten“, sagt Schulz. So standen sich die mächtigen Kaiser und die einflussreichen Senatoren, die die Geschichtsschreibung verfasst haben, als zwei politische Gruppen gegenüber. „Da sie mit der Geschichtsschreibung eine ungeheure Deutungsmacht für die Folgezeit hatten, versuchten die Senatoren, die Kaiser in ein nicht so strahlendes Licht zu rücken“, um ihre eigene Machtposition zu stärken, sagt Schulz. Sie untersucht, wie sich die Darstellung der Kaiser im Lauf der Zeit verändert, von der positiven jeweils zeitgenössischen hin zu einer späteren tendenziell kritischeren Historiographie. Positive Charakterzüge der Kaiser wurden offenbar häufiger umgedeutet. Nero beispielsweise wird zunächst dafür gefeiert, dass er auch als Künstler auftritt, denn dies galt als etwas Friedvolles, Menschliches und Gebildetes. Spätere Texte vertreten die Auffassung, genau diese Vorliebe für die Schönen Künste habe ihn davon abgehalten, ein guter Politiker zu sein. So wie Verena Schulz können auch die Doktoranden ihren Schwerpunkt und ihr Thema selbst wählen. Die jungen Wissenschaftler sollen dabei möglichst unabhängig und eigenständig forschen können. „Wir achten bei den Bewerbungen auf eine hohe Qualität. Das ist unser Pfund“, sagt Jens-Uwe Hartmann, Professor für Indologie an der LMU. „Das Profil der Graduiertenschule ist auf die Interessen der Nachwuchsforscher ausgerichtet“, sagt Carola Metzner-Nebelsick, Professorin für Vor- und Frühgeschichte. Vielleicht ist genau das der große Vorteil einer Graduiertenschule wie Distant Worlds, anders als ähnliche Einrichtungen etwa in Berlin, thematisch offen zu sein und eben nicht einen engen Fokus zu haben. Dass das Potenzial der Schule über die reine Förderung der Nachwuchsforscher hinausgeht, wird aber schnell klar, wenn Martin Hose über den Standort München in den Altertumswissenschaften spricht. Der Altphilologe zeigt eine Karte der Innenstadt, die im Institut aufgehängt ist. Im Umkreis von gut zwei Kilometern rund um sein Büro, schwärmt Hose, seien zehn renommierte Münchner Museen, Sammlungen und Forschungseinrichtungen zu finden, die einen engen Bezug zu den Altertumswissenschaften haben. Die Bayerische Akademie der Wissenschaften gehört dazu, das

Völkerkundemuseum München, die Staatliche Münzsammlung und die Prähistorische Staatssammlung ebenso wie die Ägyptische Staatssammlung, die Staatliche Antikensammlung sowie die Glyptothek mit ihrem reichen Schatz an griechischen und römischen Skulpturen, Mosaiken und Reliefs. In der Bayerischen Staatsbibliothek gibt es zudem eine riesige Sammlung an lateinischen Handschriften, eine der größten der Welt. „Wir könnten dort Kurse darüber anbieten, wie man lateinische Handschriften liest und einordnet“, sagt Martin Hose. Überall in den Archiven der Museen und Sammlungen liegen wertvolle Schätze, auch solche, die bislang wissenschaftlich wenig bearbeitet wurden. Den Museen fehlt dafür oft das Personal. In die Ägyptische Sammlung beispielsweise sind viele Fundstücke nur provisorisch aufgenommen. Distant Worlds kann mit seinen 23 Principle Investigators und rund 60 Nachwuchswissenschaftlern fachlich also viel bewegen. „Die Doktoranden sollen projektbezogen auch mit den Museen zusammenarbeiten“, sagt Hose. Geplant sind zudem mehrtägige Seminare und Workshops zu Spezialthemen gemeinsam mit den Partnereinrichtungen. Dazu will er renommierte Spezialisten aus dem In- und Ausland einladen. „So profitieren sowohl unsere Studenten wie auch die Museen und Sammlungen“, sagt Hose. Und wer weiß, vielleicht ergibt sich aus der einen oder anderen Veranstaltung sogar eine Ausstellung für eine breitere Öffentlichkeit. „Wenn all das klappt, wäre unsere Graduiertenschule sogar ein Modell für die Zusammenarbeit zwischen Museen und Universitäten“, sagt Hose. Auch Verena Schulz sieht solche fächer- und institutionenübergreifenden Ansätze als Bereicherung. „Im Studium sind wir in den Altertumswissenschaften meist auf einen Bereich fokussiert“, sagt Schulz. „Wir machen also entweder Geschichte oder Archäologie, in der Graduiertenschule öffnet sich das. Hier können wir unsere eigenen Ansätze wählen.“ Sie könnte für ihre Arbeit über die Kaiser beispielsweise römische Münzen aus der Münzsammlung genauer analysieren oder Inschriften auf Statuen, die Nero als Künstler zeigen. Sich intensiver zu vernetzen und vorhandene Schätze gemeinsam zu nutzen, das ist eine der zentralen Ideen der Schule. Es sollen diejenigen zusammenkommen, die nah nebeneinander forschen, aber selten miteinander Dinge gemeinsam diskutieren. „Fächer vor allem aus den Geisteswissenschaften wie unsere haben eine doppelte Natur“, sagt Friedhelm Hartenstein. „Sie sind einerseits ihrem Feld verhaftet, nehmen aber auch an übergreifenden Theoriediskursen teil.“ Die Archäologie hat eine natürliche Affinität zur Kunstgeschichte, zur Bildwissenschaft, die Alttestamentliche Wissenschaft zur Theologie und zur Philosophie, die Philologie zur Linguistik auf der einen und zur Text- und Literaturwissenschaft auf der anderen Seite. „Wir könnten uns dies in unserer Zusammenarbeit gezielt zunutze machen“, sagt Friedhelm Hartenstein. „Das macht für mich den besonderen Charme der Graduate School aus.“ ■



Untersucht Schriftrollen aus dem 1. Jahrhundert vor Christus, die ältesten bislang bekannten schriftlichen Zeugnisse des Buddhismus: Indologe Jens-Uwe Hartmann. Fotos: Jan Greune

Rollen aus Birkenrinde

Wer sich auf den Märkten von Bamiyan in Afghanistan umschaute, kann wahre Schätze entdecken. Vielleicht würde man die wertvollen Schriftrollen als Laie gar nicht erkennen, sondern sie eher für Kritzeleien auf Birkenrinde halten. Doch in den vergangenen 15 Jahren sind zahlreiche alte Schriften auf verschlungenen Wegen nach Europa gelangt, wo bisweilen anonyme Sponsoren sie gekauft und Museen wie der British Library zur Verfügung gestellt haben. „Für uns Forscher ist das ein Glücksfall“, sagt Jens-Uwe Hartmann, Professor für Indologie an der LMU. In einem umfangreichen Projekt analysiert er die alten Schriften aus der Region Gandhara, einer Grenzregion in Afghanistan und dem heutigen Nordpakistan, einst fast ein Jahrtausend lang eine Hochburg des Buddhismus. Die brüchigen Rollen aus Birkenrinde aus dem 1. Jahrhundert vor Christus sind die ältesten bislang bekannten schriftlichen Zeugnisse der buddhistischen Religion. „Die Region Gandhara ist zentral für die Ausbreitung des Buddhismus gewesen“, sagt Indologe Hartmann. Möglich geworden war dies, weil das Volk der Kusanas einen großen Raum dominierte und für Stabilität sorgte. Von den Doktoranden der neuen Graduiertenschule verspricht er sich wertvolle Impulse. Sie könnten „spannende Fragen“ untersuchen. So wisse man zum Beispiel nicht, warum sich der Buddhismus um die Zeitenwende über die Handelswege entlang der Seidenstraße sehr erfolgreich Richtung Osten nach China ausgedehnt hat, aber praktisch keine Spuren in westlicher Richtung hinterlassen hat. „Gab es damals heute unsichtbaren Barrieren, vielleicht wirtschaftliche?“,

fragt Hartmann. Und warum hat sich der Buddhismus vor 2000 Jahren auch inhaltlich gewandelt, von einem eher individuellen Glauben zu neuen Praktiken im Rahmen des Mahayana, des Großen Fahrzeugs, wo sich die Mönche plötzlich auch um das Heil des Volks kümmern? War der Auslöser eine engere Anknüpfung des Glaubens an Herrschaftsstrukturen im Staat? ■

Von Feinden und Frevlern

Friedhelm Hartenstein ist eigentlich Professor für das Alte Testament, beschäftigt sich also vorwiegend mit Texten aus der Bibel. Doch man kann sich mit ihm ebenso gut über paläolithische Frauengestalten, Rituale bei den Assyryern, die Weisheitstexte der Ägypter oder den Sinn des Bilderverbots unterhalten. Und es braucht wohl genau solche Lehrer in einer Graduiertenschule, die über ihre eigene Disziplin hinausschauen, ohne die Begeisterung für die Tiefen des eigenen Fachs zu verlieren. „Religion ist für eine Bearbeitung von Grenzen zuständig, der Grenze zum Tod, der Grenze zum Chaotischen, der Grenze zum Zerfall, der Grenze zum Nachbarn“, sagt Hartenstein. „In diesem Sinne ist Religion extrem politisch, weil ordnungsstiftend.“ Gefragt, welche Themen er sich denn für Doktoranden vorstellen könne, sagt Hartenstein: „Ein Thema wäre die Frage nach den Feinden und Frevlern in den Psalmen. Das Phänomen der Feindschaft gibt es überall, auch das



„In einem gewissen Sinne ist Religion extrem politisch, weil ordnungsstiftend“, sagt Theologe Friedhelm Hartenstein.



Setzt auf die interdisziplinären Ansätze in den Altertumswissenschaften: Vor- und Frühgeschichtlerin Carola Metzner-Nebelsick.

moralisch stärker bewertete Phänomen der Menschen, die die Gemeinschaft zerstören. Frevler tauchen bereits in ägyptischen Weisheitstexten auf.“ Hartenstein ist Spezialist für die Psalmen-Forschung, er arbeitet derzeit an einem großen deutschsprachigen Kommentar. „Die Psalmen sind ein Brennspeigel des Alten Testaments.“ Einen Vergleich mit Weisheitstexten etwa aus Ägypten fände er reizvoll. Anhand dieser Texte wird klar, dass es einen Austausch zwischen den antiken Gesellschaften gegeben hat.

Ein weiteres Thema sei die Rolle von Priestern, so Hartenstein. „Im Alten Testament gibt es zwei profilierte Priesterfamilien, deren Bild sich wandelt, und die teilweise miteinander streiten, das sind die Leviten und die Aaroniden.“ Allerdings gibt es nur wenige Quellen zum Selbstverständnis von Priestern in den altorientalischen Kulturen. „Das zu vergleichen wäre aber in jedem Fall spannend“, sagt Theologe Hartenstein. Wie denken Priester über ihren Stellenwert im religiös-kulturellen System? Wie legitimieren sie ihre Position? ■

Der Schmuck der Skythen

Schon in den frühen schriftlosen Gesellschaften gehörten Normen zu den sozialen Ordnungsprinzipien, es bildeten sich Eliten heraus, es gab einen regen Austausch von Waren und Ideen, meint Carola Metzner-Nebelsick. Insofern sieht die Professorin für Vor- und Frühgeschichte an der LMU viele Anknüpfungspunkte ihres

Faches zu den übergeordneten Themenbereichen der neuen Graduiertenschule. „Nehmen Sie die wundervolle Kunst der Skythen: der Goldschmuck, das kunstvoll mit Bildern verzierte Trinkgeschirr oder reich ornamentierte Waffen.“ Daran ließen sich die Konstruktionsprinzipien des Schönen in einer frühen Hochkultur studieren, ein vielschichtiges Thema. „Es betrifft die Vor- und Frühgeschichte, die Klassische und die Vorderasiatische Archäologie“, sagt Carola Metzner-Nebelsick. „Als Prähistorikerin würde ich stark auf den Kontext skythischer Kunst achten. Mit welchen anderen Gegenständen wird Kunst kombiniert? Wann verwenden die Menschen welche Kunst? Was nutzen Männer, was Frauen?“

Und wie hat die einheimische Bevölkerung auf Einflüsse von außen reagiert? Im Fall der Skythen sind es die der Griechen: Es gab im Bereich der Kunst eine regelrechte Importwelle aus dem antiken Griechenland. „Wir würden gern den zeitlichen Ablauf von Moden in der Kunst rekonstruieren“, sagt Carola Metzner-Nebelsick. Mit wem tritt man in Kontakt, mit wem nicht? Hilfreich ist auch der Blick von außen auf eine Gesellschaft. „Der griechische Historiker Herodot beispielsweise schreibt fast wie ein Ethnologe über die Skythen. Solche Quellen lassen sich wunderbar interdisziplinär auswerten, ganz im Sinn der Graduate School“, sagt Metzner-Nebelsick. Der Charme solcher Ansätze besteht für sie darin, dass sie sowohl eine fachspezifische wie auch eine übergeordnete Komponente haben. Auf der übergeordneten Ebene lässt sich beispielweise analysieren, welche fremden Elemente in einer Gesellschaft übernommen und welche abgelehnt werden. Und das sind Fragen, die sich eben auf viele Regionen und Zeiträume anwenden lassen. ■



Ein Moment und ein Dokument der Zeitgeschichte: Punk-„Gebet“ im Allerheiligsten der russisch-orthodoxen Kirche. Nach 90 Sekunden ist der Spuk vorbei, dann werden die Frauen von Pussy Riot abgeführt. Foto: ITAR-TASS/Mitya Aleshkovsky/picture alliance



Der gewendete Blick

Abschied vom Gegensatz der Systeme: An der neuen **Graduate School for East and South East European Studies** analysieren Nachwuchsforscher die langfristige Entwicklung der Region in Bezug zu anderen Weltgegenden.

Von Maximilian G. Burkhart

Mutter Gottes, Jungfrau, verjage Putin, verjage Putin, verjage Putin!“ Vier maskierte junge Frauen in quietschbunten Minikleidern und Strumpfhosen stürmen am 21. Februar 2012 den Ambo, den heiligen Altarraum der Christ-Erlöser-Kathedrale im Herzen Moskaus. Vis-à-vis zum Kreml skandieren die russischen Punk-Aktivistinnen von Pussy Riot: „Der Patriarch Gundjajew“ – das ist der weltliche Name von Patriarch Kirill I. – „glaubt an Putin. Besser sollte er, der Hund, an Gott glauben.“ Dann bekreuzigen sie sich und werden von Wachleuten abgeführt. Der ganze Spuk dauert gerade mal 90 Sekunden, doch die Rechnung dafür ist hart. Am 12. August 2012 werden Nadeschda Tolokonnikowa, Marija Aljochina und Jekaterina Samuzewitsch zu je zwei Jahren Arbeitslager wegen „Rowdytums aus religiösem Hass“ verurteilt. Der Westen reagiert entsetzt. Ist Russland auf dem Weg zurück ins Zarenreich mit seiner unheiligen Allianz von Kreml und orthodoxer Kirche?

Martin Schulze Wessel lächelt ob der Frage: „Pussy Riot hat die Staatsmacht entlarvt, das war Teil der Performance. Indem der Staat drakonische Strafen für das Happening verhängt, wird die Verbindung von Staat und Staatskirche in ihrer ganzen Fragwürdigkeit offenbar.“ Und für dieses Zeichen hat sich Pussy Riot, so sagt der LMU-Historiker, einen hochsymbolischen Platz ausgesucht. Denn die Christ-Erlöser-Kathedrale ist nicht nur Zentralkirche der russischen Orthodoxie an der Moskwa, sie ist vielmehr ein nationales Symbol. Schulze Wessel ist Lehrstuhlinhaber für Geschichte Osteuropas und leitet das Zentrum für Osteuropastudien an der LMU. Im Rahmen der Exzellenzinitiative hat die LMU zusammen mit der Universität Regensburg zusätzlich eine Graduiertenschule einrichten können, in der Nachwuchsforscher eine breite Palette von Themen zur Geschichte Ost- und Südosteuropas untersuchen. Schulze Wessel ist der Münchner Sprecher der Graduiertenschule.

Wieder also die Religion. Kaum ein Thema hat seit Samuel Huntingtons mittlerweile 20 Jahre altem Aufsatz vom „Kampf der Kulturen“ eine solche Sprengkraft entwickelt. Huntington sieht das christliche Abendland nicht nur im Gegensatz zum Islam, sondern unter anderem auch zum russisch-orthodoxen Kulturkreis. Die Grenze zwischen Ost und West gehöre „bis heute zu den dauerhaftesten Zivilisationsgrenzen der Welt“, glaubt Huntington. Eine zu einfache These, findet Schulze Wessel, der sich als ehemaliger Stipendiat der Russischen Akademie der Wissenschaften intensiv mit dem Verhältnis von Politik und Religion in Russland und Westeuropa beschäftigt hat. Der Westen stand dem großen russischen Reich seit Peter dem Großen ambivalent gegenüber. Und spätestens seit dem frühen 19. Jahrhundert hat sich Russland als „Anderes“ des Westens selbst erfunden, wie es etwa der russische Kunsttheoretiker und Philosoph Boris Groys gezeigt hat. Gerade im Cäsaropapismus, der Verbindung von Zarentum und orthodoxem Patriarchat, habe sich Russland als Gegenstück des Westens inszeniert, so Groys, indem es oppositionelle,

alternative Strömungen der westlichen Kultur „übernimmt, aneignet, transformiert – und dann gegen den Westen als Ganzes richtet“.

Doch wie steht es wirklich um den Ost-West-Gegensatz? Das ist eine der zentralen Fragen, mit denen sich Schulze Wessel in seiner Forschung auseinandersetzt. In mehreren Untersuchungen hat er deshalb die jüngere Geschichte der beiden vorgeblichen Antagonisten verglichen – und dabei überraschende Parallelen entdeckt. So ist die Staatskirche, wie sie seit dem Fall des Kommunismus in Russland wieder ersteht, nicht nur ein russisches Phänomen. Denn im 18. und 19. Jahrhundert etablierte eben nicht nur der russische Zarismus eine Staatskirche, sondern auch das Habsburgerreich. Zwischen beiden Imperien gab es einen höchst wirkungsvollen Ideenaustausch über die Rolle der Konfessionen in der Politik. Dabei spielte der Gedanke der Nützlichkeit der Kirchen eine erhebliche Rolle: Die Kirchen dienten dem Staat in vielen Verwaltungsaufgaben, etwa bei der Seuchenprävention, und sollten auch Bildung in die Bevölkerung tragen. Die Reformen Peters I. übertrugen der russischen orthodoxen Kirche staatliche Aufgaben und machten sie in spirituellen Angelegenheiten zugleich frei. Den aufklärerischen Idealen des Westens mit der Trennung von Kirche und Staat stand also mitnichten eine quasi byzantische Verschmelzung von Staats- und Kirchenmacht im Osten gegenüber.

Verblüffender noch sind allerdings die Gemeinsamkeiten der Französischen Revolution von 1789 mit der Russischen Revolution von 1917. Beide Umstürze wurden nämlich, so Schulze Wessel, zumindest an ihrem Anfang ganz entscheidend durch Religionsgemeinschaften getragen: „Für beide Revolutionen ist festzuhalten, dass marginalisierte Religionsgemeinschaften wie die Protestanten in Frankreich oder die Altgläubigen in Russland überdurchschnittlich viele Unterstützer der Revolutionen in ihrem Anfangsstadium stellten.“ In Frankreich wie in Russland stellten sich aber auch viele Weltgeistliche der Mehrheitskirchen an die Seite der Armen und der Revolutionäre. Lenin und den Marxisten kam die klerikale Unterstützung der Revolution durchaus gelegen: „Dies spaltete den russischen Klerus, aus dem Schisma entstand die sogenannte ‚Lebendige Kirche‘, der vorübergehend 50 Prozent der russisch-orthodoxen Gemeinden angehörten“, erklärt Schulze Wessel.

Eine weitere große Parallele von West und Ost macht Schulze Wessel im apokalyptischen Denken aus, das sowohl dem Bolschewismus als auch dem Nationalsozialismus zugrunde liegt. Mit dieser endzeitlichen Fixierung haben religiöse Denkformen in säkulare totalitäre Ideologien Eingang gefunden. Dabei war die ideologische Anverwandlung der religiösen Figur der Apokalypse im Nationalismus noch ausgeprägter: „Der nationalsozialistischen Apokalypse fehlte nicht nur ein Gottesbezug, sondern auch die Gewissheit eines Sieges am Ende der Zeit.“

Die neuere Geschichte West- und Osteuropas weist also durchaus strukturelle Ähnlichkeiten auf, auch und gerade im religiösen



„Eine moderne Regionalwissenschaft kann wichtige Beiträge zum Verständnis von historischen und aktuellen Globalisierungserfahrungen leisten“, sagt Historiker Martin Schulze Wessel.
Foto: Marcus Schäfer

Bereich: „Problemorientierte Vergleiche sind möglich“, erklärt der Historiker, „sofern man nicht eine Vorstellung einer strukturell oder normativ einheitlichen europäischen Religionsgeschichte zugrunde legt, sondern eine Vielfalt von nationalen und konfessionellen Pfaden in einer Religionsgeschichte Europas annimmt.“ Solchen Pfaden zu folgen, übersteigt indes die Kapazität der Philologien und Geschichtswissenschaften, deren Forschungsfeld in der Regel auf Einzelsprachen, Nationalstaaten und deren Kultur beschränkt ist. Die methodologische Fixiertheit auf nationale Grenzen gelte es zu überwinden, so Schulze Wessel, denn wirtschaftliche, kulturelle und auch ökologische Prozesse machten nicht an den Grenzen des Nationalstaats halt. In einer globalisierten Welt entstünden aber zugleich auch neue Unterschiede und neue Grenzen. Der Komplexität dieser Prozesse gerecht zu werden, haben sich die „Regionalwissenschaftler“ zum Ziel gesetzt. Sie sind sehr viel breiter gefächert, sowohl im Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand als auch in Fragestellung und Methodik. Das wissenschaftliche Programm der Graduiertenschule „beruht auf der Einsicht, dass eine moderne Regionalwissenschaft wichtige Beiträge zum Verständnis von historischen und aktuellen Globalisierungserfahrungen leisten kann“.

Nicht nur die Wirtschaftssysteme, die Arbeitsbedingungen und der Konsum haben sich im östlichen Europa seit 1989 revolutioniert, selbst die Erinnerungen verändern sich tief greifend. Im Ostblock war die Erinnerung an den Zweiten Weltkrieg ein Faktor, der ein offiziell gepflegtes Element gemeinsamer Gedenkkultur schuf. Stolz auf den Sieg und die Furcht vor deutschem Revisionismus waren Klammern, die im sozialistischen Staatensystem integrativ wirkten. Viele andere Erinnerungen etwa an die Verbrechen der Stalinzeit wurden dagegen nicht zugelassen. Heute sei nur in Russland noch der Sieg im „Großen Vaterländischen Krieg“ der „zentrale, unverrückbare Bezugspunkt einer triumphalen Erinnerungskultur“, erklärt Schulze Wessel. Die Opfer des Krieges würden viel weniger als die Siege erinnert, vor allem aber gebe es immer noch keinen Platz für ein breites offizielles Erinnern an die Opfer der stalinistischen Verfolgung. Dagegen hätte sich die Erinnerungs-

kultur der ostmitteleuropäischen Staaten tief greifend verändert. Das leidvolle Opfer, nicht der Triumph stehen im Vordergrund der Erinnerung. Im Bezug auf den Umgang mit der kommunistischen Diktatur unterscheiden sich die ostmitteleuropäischen Staaten in ihrer Geschichtspolitik und Erinnerungskultur sowohl vom deutschen wie vom russischen Muster. Denn „anders als in Deutschland und Russland ist in den Staaten Ostmitteleuropas kein indigener Totalitarismus zu bewältigen“. Dennoch werfe die kommunistische Vergangenheit auch in Polen, Tschechien und Ungarn bis heute viele Probleme der juristischen und geschichtspolitischen Bewältigung auf. Die Erforschung des Wandels von Erinnerungskulturen und ihrer gegenseitigen Beeinflussungen ist einer von fünf Studienschwerpunkten der Graduiertenschule.

Um den kulturellen und politischen Wandel der ehemaligen Sowjetrepubliken zu verstehen, muss die Wissenschaft vom einstigen Ost-West-Gegensatz lassen. Der Blick wendet sich von politischen Großterritorien wie der UdSSR zu transnationalen Regionen. Deshalb sind an der Graduiertenschule auch Vertreter anderer relevanter Area-Studies wie der Sinologie oder der Japanologie beteiligt. Außerdem sind eine Reihe einschlägiger außeruniversitärer Einrichtungen eingebunden sowie Partner aus Osteuropa und den USA. Eine Graduiertenschule zeichnet sich durch ein „wesentlich offeneres Themenfeld als ein Graduiertenkolleg“ aus, erläutert Schulze Wessel. „Sie verfügt außerdem über sehr viel mehr Mittel. Die sind erst einmal bis 2017 garantiert.“ Jetzt sind die ersten Stipendien und Stellen an zehn Doktoranden und vier Postdoktoranden vergeben worden. Sie kommen aus sieben Ländern, repräsentieren acht Studienfächer und arbeiten zu den verschiedensten Themen; dazu gehören Wasserwirtschaft und Strukturpolitik ebenso wie Kinderarmut und Vertreibung, Höflichkeitsstrategien ebenso wie Animationsfilme oder die Ethnografie urbanen Radfahrens. „Wir können unsere Doktoranden unter vielen qualifizierten Bewerbungen wirklich aussuchen“, erklärt Schulze Wessel. Es herrsche eine „Kultur des Willkommens“ für die Stipendiatinnen und Stipendiaten aus aller Welt: „Wir gehen mit den formalen Voraussetzungen großzügig um, wenn uns die Bewerber und ihre Projektideen überzeugen. Für Bewerber aus dem Ausland schaffen wir einen eigenen Workshop, im dem die Forschungsprojekte gezielt vorbereitet werden.“ Der Vorteil der Graduiertenschule – der einzigen Einrichtung der Exzellenzinitiative, die sich Ost- und Südosteuropa widmet – liegt für den Historiker klar auf der Hand. „Durch die Graduiertenschule haben wir ideale Kooperationsmöglichkeiten mit Partnern im In- und Ausland.“ Schulze Wessel nennt die Partnerschaft mit der University of California in Berkeley, mit dessen Osteuropa-Zentrum schon jetzt intensiver Austausch besteht. Viele enge Kontakte bestehen in das östliche und südöstliche Europa. „Wir bieten ein lebhaftes intellektuelles Labor, das sich aus aller Welt inspirieren lässt – und doch den Doktoranden die nötige Ruhe zur Forschung gewährt.“ ■

Graduate School for East and South East European Studies

Die neue Graduiertenschule – eine gemeinsame Einrichtung der LMU und der Universität Regensburg – untersucht politische, kulturelle und historische Grundlagen des Wandels in Ost- und Südosteuropa, besonders die Wechselwirkungen mit anderen Weltregionen. Neben den Kerndisziplinen Geschichte und Slawistik sind weitere geistes-, sozial- und kulturwissenschaftliche Fächer beteiligt. Kooperationspartner sind unter anderen die Bayerische Staatsbibliothek und ihre Osteuropaabteilung, das Collegium Carolinum, das Institut für deutsche Kultur und Geschichte Südosteuropas, das Institut für Ostrecht (Regensburg), das Osteuropa-Institut (Regensburg), das Südost-Institut (Regensburg) und das Zentralinstitut für Kunstgeschichte.

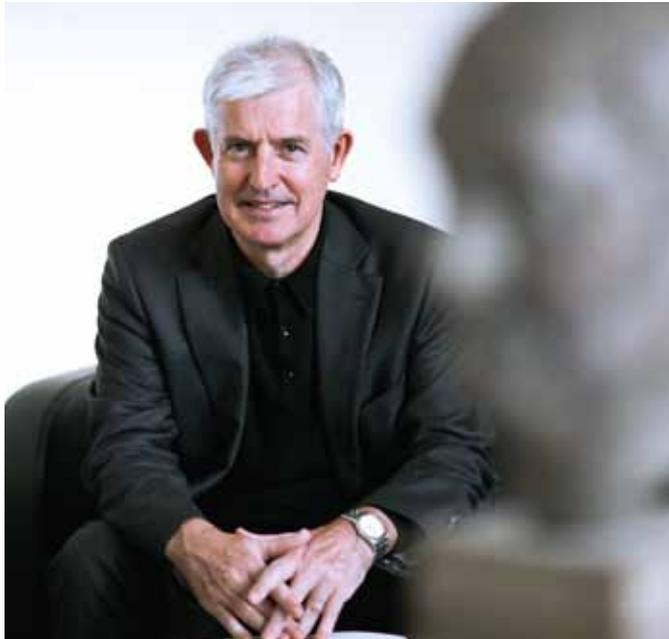


„Nichts ist einfach so an irgendeinem Ort“: Burcu Dogramaci untersucht, wie Migration die Kunstproduktion beeinflusst. Das Bild zeigt sie im Münchner Haus der Kunst in einer Installation der Koreanerin Haegue Yang. Foto: Jan Greune

Kunst und Kontaktzone

Selbst eine Kunstaussstellung kann ein Forschungsort sein. Auf den Istanbul-Biennalen, so erzählt Burcu Dogramaci, sei ihr die große Präsenz südosteuropäischer Künstler aufgefallen. „Auch geht es in den dort ausgestellten Arbeiten häufig um Themenkomplexe wie Erinnerung oder Grenze und Ausgrenzung“, sagt die Professorin für Kunstgeschichte an der LMU. Sie hält das für bezeichnend, „denn es ist nichts einfach so an irgendeinem Ort.“ Damit ist man fast beiläufig bei Dogramacis wohl zentralem Forschungsfeld, der Migration. „Mich interessiert, ob sich Migration auch in den unterschiedlichen künstlerischen Ausdrucksformen widerspiegelt“, sagt Dogramaci. „Migration bedeutet Bewegung, und die findet auch im Kopf statt.“ Unter diesem Blickwinkel schaut sie sich Ausstellungen an. Welcher Künstler stellt wo aus und warum? Welche Rezensionen gibt es? Welche Künstlergruppierungen arbeiten zusammen und welche Ideen verbreiten sie? So ergibt sich ein Netzwerk an Beziehungen: zwischen Regionen, Ländern, Menschen. „Die transnationalen Netzwerke sind oft sehr wichtig für die Entwicklung der Kunst in verschiedenen Ländern“,

sagt Dogramaci. Diese Art soziologischer Netzwerkforschung lasse sich auch im Rahmen der Graduiertenschule fruchtbar einsetzen. Wegen der enormen Bandbreite an Disziplinen, die in der Schule vertreten sind, sei es besonders wichtig, sich zunächst „über theoretische Konzepte zu verständigen“. Gemeinsam lese man etwa Texte von Kulturwissenschaftlern, Historikern und Soziologen. „So finden wir ein Dach für unsere Forschung“, sagt Dogramaci. Die Sprach- und Literaturwissenschaftlerin Mary Louise Pratt etwa hat über sogenannte Kontaktzonen geschrieben und an der Kolonialisierung Südamerikas verdeutlicht, wie sich die Inkas den Kolonialherren darüber anglichen. Solche Zonen sind gekennzeichnet von Macht und Ohnmacht, von Unterdrückung, aber auch von Verständigung, von kulturellen Traditionen, die sich verändern. „Wir können uns nun fragen, wo in Südost- und Osteuropa die Kontaktzonen liegen“, sagt Dogramaci. Istanbul sei auf jeden Fall so eine Zone. An der Kunst und den Reaktionen darauf lassen sich wiederum die Denkmuster entschlüsseln, die solche Veränderungen bedingen. „Es gibt immer gewisse Abwehrmechanismen gegen das Neue“, stellt die in Ankara geborene Kunstgeschichtsprofessorin fest. „Mich interessiert, welche Ängste durch Migration entstehen und warum.“ Genau solche Ängste legen Künstler bloß. (huf) ■



„Theater war eine Waffe im Kampf der Systeme“, sagt Christopher Balme. Fotos: Jan Greune

Das Theater des Kalten Krieges

Als Bertolt Brecht mit seinem Berliner Ensemble in der Zeit des Kalten Krieges erstmals nach Großbritannien reisen wollte, versuchten die Agenten des britischen Geheimdienstes MI5 dies zu verhindern. Das zeigen bislang geheim gehaltene Akten aus britischen Archiven, die nun nach 50 Jahren zugänglich sind. „Damit können wir jetzt endlich die Geschichte des Theaters im Kalten Krieg aufarbeiten“, sagt Christopher Balme, Professor für Theaterwissenschaft an der LMU. Bertolt Brecht hatte mit seiner Idee des Repertoiretheaters und dem festen Ensemble großen Erfolg im Westen, seine Strukturen wurden oft übernommen. „Während des Kalten Krieges gab es eine unglaubliche Mobilität im Theater von Ost nach West und West nach Ost, das ist fast paradox“, sagt Christopher Balme. „Vor allem die Staaten im Osten haben plötzlich sehr viel Geld in die Kulturpolitik investiert. Die Theater wurden zu Aushängeschildern der Länder.“ Den Beginn dieser groß angelegten staatlichen Förderung der Theater markiert der Kalte Krieg.

Dieses Thema will Balme auch im Rahmen der Graduiertenschule zusammen mit Nachwuchsforschern untersuchen. Er interessiert sich für die Strukturen hinter diesen Phänomenen, er will wissen, wohin beispielsweise in der Zeit des Kalten Krieges westliche und östliche Theaterkünstler gereist sind, welche Kontaktzonen es für den Kulturaustausch in den Metropolen gab und wie sich das Theater in nichtwestlichen Ländern durch den Einfluss westlicher Theatergruppen veränderte und modernisierte. Der Bezug

zur Schule ergebe sich aus der großen Bedeutung der osteuropäischen Länder nach 1945, so Balme. Im vergangenen Jahr organisierte er in München eine Tagung, die sich intensiv mit Theater im Kalten Krieg beschäftigte. „Theater war damals eine Waffe. Es ging darum, sich im Kampf der Systeme zu messen“, sagt Balme. „Das ist vergleichbar mit der Förderung von Spitzensportlern.“ Gut dabei war, dass sich aufgrund der Förderung auch neue Theater- und Darstellungsformen entwickeln konnten. Dafür stehen neben Brecht auch berühmte Regisseure wie der Pole Jerzy Grotowski. Sie alle spielten eine wichtige Rolle beim Kampf um die Herzen der Menschen. Es gab eine regelrechte, oft staatlich geförderte Theaterindustrie mit fahrenden Truppen, sagt Balme. Selbst für die USA lässt sich das nachweisen. „Dort begann die staatliche Förderung mit Präsident Eisenhower“, sagt Balme. „Zuvor waren die Theater den Marktgesetzen unterworfen.“ (huf) ■

Unter der Narrenkappe

Unscheinbar zwischen Abschlussarbeiten, Büchern und Manuskripten steht eine vielleicht fünf Zentimeter kleine Plastikfigur: Mit ausgebreiteten Armen lächelt US-Präsident Barack Obama vom Schreibtisch des Privatdozenten Raoul Eshelman. Erwartet hätte man im Büro eines Slavisten vermutlich eher eine Matroschka, vielleicht auch einen Gummi-Gorbatschow oder sogar eine Stalin-Büste. Aber Obama? Für Eshelman ist das kein Paradox. Und das nicht nur, weil der gebürtige Münchner schon als kleines Kind nach Pennsylvania kam und dort bis nach seinem Bachelorstudium blieb.

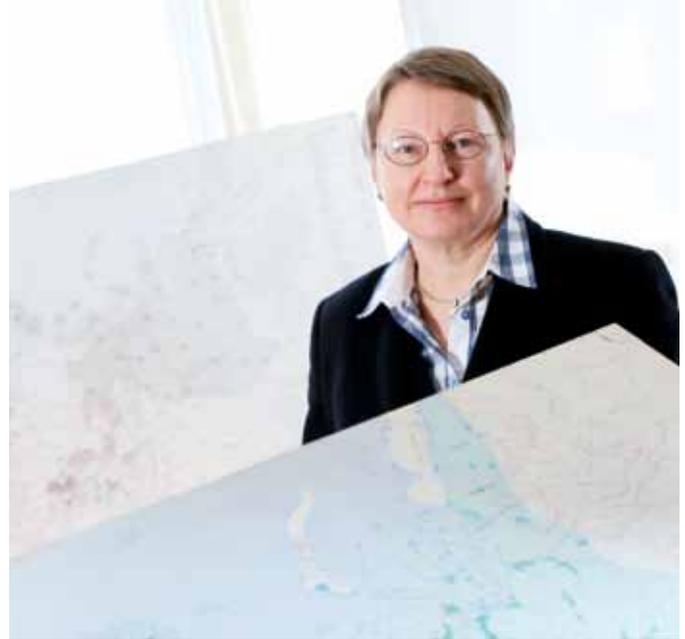
Eshelman ist bekennender Obama-Fan, auch wenn, wie er sagt, dessen Politik im Grunde gescheitert sei: „Obama hat versucht, eine post-postmoderne Politik zu betreiben. Doch konnte er mit seiner postideologischen Politik die Polarität in der amerikanischen Gesellschaft nicht überwinden.“ Obama verkörpert für Eshelman, der sich über „Die Postmoderne in Russland“ habilitierte, eine zentrale Figur, der er zurzeit seinen weiteren fächer-, medien- und methodenübergreifenden Forschungsschwerpunkt widmet: dem post-postmodernen Narren. Wie beim Plastik-Obama trägt auch hier der erste Eindruck, denn der post-postmoderne Narr ist durchaus eine positive Figur.

Die Postmoderne war geprägt von der Ironie, der Unentscheidbarkeit, dem „anything goes“. Ethisch sicher geglaubte Positionen verloren ihr Fundament, gerieten ins Schwimmen. „Der postmoderne Narr kann höchstens die Möglichkeit des Nicht-Bösen als Spur aufscheinen lassen“, sagt der hagere Mittfünfziger, „aber nicht eine ethisch kohärente Position des Guten abstecken und in deren Wahrheit verharren.“ Ganz anders der post-postmoderne Narr: „Er bleibt seiner eigenen Wahrheit naturgemäß treu“, sagt Eshelman. „Der Narr erscheint als der einfachste formale Träger des ethisch Guten, das sich um ein bestimmtes Ereignis herum herauskristallisiert.“

Anders als es der Plastik-Obama suggeriert, sucht Eshelman den post-postmodernen Narren in der zeitgenössischen Literatur. „Die Postmoderne in Russland war die Antwort auf die Dysfunktionali-



Slawist und Obama-Fan Raoul Eshelman forscht über das Wesen des post-postmodernen Narren.



Dokumentiert und katalogisiert die Überreste kleiner finnougri scher Sprachen: Elena Skribnik

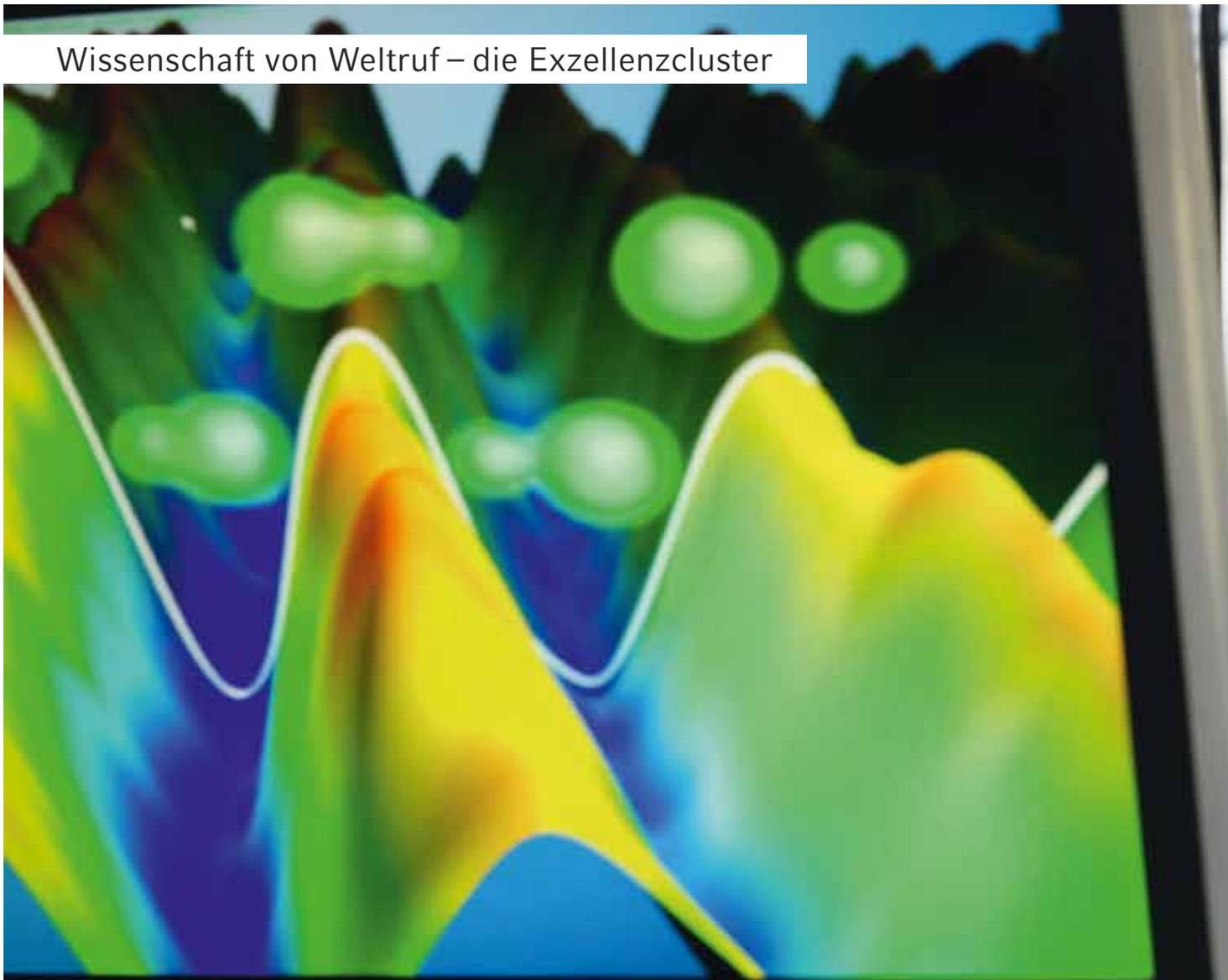
tät des Kommunismus und das Kollabieren des dialektischen Modells," analysiert Eshelman mit unübersehbarem Schalk im Blick: „Die Post-Postmoderne dagegen ist das Ende des endlosen Diskurses. Die post-postmodernen Narren sind abgekapselte Helden, die mit ihrer ethischen Festigkeit die endlose Ironie überwinden wollen.“ So wie die sturmhaubenbewehrte Frauen-Punk-Band in der Christ-Erlöser-Kathedrale. ■

Die Letzten ihrer Sprache

„Es gibt überhaupt keinen Paragraphen zu religiösem Rowdytum“, sagt Elena Skribnik streng, und plötzlich wirft sich das freundliche Gesicht der Lehrstuhlinhaberin für Finnougristik/Uralistik an der LMU in Falten: „Die Richterin zitiert Ergebnisse eines Kirchenkongresses des 7. Jahrhunderts. Der ganze Prozess gegen die jungen Frauen von Pussy Riot ist ein Skandal!“ Die gebürtige Russin Skribnik ist immer noch bestens informiert über das Tagesgeschehen in ihrer alten Heimat, sehr aufmerksam beobachtet die Sprachwissenschaftlerin die politische Kultur Russlands. Kein Wunder: Schließlich beschäftigt sich die ehemalige Vizedirektorin eines Instituts, das zur Sibirischen Abteilung der Russischen Akademie der Wissenschaften gehört, seit gut vier Jahrzehnten hauptsächlich mit sibirischen Minderheiten – und die litten noch stets unter der russischen oder sowjetischen Zentralregierung.

Noch 9500 Ostjaken und weniger als 1000 Wogulen beherrschen ihre Muttersprachen. Die beiden ob-ugrischen Sprachen aus Nordwestsibirien gehören – wie das Ungarische, das Finnische und das Estnische – zur Familie der finnougri schen Sprachen und sind akut vom Aussterben bedroht. Zwar sind die Chanten und Mansen, wie sie heute heißen, offiziell seit der Zeit Peters des Großen im 18. Jahrhundert christianisiert. Doch hielten sie bis ins 20. Jahrhundert hinein an der eigenen Religion fest, die den Bärenkult und den Schamanismus mit Elementen des zentralasiatischen Mithraskults kombiniert. Der Bolschewismus aber bekämpfte massiv die als reaktionär gebrandmarkten Traditionen, das in den 1950er-Jahren ausgebaute System russischsprachiger Internatsschulen ließ eine ganze Sprechergeneration ausfallen. Deshalb hat Elena Skribnik ein ehrgeiziges internationales Programm zur digitalen Dokumentation und Katalogisierung des Chantischen und Mansischen ins Leben gerufen. Als eines von europaweit nur fünf Projekten wird *Ob-Ugric Languages* vom Programm EuroBABEL des Europäischen Sozialfonds gefördert. Dass Elena Skribnik für die Mitarbeit an der Graduiertenschule gewonnen werden konnte, ist gleich von doppeltem Nutzen. Zum einen deckt sie mit dem Finnougri schen und dem gesamten sibirisch-mongolischen Raum einen sehr großen „Randbereich“ ab. Und möglichst viele dieser „Randbereiche“ möchte das Projekt angliedern. Zudem hat Skribnik, die auch noch mongolische und türkische Sprachen Sibiriens erforscht, große Erfahrung im Betreuen internationaler Studenten; seit über zehn Jahren lehrt sie im Linguistischen Internationalen Promotionsprogramm (LIPP), seit 2008 als Vorstandsmitglied. ■

Wissenschaft von Weltruf – die Exzellenzcluster





Experimentieren in der Welt der Attosekunden:
Physiker Matthias Kling. Foto: Jan Greune



Forschung zur Photosynthese: Ute Vothknecht (rechts) untersucht, wie Chloroplasten und andere Organelle in Pflanzenzellen entstehen.
Fotos: Jan Greune



Durchmustert die molekulare Maschinerie in 3D: Biochemiker Roland Beckmann



Der Blick in die Nanowelt – am Elektronenmikroskop



Die Vielfalt der Fliegen: Das Team von Systembiologin Ulrike Gaul unterhält eine Sammlung von Drosophila-Mutanten.
Foto: Jan Greune





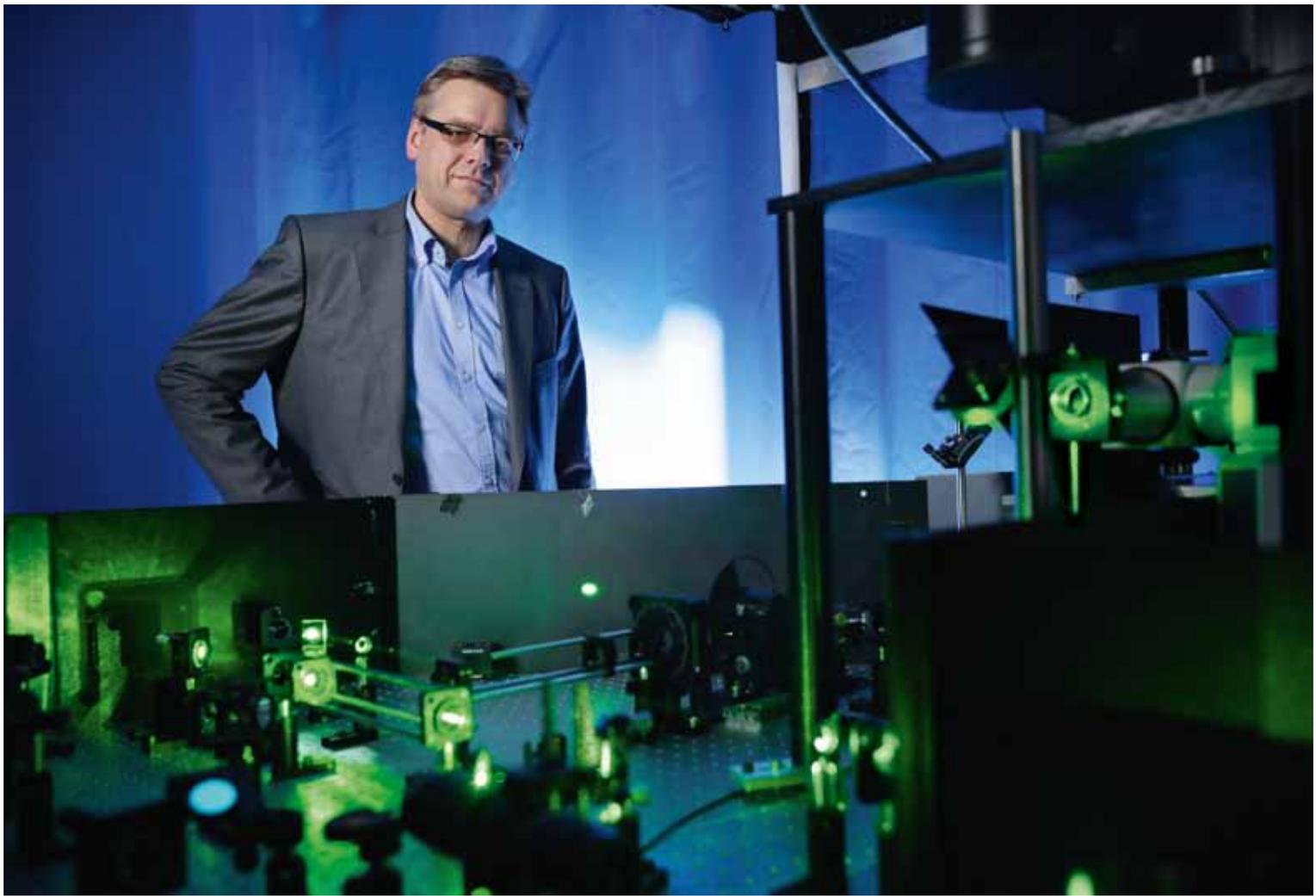
Sauberkeit und Präzision: Arbeiten im Reinraum. Foto: Jan Greune



Das Gold der kleinen Dinge

Ob mit Edelmetallen oder Allerweltsmaterialien: Die Wissenschaftler der **Nanosystems Initiative Munich** gestalten die ultrakleinen Bausteine einer Welt von morgen – für Datenübertragung, Energiegewinnung oder Tumorbekämpfung.

Von Alexander Stirn



Angeregt vom Licht: Den Laserstrahl nutzen Jochen Feldmann und sein Team in ihren Experimenten als vielseitiges Werkzeug. Foto: Jan Greune

Es ist ein ganz besonderer Goldrausch, den Jochen Feldmann auf Trab hält. Schließlich ist der reine Materialwert des Edelmetalls, mit dem der Physiker an der LMU experimentiert, so gut wie zu vernachlässigen: Es sind nur winzige Mengen. Die Anwendungen, die sich aus Feldmanns Versuchen ergeben, sind allerdings im wahrsten Sinne des Wortes Gold wert. Jochen Feldmann, Inhaber des Lehrstuhls für Photonik und Optoelektronik, forscht mit klitzekleinen Goldklumpen – mit Kügelchen und Sternchen, die tausendmal kleiner sind als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Etwa 50 Millionstel Millimeter – oder 50 Nanometer, wie die Physiker sagen – messen Feldmanns Goldteilchen. Das hindert die Partikel allerdings nicht daran, stark aufzuleuchten, sobald sie mit Licht einer bestimmten Farbe in Kontakt kommen. Diese Eigenschaft macht die Nanoteilchen zu einem idealen Handwerkszeug, um einzelne Moleküle nachzuweisen, um biologische Vorgänge sichtbar zu machen, um Krebserkrankungen zu diagnostizieren und möglicherweise sogar zu therapieren. Mindestens genauso vielfältig ist der Exzellenzcluster, den Jochen Feldmann zusätzlich zu seiner Forschung koordiniert: *Nanosystems Initiative Munich (NIM)* heißt der Zusammenschluss, der bereits seit 2006 gefördert wird. Beteiligt sind Forscher der Technischen Universität München, der Universität Augsburg, der LMU und weiterer Kooperationspartner. Er hat sich, wie Feldmann es

formuliert, zum Ziel gesetzt, „Visionen aus der Nanoforschung“ Realität werden zu lassen.

Darunter fallen Quantensysteme, die komplexe Rechenaufgaben lösen, aber auch Nanofabriken, künstliche Blätter für eine umweltfreundliche Energieerzeugung, selbstgebaute Zellen und Nanokapseln, die Krebszellen im Körper aufspüren und zerstören. „Für die Lösung dieser Herausforderungen brauchen wir Physiker, Chemiker, Biologen, Mediziner, Pharmazeuten, Elektrotechniker“, sagt LMU-Wissenschaftler Feldmann. „NIM ist daher sehr interdisziplinär aufgestellt.“

Nanosystems Initiative Munich

Neben der LMU, der Technischen Universität München und der Universität Augsburg sind am Exzellenzcluster Nanosystems Initiative Munich (NIM) das Helmholtz Zentrum München, die Max-Planck-Institute für Biochemie und für Quantenoptik, das Walther-Meißner-Institut der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und das Deutsche Museum beteiligt. Rund 60 Principal Investigators mit ihren jeweiligen Forschergruppen sowie 140 Doktoranden im Cluster-eigenen Graduiertenprogramm kümmern sich um die fünf Kompetenzfelder Quanten-Nanophysik, Hybride Nanosysteme, Nanosysteme für die Energieumwandlung, Biomolekulare Nanosysteme und Biomedizinische Nanosysteme.



Die kleinsten Strukturen durchblicken: Nano-Forscher von NIM am Elektronenmikroskop. Foto: Jan Greune

Nano-Plasmonik nennt sich Feldmanns eigenes Forschungsgebiet. Es macht sich zunutze, dass in einem leitenden Material viele freie Elektronen zu finden sind. Werden die geladenen Teilchen vom elektrischen Feld eines Lichtstrahls getroffen, breiten sich im Elektronensee Wellen aus – ganz ähnlich, als wenn man einen Stein ins Wasser wirft.

Im Nanoteilchen können sich diese Dichtewellen der Elektronen, „Plasmonen“ genannt, aber nicht ungehindert ausdehnen. Die Kugelgeometrie sorgt dafür, dass die Wellen zurückgeworfen werden und sich gegenseitig überlagern. Bei einer bestimmten Frequenz treffen die einzelnen Wellenberge dabei exakt so aufeinander, dass sie sich gegenseitig verstärken. Eine Plasmonenresonanz entsteht. Die Energie wird dadurch stark gebündelt, das Teilchen leuchtet auf. „Im Grunde verhalten sich die Partikel damit wie Antennen, die auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt sind“, sagt Feldmann.

Daraus ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Die Nanopartikel können beispielsweise über eine Schwefelwasserstoff-Bindung an ein Biomolekül gekoppelt werden. Wie eine Antenne helfen sie dann, das Molekül zu lokalisieren. Es ist aber auch möglich, die Goldteilchen mit einem Rezeptormolekül zu überziehen, das genau jene Proteine anlockt, die bei bestimmten Krebserkrankungen entstehen. Auf diese Weise können Tumore früher entdeckt werden.

Die Antennen müssen dabei nicht unbedingt kugelförmig sein: Feldmann und sein Team arbeiten auch mit Stäbchen und deutlich komplexeren Geometrien – bis hin zum selbstgebauten Nano-Sternchen. „Das funktioniert ein bisschen wie ein Blitzableiter“, erklärt Jochen Feldmann: Die Spitzen des dreidimensionalen Sterns verstärken das elektrische Feld besonders effektiv; das ausgestrahlte Licht wird heller, die Antenne empfindlicher.

Auf Basis dieser Technologie haben die Nano-Forscher bereits einen Biosensor mit einem einzelnen Goldpartikel entwickeln können. Sogar ein Spin-off, das versucht, solche Ideen am Markt zu etablieren, ist entstanden – eine von insgesamt acht Ausgründungen in den ersten fünf Jahren des Exzellenzclusters. Mittlerweile, sagt Feldmann, habe sich daraus ein kleines Netzwerk entwickelt, das anderen potenziellen Gründern Tipps gibt und sie bei Businessplan-Wettbewerben unterstützt. „Auch für so etwas ist NIM absolut wichtig“, sagt der Cluster-Sprecher. „Man ist eben nicht nur mit seiner eigenen Gruppe unterwegs, sondern steht in ständigem Austausch mit anderen.“

Feldmanns Nano-Goldgräberstimmung beschränkt sich allerdings nicht auf die Diagnostik. Auch neuartige Sensorsysteme sind denkbar: Die sogenannte Raman-Spektroskopie ist beispielsweise seit Langem ein wichtiges Werkzeug für Physiker und Chemiker. Laserlicht, das durch die Schwingungen in Molekülen gestreut wird,

erzeugt dabei eine Art Fingerabdruck der untersuchten Substanz. Allerdings sind die Signale derart schwach, dass aussagekräftige Messungen mitunter einer Lotterie gleichen.

Nicht so, wenn Gold-Partikel ins Spiel kommen. Durch die Nanoteilchen verstärken sich die chemischen Fingerabdrücke um bis zu zwölf Größenordnungen. „Dadurch lassen sich Raman-Spektren selbst an einem einzelnen Molekül messen – eine Leistung, die bislang als undenkbar galt“, sagt Jochen Feldmann. Bei Sensoren an Flughäfen, die nach winzigen Resten von Sprengstoffverbindungen suchen, macht man sich diese Effekte bereits zunutze.

Licht lässt die Nanoteilchen aber nicht nur aufleuchten, es kann auch helfen, sie gezielt zu manipulieren: Der Fokus eines Laserstrahls wirkt wie eine optische Pinzette, mit der Goldkugeln in der Schwebe gehalten werden können. Feldmann und seine Kol-

»NIM ist ein Katalysator, um Projekte anzustoßen«

legen nutzen das aus, um Nanoteilchen direkt neben einem Bakterium zu platzieren. Jede Bewegung des Einzellers überträgt sich dabei auf das Kügelchen und kann mit dessen Hilfe detektiert werden. In Versuchen ist es den Physikern sogar gelungen, auf diese Weise Schallwellen nachzuweisen: Dem goldenen Nano-Ohr entgehen nicht einmal Geräusche mit einer Lautstärke von minus 60 Dezibel. Es ist damit eine Millionen Mal empfindlicher als das menschliche Gehör.

Der Laserstrahl kann noch mehr: Geschickt ausgerichtet, drückt er die Nanoteilchen vor sich her. Feldmann versucht diesen Effekt auszunutzen, um Goldteilchen durch die Wände von Zellen zu pressen. Die winzigen Kügelchen könnten auf diese Weise den Weg für angedockte Biomoleküle freimachen und Medikamente gezielt im Innern von Zellen abliefern.

Mit Vesikeln, künstlichen Zellen ohne Innereien, funktioniert das schon sehr gut. Echte Zellen wehren sich allerdings noch erfolgreich. „Da läuft eine seltsame Dynamik ab, das ist schwieriger als gedacht“, sagt Feldmann. „Zum Glück findet sich in einem Netzwerk wie NIM aber immer jemand, der sich mit biologischen Systemen auskennt und uns Optikern weiterhelfen kann.“

Die relativ simplen Türöffner aus Gold sollen ohnehin nur der Anfang sein: Eines der großen Themen im Exzellenzcluster sind intelligente Nanokapseln. Sie werden, so die Idee, eines Tages in der Blutbahn unterwegs sein, eigenständig Tumore aufspüren, sich einen Weg ins Innere der wuchernden Krebszellen verschaffen

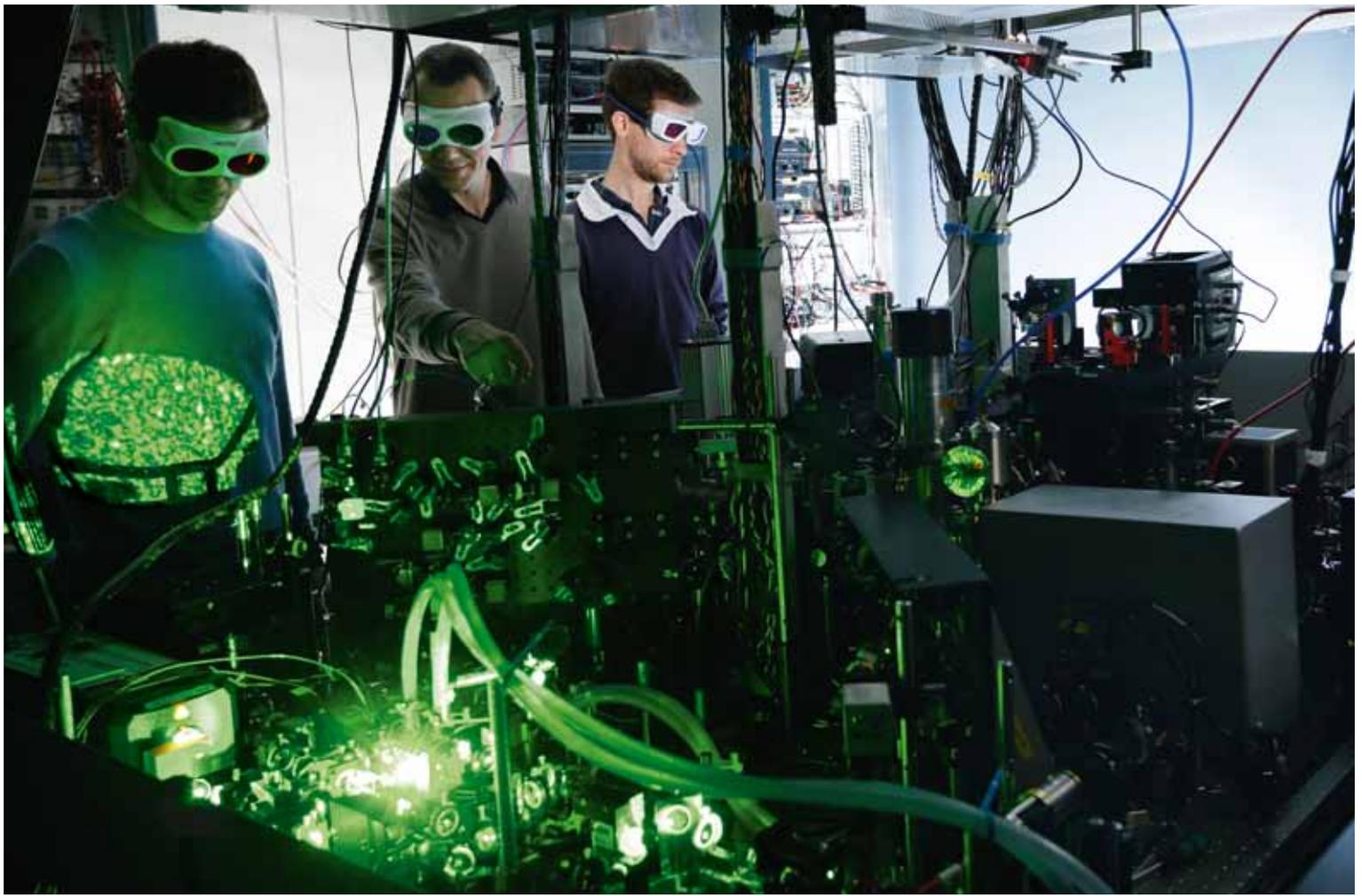
und dort ein für diese tödliches Medikament absondern. Bis es so weit ist, muss aber noch viel Grundlagenarbeit geleistet werden. Jochen Feldmanns zweites Forschungsstandbein geht dagegen in eine komplett andere Richtung: Der Physiker arbeitet daran, Licht in Treibstoff zu verwandeln. Möglich machen sollen das Nanokristalle aus einem Halbleitermaterial, die die Vorgänge während der Photosynthese imitieren.

Das Ganze funktioniert ähnlich wie in der Natur: Sobald Licht auf die winzigen Kristalle trifft, wird ein Elektron freigeschlagen. Platin-Cluster, die auf den Nanostäbchen sitzen, wirken als Katalysator und versetzen das Elektron in die Lage, Wasser zu zersetzen. Wasserstoff entsteht – zumindest im Moment noch. In Zukunft sollen die künstlichen Blätter allerdings Methan produzieren. Das Gas hat eine höhere Energiedichte und kann somit besser und billiger gespeichert werden.

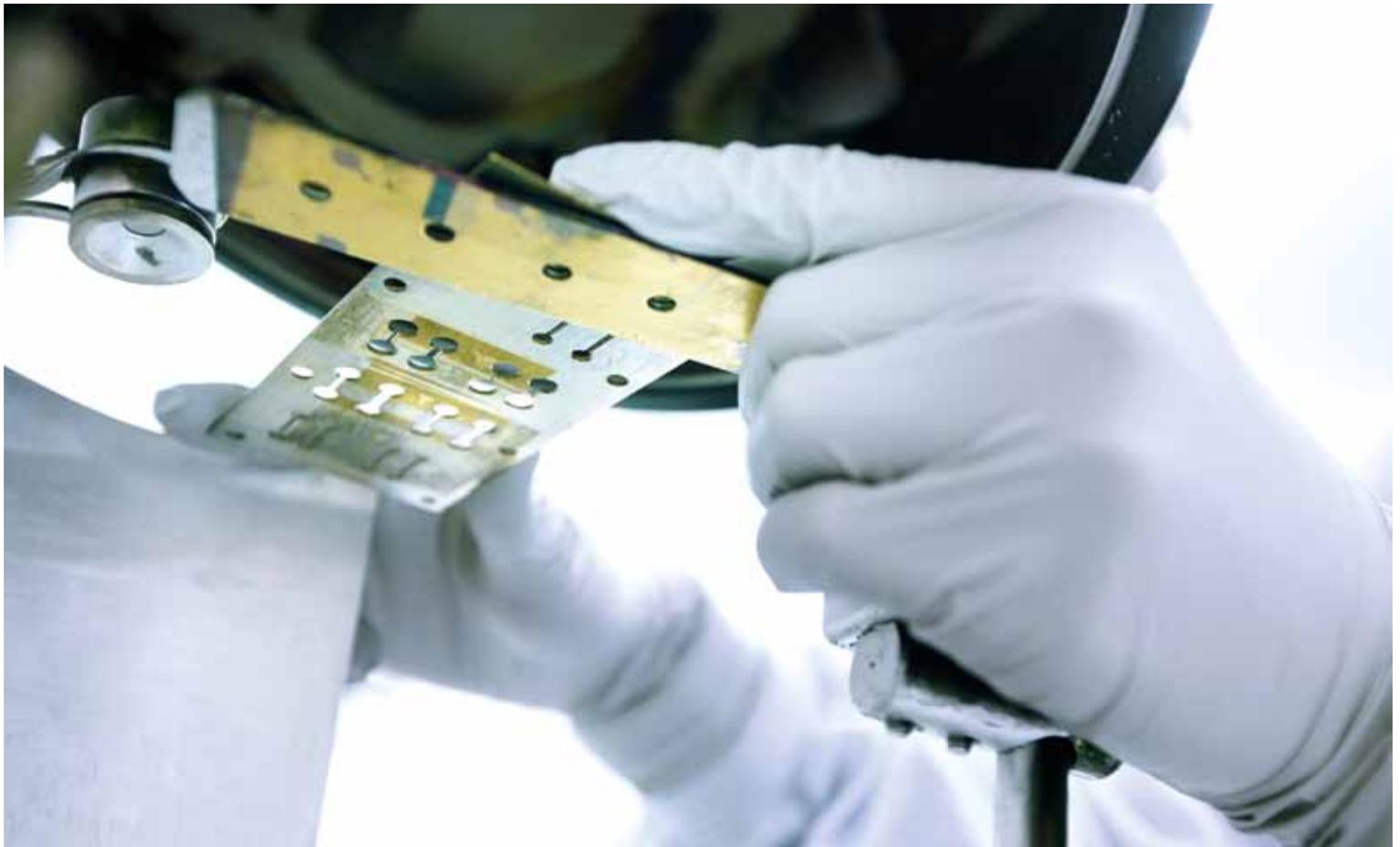
Auch das Silizium, bislang klarer Favorit unter den Halbleitern, soll durch Alternativen ersetzt werden. Zwar ist es eines der häufigsten Elemente auf der Erde, es benötigt aber viel Energie, um beispielsweise in einer Solarzelle verwendet werden zu können. „Physiker und Chemiker kommen gerade davon ab, immer nur die besten Materialien verwenden zu wollen“, sagt Feldmann. „Stattdessen setzen wir auf Stoffe, die zwar weniger effizient, dafür aber in Hülle und Fülle auf unserem Planeten vorhanden sind und ohne großen Energieaufwand eingesetzt werden können“, sagt Feldmann. Pyrit, das mit Abstand am weitesten verbreitete Sulfidmineral, wegen seines trügerischen Glanzes auch als „Katzengold“ verspottet, wird zurzeit als potenzieller Kandidat untersucht.

Die Forschung soll künftig nicht nur im Rahmen von NIM, sondern auch in einem neuen bayernweiten Netzwerk rund um die Solarenergie fortgeführt werden. Neben der LMU, die die Arbeiten koordiniert, sind daran die TU München sowie die Universitäten in Bayreuth, Erlangen-Nürnberg und Würzburg beteiligt. „NIM war der Katalysator, um das neue Netzwerk auf die Beine zu stellen“, sagt Jochen Feldmann.

Für den Cluster-Koordinator liegt eine der wichtigsten Funktionen von NIM ohnehin darin, Dinge anzustoßen sowie die nötigen Strukturen zu schaffen, um neue Forschungsthemen bearbeiten zu können. „Gerade junge Wissenschaftler haben oft gute Ideen, aber nicht die Möglichkeit, ihre Einfälle schnell zu finanzieren und umzusetzen“, sagt Feldmann. Ein zweiseitiger Antrag mit dem geplanten Vorhaben reicht daher – sofern er positiv beurteilt wird –, um eine NIM-Anschubfinanzierung zu bekommen. Mit dem Geld können die Nachwuchsforscher die notwendige Vorarbeit leisten, um beispielsweise erfolgreich eine Förderung durch den Europäischen Forschungsrat zu beantragen, einen sogenannten ERC Starting Grant. Eine ganze Reihe junger Nanoforscher hat das in den letzten Jahren geschafft. „Da“, sagt Feldmann und lächelt, „haben wir bei NIM mit vergleichsweise kleinem Einsatz ganz groß abgeräumt.“ ■

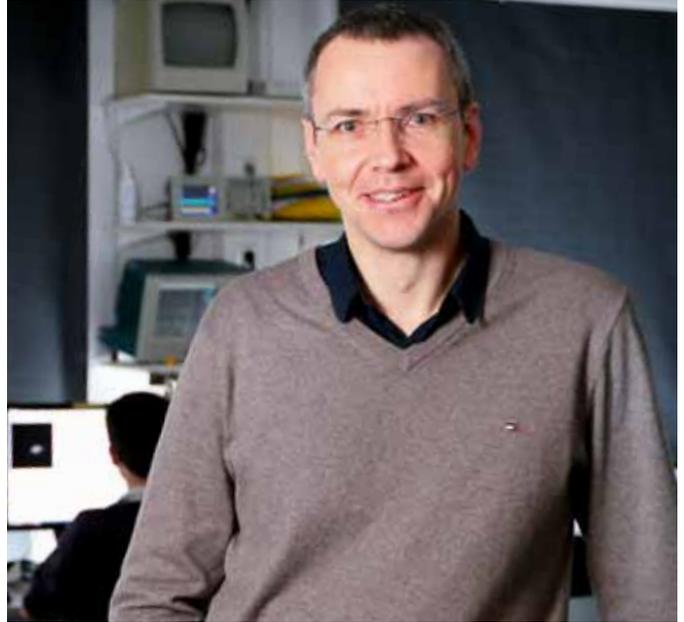


Im Laserlabor: Immanuel Bloch (oben Mitte) und Mitarbeiter. NIM-Forscher bei Reinraumarbeiten. Fotos: Jan Greune





In hoher Konzentration, aber lokal begrenzt – so will Oliver Eickelberg erkranktes Lungengewebe behandeln können.



Gefangen im Licht: Mit Lasern konstruiert Immanuel Bloch Mikrofallen für Atome. Fotos: Jan Greune (2), LMU (2)

Bis in die Ecken des Courts

Die menschliche Lunge ist ein weites Spielfeld für Krankheiten aller Art. Ausgebreitet erreicht ihre innere Oberfläche in etwa die Abmessungen eines Squash-Courts – bevölkert von mehr als 50 verschiedenen Zelltypen in jeweils millionenfacher Ausführung. Erkrankungen wie die Lungenfibrose, bei der das Gewebe nach und nach vernarbt, machen sich zunächst jedoch nur an einzelnen Stellen des weitläufigen Organs bemerkbar. Mediziner stellt das vor eine Herausforderung: „Für eine effektive Therapie dürfen wir nicht wie mit einem Rasenmäher alle Zelltypen angreifen, wir müssen vielmehr versuchen, Medikamente gezielt in die entsprechenden Ecken dieses Squash-Courts zu bringen“, sagt Oliver Eickelberg. Er ist Direktor des Comprehensive Pneumology Centers und des Instituts für Lungenbiologie am Helmholtz Zentrum München sowie Ordinarius für Experimentelle Pneumologie an der LMU.

Möglich machen soll das die Nano-Medizin: Eickelberg und sein Team experimentieren zusammen mit Thomas Bein, Professor für Physikalische Chemie an der LMU, mit porösen Nanokügelchen, die mit einer therapeutischen Substanz gefüllt, von Proteinen versiegelt und anschließend eingeatmet werden. Lediglich Enzyme, die im Gewebe rund um die erkrankten Zellen aktiv sind, können die Verschlusssequenz knacken. Dadurch wird das Medikament lokal und in sehr hoher Konzentration verabreicht – ohne weitreichende Nebenwirkungen. Laborversuche mit Zelllinien haben, so Eickelberg, vielversprechende Ergebnisse gezeigt. Sofern Experimente am Tiermodell ebenfalls erfolgreich verlaufen, soll damit begonnen werden, die neue Nano-Therapie auch bei Menschen anzuwenden. ■

Kristall aus Licht

Die Gesetze der mikroskopischen Welt sind Physikern eigentlich wohlbekannt. Kompliziert wird es allerdings, wenn viele Teilchen zusammenkommen und ein kollektives Verhalten an den Tag legen – zum Beispiel in einem supraleitenden Festkörper. Theoretische Vorhersagen, wie sich solch ein Material unter wechselnden äußeren Bedingungen verhalten wird, sind oftmals nicht möglich. Immanuel Bloch, Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik an der LMU und Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching, will das ändern – mithilfe eines Kristalls aus Licht: Bloch legt dazu mehrere Laserstrahlen so übereinander, dass sich ihr Licht mancherorts verstärkt, während es sich an anderen Stellen auslöscht. Es entsteht ein periodisches Hell-Dunkel-Muster im Raum. Jeder Lichtpunkt wirkt dabei wie eine Mikrofall für die Atome eines extrem dünnen, extrem kalten Gases. „Dadurch schaffen wir ein künstliches Modellsystem, das wir vollständig unter Kontrolle haben, in dem wir zum Beispiel die gegenseitigen Wechselwirkungen und die Kristallstruktur dynamisch ändern können“, sagt Bloch.

Mit dem handlichen, bis zu einem Zehntel Millimeter großen Versuchskristall will der Physiker im Rahmen von NIM unter anderem untersuchen, welche kollektiven Phänomene hinter der Supraleitung stecken. Auch bislang unbekannte Materiezustände sollen mit dem extrem vergrößerten Modell eines Festkörpers realisiert werden. Eines Tages könnten aus den Forschungsarbeiten dann neue Sensoren, bessere Atomuhren oder sogar Quantenrechner hervorgehen. ■



Wie Gitarrensaiten schwingen die freitragenden Nanostrukturen, mit denen Eva Weig experimentiert, nur sehr viel schneller.



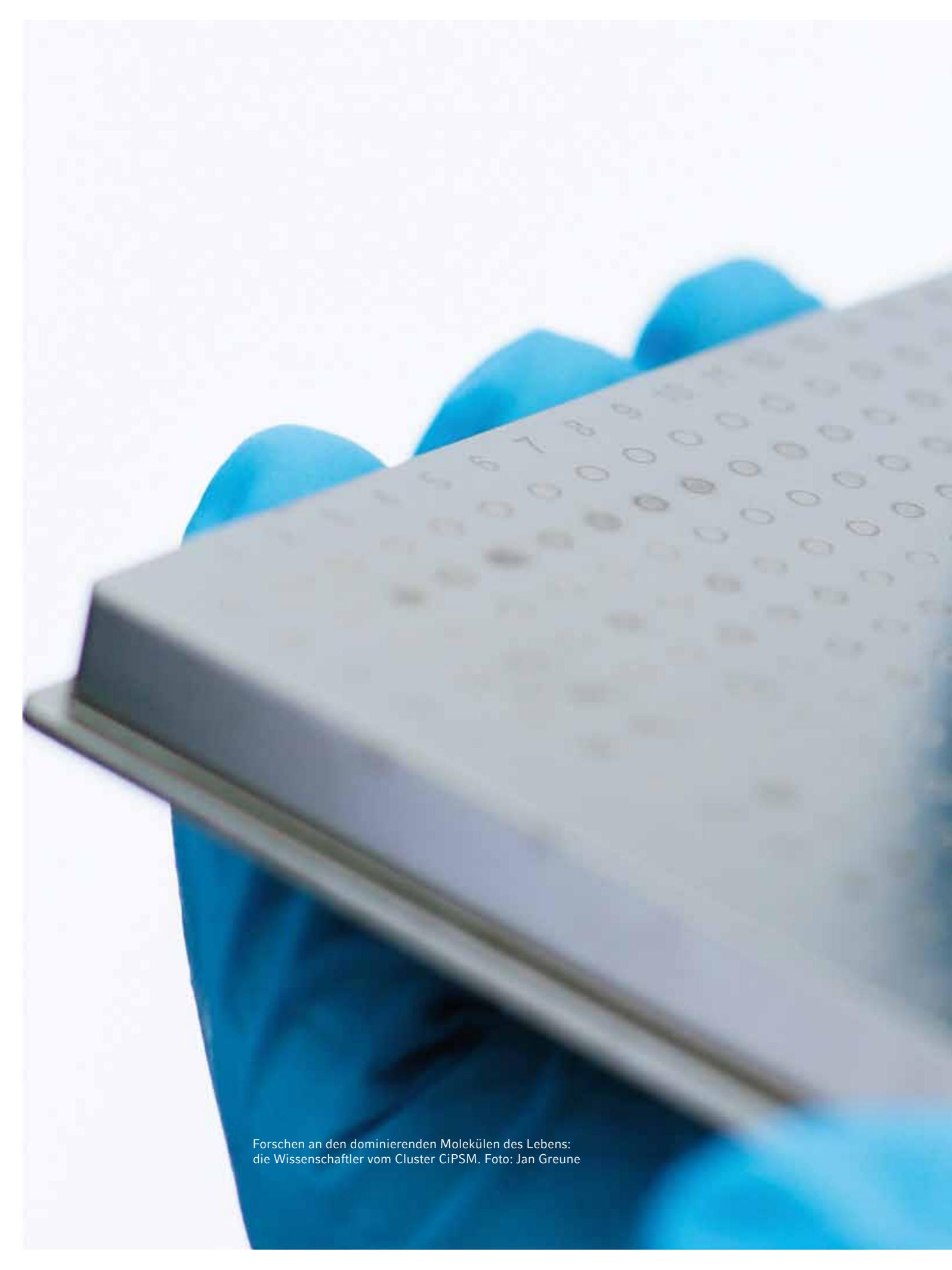
„Gezielt die Luke öffnen“: Thomas Bein will Therapeutika in Nano-Transportern an den Wirkort schleusen.

Die Stimmung der Nano-Saiten

Wenn Eva Weig an ihren Gitarrensaiten zupft, erklingt kein Ton – zumindest kein hörbarer: Etwa zehn Millionen Mal pro Sekunde schwingen die winzigen Strukturen, die die Physikerin herstellt, hin und her. Ihre Frequenzen liegen damit im Radiobereich, weit über der Hörschwelle des Menschen. Weigs Nano-Instrumente sind tausendmal dünner als ein menschliches Haar. Das Siliziumnitrid, aus dem sie ihre Strukturen ätzt, steht unter Zugspannung. Einmal angezupft, können die Nano-Saiten daher sehr lange vor sich hin schwingen. Winzige Veränderungen aber beeinflussen deren Schwingungsverhalten – ganz ähnlich, als wenn man ein Kaugummi auf eine echte Gitarrensaite klebt. „Sobald sich die Masse der Saite auch nur ein klein wenig erhöht, verändert sich auch deren Schwingungsfrequenz. Der Ton wird niedriger“, sagt Eva Weig, mittlerweile Professorin an der Universität Konstanz. Prinzipiell lassen sich damit sogar einzelne Atome detektieren. Werden auf einen Chip Tausende solcher Resonatoren geätzt, die jeweils nur spezielle Atome oder Moleküle aufnehmen, könnte ein höchst empfindlicher Sensor entstehen – eine Art künstliche Nase. Die Nano-Saiten ermöglichen aber noch eine viel grundsätzlichere Anwendung: Bei extrem tiefen Temperaturen können sie sich, obwohl sie aus vielen Milliarden Atomen bestehen, wie ein quantenmechanisches System verhalten, das nur noch bestimmte Eigenschaften annehmen kann. Physiker sprechen von diskreten Zuständen. „Bei so großen Strukturen wurde das bislang nicht beobachtet“, sagt Eva Weig. „Unsere Nanoresonatoren können somit helfen, die Grenzen zwischen der Quantenmechanik und der makroskopischen Welt auszuloten.“ ■

Medikamenten-Shuttle

Im Kampf gegen den Krebs wird oft mit Schrotflinten auf Tumore geschossen: Nur etwa drei Prozent des Wirkstoffs, der bei konventioneller Chemotherapie in den Körper gelangt, erreicht letztlich die Krebszellen. Der Rest ist verschwendet und belastet den Organismus mit seinen Nebenwirkungen. Es geht auch anders: Thomas Bein, Lehrstuhlinhaber für Physikalische Chemie an der LMU, arbeitet an winzigen „Nano-U-Booten“, nur 50 bis 100 Milliardstel Meter groß, die Wirkstoffe gezielt zu den Tumorzellen transportieren und dort abladen sollen. Der Chemiker benutzt dafür Kügelchen aus Siliziumdioxid, die von feinen Poren durchzogen sind. Dort können sich die Medikamente festsetzen. Dieser Frachtraum muss sich jedoch gezielt verschließen und öffnen lassen, sonst würde die Substanz viel zu früh im Körper freigesetzt. Bein, der im NIM-Cluster auch den Bereich Energieumwandlung leitet, setzt deshalb auf einen natürlichen Prozess: Sobald Zellen einen Fremdkörper mit ihren Membranbläschen aufnehmen wollen, ändert sich der pH-Wert. „Wenn wir unsere Kügelchen mit einem Material verschließen, dessen chemische Bindungen in diesem Augenblick aufgehen, können wir die Luke gezielt öffnen“, sagt Bein. Bleibt das Problem der Navigation: Hier hilft den Chemikern, dass einige Substanzen auf Oberflächen von Tumoren häufiger vorkommen als auf gesunden Zellen. Das Nano-U-Boot muss daher nur mit Proteinsequenzen beschichtet sein, die Bindungen mit diesen Rezeptoren eingehen – schon kann es am Tumor andocken. „Auch solche Konzepte erforschen wir zusammen mit weiteren Forschern in NIM intensiv“, sagt Bein. ■



Forschen an den dominierenden Molekülen des Lebens:
die Wissenschaftler vom Cluster CiPSM. Foto: Jan Greune



Die Kultur der Clicks

Am **Center for integrated Protein Science Munich** wollen Forscher die Eigenschaften von Eiweißen detailliert beschreiben – und die Moleküle mit chemischen Tricks modifizieren.

Von Kathrin Burger



Moleküle zusammenklicken, das klingt zunächst simpel. Doch haben Thomas Carell und sein Team viel Forschungsarbeit hineingesteckt, um die Technik zu etablieren. Foto: Jan Greune

Populäre Darstellungen entwerfen die biologische Zelle gerne als eine riesige Fabrik mit einer weitläufigen Maschinenhalle. Tatsächlich haben solche Parallelen einiges für sich, weil sie viel von der molekularen Robotik und ihrer komplexen Regeltechnik, von arbeitsteiliger Fertigung und ausgeklügelter Produktkontrolle erzählen, die den lebenden Organismus am Ende zu dem machen, was er ist: eine einigermaßen perfekt funktionierende biologische Supramaschine, reduktionistisch gesehen. Nichts geht dabei ohne Proteine und ihre Bausteine, die Aminosäuren, was schon ihre schiere Masse zeigt: Proteine machen gut die Hälfte der sogenannten Trockenmasse der Zellen aus. Und sie zeigen eine große Vielfalt, jeder höhere Organismus vereint in sich Tausende verschiedene solcher Makromoleküle – mit den unterschiedlichsten Funktionen: Proteine geben den

Zellen Struktur, sie bilden Kanäle und pumpen Ionen durch Zellmembranen, als Rezeptormoleküle erkennen sie Signale, sie transportieren Stoffwechselprodukte und als Enzyme katalysieren sie chemische Reaktionen. So gesehen sind sie gleichzeitig Produktionsmaschine und Produkt.

Proteine sind also die dominierenden Moleküle des Lebens, doch fehlen noch viele zentrale Details zum vollständigen Verständnis, besonders wenn es um ihre Einbindung in funktionale Netzwerke geht. Die Wissenschaftler des *Center for integrated Protein Science Munich* der LMU wollen Aufbau und Funktion der Makromoleküle erforschen – auf allen Ebenen der Organisation: von den fundamentalen Eigenschaften als isolierte Substanzen bis zum zellulären, biologischen und sogar dem Netzwerk-Kontext. *CiPSM*, so lautet das Kürzel des großen Forschungsverbundes, wird bereits



seit 2006 aus Mitteln der Exzellenzinitiative gefördert. 25 Forscher und ihre Arbeitsgruppen gehören dem Verbund an, gut 25 weitere Teams sind assoziiert. Beteiligt sind die Technische Universität München, das Helmholtz Zentrum München und das Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried.

Der Verbund ist in sechs größeren Forschungseinheiten organisiert, die jeweils unterschiedliche Aspekte untersuchen, erklärt Thomas Carell, Professor für Organische Chemie an der LMU und Sprecher des Exzellenzclusters. Die Wissenschaftler analysieren Mechanik und Dynamik einzelner Proteine mit theoretischen und biophysikalischen Methoden. Sie erforschen die Prozesse von Biosynthese, Transport und Abbau von Eiweißen. Sie analysieren, wie die aus Proteinen bestehenden Molekülmaschinen arbeiten und sich deren Funktionen durch die Regulation innerhalb dynami-

scher Netzwerke verändern. Auf dem Forschungsprogramm stehen auch die Wechselwirkungen zwischen den Proteinen und der DNA. Wie reguliert der Organismus durch nachträgliche Veränderungen von Proteinen Ausprägungen in der Embryonalentwicklung oder steuert Anpassungsprozesse? Die Forscher untersuchen zudem mit chemischen Methoden die Modifizierbarkeit von Biomolekülen. Und sie studieren mithilfe von Modellorganismen das Funktionieren von Proteinen in Netzwerken, zum Beispiel in Signalkaskaden. In all diesen Bereichen ist die Strukturbioogie von herausragender Bedeutung, die vor allem die Gruppen von Patrick Cramer, Karl-Peter Hopfner und Roland Beckmann in den Cluster einbringen. Alle drei sind Professoren für Biochemie am Genzentrum der LMU, Cramer ist zudem dessen Direktor. Mithilfe der Strukturbioogie lassen sich die proteinbasierten Prozesse atomar auflösen.

All das sind grundlegende Fragen der modernen Lebenswissenschaften. Und natürlich verstehen sich die CiPSM-Wissenschaftler als Grundlagenforscher. Seit dem Förderbeginn 2006 sind so über 900 Publikationen unter Beteiligung der CiPSM-Mitglieder in wissenschaftlichen Journalen erschienen, bilanziert Carell. Trotzdem betonen die Forscher potenzielle Anwendungen: Die Proteinwissenschaften, so heißt es ganz oben auf der CiPSM-Homepage, seien die Basis für die rasanten Fortschritte in Biomedizin und Biotechnologie. All das dürfte auch ökonomisch keine Kleinigkeit sein. Schon jetzt, so rechnet Carell vor, „macht die Pharmaindustrie grob gerechnet 50 Prozent ihrer Einnahmen mit Protein-Therapeutika“. Carell selbst erforscht im Rahmen des Clusters, wie man sogenannte Biologics, therapeutisch wirksame Substanzen aus Proteinen, schneiden oder perfektionieren kann. Bis vor 15 Jahren bestanden Medikamente vor allem aus vergleichsweise kleinen Molekülen wie beispielsweise Glykosiden in der Herzmedizin. „Da hat sich ein echter Paradigmenwechsel vollzogen“, sagt der LMU-Wissenschaftler. Heute seien Proteine wichtige Medikamente, deren Wirkdauer oder auch deren Verteilung im Körper beeinflusst werden kann und muss.

Allerdings entwickelt Carell mit seiner Arbeitsgruppe nicht selbst solche Substanzen, sondern erarbeitet Konstruktionsprinzipien, die Entwicklungslabore später womöglich nutzen können. Derzeit arbeitet das Team daran, unnatürliche Aminosäuren in Proteine einzubauen. Proteine bestehen aus Ketten von Aminosäuren; die Zellmaschinerie nutzt dafür 20 verschiedene solcher Bausteine. Doch Carell fügt dem Repertoire eine einundzwanzigste hinzu. Das allerdings ist für ihn nur Mittel zum Zweck: Das Anhängsel dient als Anschlussstück für andere Substanzen. Carell nennt das „Click-Chemie“. Der LMU-Wissenschaftler erklärt: „Wir bauen also die Click-Aminosäure ins Protein ein, und an diese kann man einen Click-Partner gezielt dranhängen.“

Die Click-Proteine lässt er von Mikroorganismen fertigen. Er schleust entsprechende Gene in das Darmbakterium *E. coli* ein,



„Die deutsche Forschung kommt nur mit Exzellenzclustern weiter“, sagt Thomas Carell: Alltag in den CiPSM-Laboren. Fotos: Jan Greune

sie produzieren danach das fremde Protein mit dem künstlichen Verbindungsstück im Gepäck. Das veränderte Eiweiß wird aus der Zelle herausgelöst, erklärt Carell, der Click-Partner dazugemischt, wobei es dann selektiv zur Reaktion mit dem veränderten Protein kommt.

Anwendung findet die Click-Chemie bereits weltweit, wenn es darum geht, die verschiedenen Formen von Nukleinsäuren zu verändern, aus denen das Erbmateriale besteht. Carell gehört zu den

»Cluster wie CiPSM sind Zukunftsmodelle«

führenden Experten weltweit; er hält eine Reihe von Patenten und hat im Jahr 2008 eine Firma ausgegründet. An der baseclick GmbH in Tutzing am Starnberger See, eine halbe Autostunde von München, ist die Venture-Capital-Tochter des BASF-Konzerns finanziell maßgeblich beteiligt. „Es gibt heute keine komplex modifizierte Nukleinsäure, die nicht mit dieser Chemie hergestellt wird“, berichtet Carell nicht ohne Stolz. Solche veränderten Biomoleküle werden heute beispielsweise als Gensonden in der medizinischen Diagnostik eingesetzt. Doch mit den Proteinen sind die Chemiker noch nicht so weit. „Die Ausbeuten sind zu gering. Die E. coli-Zelle

wehrt sich, die unnatürliche Aminosäure in großen Mengen in das Protein einzubauen“, räumt Carell ein.

Um die Click-Chemie entwickeln und verfeinern zu können, kommen dem Forscher seine Erkenntnisse zugute, die er als Nukleinsäure-Spezialist gesammelt hat. In der ersten Förderphase des Verbundes hat Carell beispielsweise Proteine unter die Lupe genommen, die Schäden in der DNA reparieren, oder auch solche, die gewährleisten, dass sich eine versehrte Zelle trotzdem teilt. Solche Schäden am Erbgut entstehen ständig, durch intensives Sonnenlicht, durch freie Radikale, die sich bei der Zellatmung bilden, oder auch durch den Kontakt mit chemischen Substanzen. In Zusammenarbeit mit Karl-Peter Hopfner konnte Carell verschiedene dieser Reparatur-Mechanismen aufklären. „Wir wissen zum Beispiel, dass die Zelle über Toleranz-Prozesse Resistenzen gegenüber Schadenssubstanzen entwickeln kann“, bilanziert Carell. Gemeinsam mit Forschern vom Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg hat er Reparaturenzyme für weitere Funktionsanalysen kristallisiert, die an die Schäden andocken und sie mithilfe chemischer Reaktionen beseitigen.

Derzeit arbeitet Thomas Carell zudem an Fragen der sogenannten Epigenetik. Dieser noch relativ junge Forschungszweig widmet sich der Tatsache, dass manche Zelleigenschaften nicht über den Genotyp der DNA-Sequenz vermittelt sind. Kleine Veränderungen am Erbmateriale, etwa zusätzliche Methylgruppen am DNA-Strang oder Modifikationen an den sogenannten Histonen, kontrollieren, welche Gene an- und ausgeschaltet werden. Um die Mechanismen zu studieren, fügt Carell neue Aminosäuren in diese Histone ein,



um die sich der DNA-Strang zu dicht gepackten Strukturen wickelt. Solche Veränderungen prägen, wenn man so will, einen zweiten genetischen Code.

In einer Arbeit, die erst vor Kurzem im renommierten Fachblatt *Cell* veröffentlicht wurde, konnte Carell zusammen mit Heinrich Leonhardt, Professor für Molekulare Humanbiologie, und Kollegen aus den Niederlanden zeigen, mit welchen Proteinen methylierte und weiter modifizierte DNA-Sequenzen interagieren. Vor allem sind es solche Enzyme, die die ersten Schritte der Eiweißbiosynthese, die Transkription, regulieren, aber auch zahlreiche DNA-Reparaturproteine. „So scheinen die Mechanismen der DNA-Reparatur auch in der Epigenetik eine wichtige Rolle zu spielen“, folgert Carell.

Die LMU-Forscher nehmen an, dass die neuen modifizierten Basen vor allem für die Entwicklung embryonaler Stammzellen zu spe-

zialisierten adulten Zellen bedeutsam sind. Sie sorgen offenbar auch dafür, dass Gene zwischen aktiven und inaktiven Phasen wechseln. Überhaupt untersucht Carells Team im Verbund mit Leonhardts Gruppe die Embryonalentwicklung unter dem Blickwinkel der DNA-Modifikationen. Was passiert, nachdem Ei- und Samenzelle verschmolzen sind? Wie entsteht daraus ein Zellhaufen, die sogenannte Morula? Und wie läuft die Entwicklung zu den einzelnen Zelltypen? Erst seit Kurzem weiß man, dass dabei eben auch chemische Prozesse an den Nukleinsäuren eine Rolle spielen. „Das ist das Gebiet, bei dem wir vom Cluster bislang am meisten profitieren“, sagt Carell. Der Chemiker kooperiert hier vor allem mit Martin Biel, Professor für Pharmakologie, aber eben auch mit Leonhardt, der sich unter anderem auf bildgebende Verfahren spezialisiert hat. „Wir waren die Ersten, die hierzu Veröffentlichungen vorweisen konnten“, erzählt Carell. Doch dann „sind wir gnadenlos an die Wand gedrückt worden“, diesmal nicht von der Konkurrenz aus den USA, sondern aus Fernost: „Die Chinesen“, die in diesen Forschungszweig viel Energie und Geld stecken, „haben aggressiv publiziert“.

Carell zieht aus solchen Vorfällen vor allem eine Lehre: Innovative Wissenschaft gedeiht am besten im Verbund. CiPSM vereint auf dem für die Lebenswissenschaften zentralen Feld der Proteinforschung – über die verschiedenen Disziplinen und Einrichtungen hinweg – die Expertise, die am Forschungsstandort breit vertreten ist. Für den LMU-Chemiker ist das ein Zukunftsmodell. Carell ist sogar überzeugt: „Die deutsche Forschung kommt nur mit Exzellenzclustern weiter.“ ■

Center for integrated Protein Science Munich

CiPSM gilt heute als führend in der Proteinforschung in Deutschland. Ziel des Exzellenzclusters, der bereits 2006 eingerichtet wurde, ist es, ein ebenso detailliertes wie umfassendes Bild von Proteinen zu liefern – als isolierte, zelluläre und molekular vernetzte Substanzen. Lag der Schwerpunkt bislang vor allem auf der Erforschung der molekularen Eigenschaften von Eiweißen, wird es nun stärker um zelluläre Funktionen und die chemische Funktionalisierung von Proteinen für Therapie und Diagnostik gehen. Beteiligt sind die Technische Universität München, die Max-Planck-Institute für Biochemie und Neurobiologie sowie das Helmholtz Zentrum München.



Ein Siebtel Schwund: Barbara Conrads zeichnet an einem Fadenwurm nach, wie der Organismus Zellen gezielt in den Tod schiekt.



Wie stark sind die Wechselwirkungen zwischen Proteinen? Nachwuchsforscher Henry Dube untersucht supramolekulare Aggregate.

Sterben nach Programm

Für Barbara Conrads ist der unscheinbare Fadenwurm *C. elegans* ein lohnendes Objekt. Der erwachsene Wurm hat genau 959 Zellen; während der Entwicklung aber werden 1090 gebildet, 131 Zellen sterben ab. In jedem Wurm findet man nicht nur die gleiche Zellzahl, sondern auch den identischen Aufbau. „Jede Zelle hat einen Namen, und wir wissen, wer die Mutter war, was die Funktion dieser Zelle ist und wann sie stirbt“, sagt die Professorin für Zell- und Entwicklungsbiologie. Eine ideale Ausgangsbasis also, wenn man wie Conrads analysieren will, welche Gene oder Proteine dafür sorgen, dass die Zellen zu einem bestimmten Zeitpunkt absterben. Eine Antwort hat Barbara Conrads bereits parat: Es sind zwischen 60 und 70 verschiedene Mechanismen, die zum Tod der 131 Zellen führen. Einige hat die Biologin bereits aufgedeckt. Und Prozesse, die den Zelltod regulieren, haben in den überlebenden Schwesterzellen auch noch eine andere Funktion. Sie spielen beispielsweise eine Rolle bei der asymmetrischen Zellteilung oder bei der Umwandlung zu Nervenzellen. In diesem Zusammenhang hat die LMU-Wissenschaftlerin das Gen *egl-1* gefunden, das eine Art Hauptschalter zu sein scheint. Wird *egl-1* in den Zellen hochreguliert, entsteht ein kleines Protein, das die ganze Zelltod-Maschinerie in Gang bringt. „Geht das Gen jedoch kaputt, dann überleben alle überschüssigen Wurmzellen“, berichtet Conrads. Der Ort, an dem das Gen im Erbgut sitzt, ist hochkomplex – eine Vielfalt von Regulationsmechanismen setzt hier an, was die präzise Abfolge der Zelltode steuert. „Wir hoffen, dass wir hier ein Modell für die Regulation der Apoptose gefunden haben“, sagt die LMU-Forscherin. ■

Lose Verbindungen

Was hält Proteine zusammen? Das will Henry Dube herausfinden, der mit seiner Nachwuchsgruppe zur supramolekularen Chemie arbeitet. Bei Wechselwirkungen zwischen Proteinen und anderen molekularen Einheiten handelt es sich um Anlagerungen, die leicht zu trennen sind, berichtet Dube, ganz im Gegensatz zu den starren Bindungen, die die einzelnen Aminosäuren in der Proteinkette geradezu zusammenschweißen. So besteht der Blutfarbstoff Hämoglobin aus vier Einheiten, die ein Agglomerat bilden. „Auch das kann man als supramolekular bezeichnen“, sagt der Chemiker. Solche lockeren Verbindungen zwischen Molekülen sind die Grundlage für alle komplexen biologischen Funktionen. „Wir versuchen zu verstehen, wie und wann diese Wechselwirkungen zustande kommen und wie stark sie wirklich sind“, erläutert Dube. Dieses Wissen nutzt er, um nach dem Vorbild der Natur künstliche Moleküle aufzubauen, die bestimmte Funktionen haben. Dube nennt das „Architektur auf Nano-Level“. Seine Spezialität sind sogenannte Gast-Wirt-Systeme, bei denen sich Moleküle in eine Art Kapsel, die einer Protein-Tasche nachempfunden ist, hineinpacken lassen. Das so eingefangene Molekül verliert dabei beispielsweise seine Fähigkeit, Licht abzustrahlen. „Wir können dann über die Stärke der Fluoreszenz der Lösung sehen, ob das Molekül drinnen oder draußen ist“, sagt Dube. Der Nachwuchsforscher hat auch einen Photoschalter entwickelt. Wird dieser mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt, verändert er seine Form. Das langfristige Ziel sei, so Dube, solche Schalter auch in biologischen Systemen einzusetzen. ■



Karl-Peter Hopfner geht der Frage nach, wie die Zelle Brüche im Doppelstrang der DNA wieder kittet.



Widerstandsfähig gegen widrige Umgebungen: Wie Pflanzen molekular auf Stress wie Hitze oder Salz reagieren, erforscht Ute Vothknecht.

Klebebindung

Schon bei der normalen Zellteilung entstehen ständig Brüche im Erbgut. Karl-Peter Hopfner beschäftigt sich mit einer besonderen Form dieser Schäden, den Doppelstrangbrüchen. „Wir wollen wissen, wie die Zelle sie repariert“, erklärt der Professor für Biochemie am Genzentrum der LMU. Viele Krebsarten entstehen nämlich gerade dann, wenn zu viele dieser Schäden nicht mehr repariert werden können oder die DNA fehlerhaft ausgebessert wird. Hopfner untersucht vor allem einen Enzymkomplex mit dem Namen „Mre11-Rad50-Nbs1“. Der Proteinkomplex bindet als erster Helfer an den auseinandergerissenen Enden der DNA. Ähnlich einem Tintenfisch hat es langkettige Ausläufer, die die voneinander entfernten Bruchstücke wieder zusammenkleben. Dabei ist das Enzym zum Multitasking fähig: Es verwandelt auch die zerstörten Enden gleich so, dass sie für weitere Reparaturprozesse zugänglich sind. Zudem alarmiert das Enzym durch seine Aktivitäten die Zelle, dass das Erbgut geschädigt ist und sie sich nicht teilen soll. Mutationen in diesem Komplex führen beispielsweise zu der seltenen Krankheit Ataxia teleangiectatica like disease und dem Nijmegen Bruchsyndrom, bei denen die Patienten an neurologischen Defekten und einem stark erhöhten Krebsrisiko leiden. „Wir haben herausgefunden, wie Teile dieses Komplexes arbeiten“, sagt Hopfner. Man kann aber den Komplex nicht zuletzt wegen seiner flexiblen Fortsätze bislang nicht als Ganzes untersuchen. „Mit unseren üblichen Methoden kommen wir dabei nicht ans Ziel.“ Doch arbeiten die CiPSM-Forscher daran, mit sogenannten Hybridmethoden die Struktur des Komplexes gleichsam zusammenzupuzzeln. ■

Stabil gegen Stress

Wie passen sich Kulturpflanzen an den Klimawandel an? Wenn die Temperaturen steigen, müssen sich Pflanzen an größeren Hitze- und Salzstress gewöhnen. „Wir wollen verstehen, mithilfe welcher Regelkreise sie das tun“, erklärt Ute Vothknecht. So untersucht die Professorin für Molekulare Zellarchitektur und Transport die Evolution der Chloroplasten, der Zellorganellen, in denen die Photosynthese abläuft. Wie hat sich die sogenannte Thylakoid-Membran entwickelt und wie wird sie aufgebaut? Eine wichtige Rolle spielt hier das sogenannte Vipp1-Protein. Es lagert sich an Membranen in den Chloroplasten an und fungiert dort vermutlich als Stabilisator in Stresssituationen. Der Mechanismus ist noch nicht vollständig bekannt. „Wir haben aufgedeckt, dass die hochmolekulare Komplex-Struktur von Vipp1 essenziell ist für seine Funktion.“ Wenn es zerstört ist, verliert die Membran ihre Eigenschaften. In Zukunft will Vothknecht noch besser verstehen, wie genau der Protein-Komplex aufgebaut ist, wie er einen Kontakt zur Membran herstellt und wie er sie vor Stress schützen kann. Und wie haben sich Pflanzen an widrige Umgebungen angepasst? Vothknecht untersucht Signale in den Zellen, die etwa abiotischen Stress anzeigen. Calcium fungiert hier häufig als Botenstoff: Wenn sich die Calcium-Konzentration in der Pflanzenzelle erhöht, reagieren Sensoren wie das Protein Calmodulin. Das wiederum verändert die Aktivität verschiedenster weiterer Proteine. Auch die Chloroplasten und Mitochondrien sind in diese Signalkette eingebunden, hat Vothknecht mit ihrer Gruppe herausgefunden und möchte noch besser verstehen, wie dies auf molekularer Ebene funktioniert. ■



„Fotoapparat“ für Elektronen: Ferenc Krausz an einer Attosekunden-Experimentierkammer. Foto: Jan Greune



Am Puls des Lichts

Reise in das Innere der Zeit: Am **Munich-Centre for Advanced Photonics** beobachten Forscher mit ultrakurzen Laserblitzen die **Bewegung** atomarer Bausteine – und entwickeln praxisrelevante Anwendungen dieser Attosekundenphysik.

Von Alexander Stirn

Wenn Ferenc Krausz das Licht anmacht, ist es auch schon wieder aus: Nur wenige Milliardstel einer Milliardstelsekunde dauern die Lichtblitze, die der Physiker und seine Mitarbeiter in ihren Laboren auf dem Forschungscampus Garching erzeugen. Die Blitze gehören damit zu den kürzesten der Welt, sogar das *Guinness-Buch der Rekorde* hat das bestätigt. Die Urkunde hängt, ungerahmt und unscheinbar, an einer Magnettafel in Krausz' Büro.

Aber an Rekorden ist Ferenc Krausz, Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik an der LMU und Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in Garching, ohnehin nicht interessiert. „Unsere ultrakurzen Lichtpulse sind nicht das Ziel, sondern ein Mittel zum Zweck“, sagt der gebürtige Ungar. „Und sie gewinnen immer mehr Bedeutung für wirklich praxisrelevante Anwendungen.“

Was sich mit den extrem kurzen, extrem energiereichen Blitzen im Detail anstellen lässt, wollen die LMU-Forscher nun im Rahmen des Exzellenzclusters *Munich-Centre for Advanced Photonics (MAP)* untersuchen, dessen Sprecher Ferenc Krausz ist. Gemeinsam mit Wissenschaftlern des MPQ, der Technischen Universität München und weiteren Kooperationspartnern soll ergründet werden, wie sich mit den kurzen Pulsen – ähnlich wie mit einer Hochgeschwindigkeitskamera – die Bewegung von Elektronen in Atomen, Molekülen und Festkörpern aufzeichnen lässt.

Die Forscher wollen die Blitz-Technik jedoch auch dazu nutzen, um neuartige Strahlungsquellen für die medizinische Diagnostik sowie Teilchenstrahlen für die lokale Krebstherapie zu entwickeln. „Gerade im biomedizinischen Bereich gibt es großes Potenzial für diese neuen lasergenerierten Strahlen“, sagt Franz Pfeiffer, Lehrstuhlinhaber für Biomedizinische Physik an der TU München.

Im Mittelpunkt steht dabei stets der Laser – allerdings kein Gerät, das im Büroladen um die Ecke zu haben ist: Während herkömmliche Laserpointer darauf ausgelegt sind, eine perfekte Welle über einen langen Zeitraum zu erzeugen, schlagen die Garchinger Physiker genau die andere Richtung ein. Ihr Laser soll möglichst viel Energie in einen möglichst kurzen Puls packen.

Sogenannte Femtosekundenlaser, deren Pulse einige Millionstel einer Milliardstelsekunde dauern, machen das seit mehreren Jahrzehnten vor. Sie sind inzwischen sogar kommerziell erhältlich, einer von ihnen steht bei Krausz im Labor und ist Basis für die ultrakurzen Experimente. Sein rotes Licht besteht dabei aus elektromagnetischen Wellen, deren Auf und Ab gut zwei Femtosekunden dauert. Gebündelt werden diese Wellen zu Pulsen mit einer Länge von etwa 20 bis 30 Femtosekunden. „Für unsere Anforderungen ist das allerdings viel zu viel“, sagt Krausz.

Die Physiker erzeugen mit diesem äußerst reinen Laserlicht daher zunächst viele neue Farben – vom leichten Infrarot bis hin zum Ultravioletten. Anschließend separieren und addieren die Forscher die verschiedenen Wellenlängen wieder, wobei sie darauf achten,

dass die Wellenberge aller Farben zu einem vorgegebenen Zeitpunkt zusammenfallen. An dieser Stelle summieren sich sämtliche Wellenkämme. Kurz davor und danach geraten die unterschiedlichen Wellenlängen dagegen aus dem Takt: Berge treffen auf Täler und heben sich gegenseitig auf. Übrig bleibt ein intensiver Puls, der kaum länger ist als die grundlegende Schwingungsperiode des roten Lichts – also gut zwei Femtosekunden.

„Mit solchen Lichtblitzen kann man fast alle Vorgänge in der mikroskopischen Welt fotografieren“, sagt Krausz. Mit einer wichtigen Ausnahme: Die Bewegung von Elektronen ist noch einmal hundert- bis tausendmal schneller. Ein Schnappschuss mit einem Femtosekundenpuls würde daher nur ein verschwommenes Bild ergeben – als versuchte man, einen vorbeifliegenden Kampfjet mit einer Belichtungszeit von mehreren Sekunden im Bild festzuhalten.

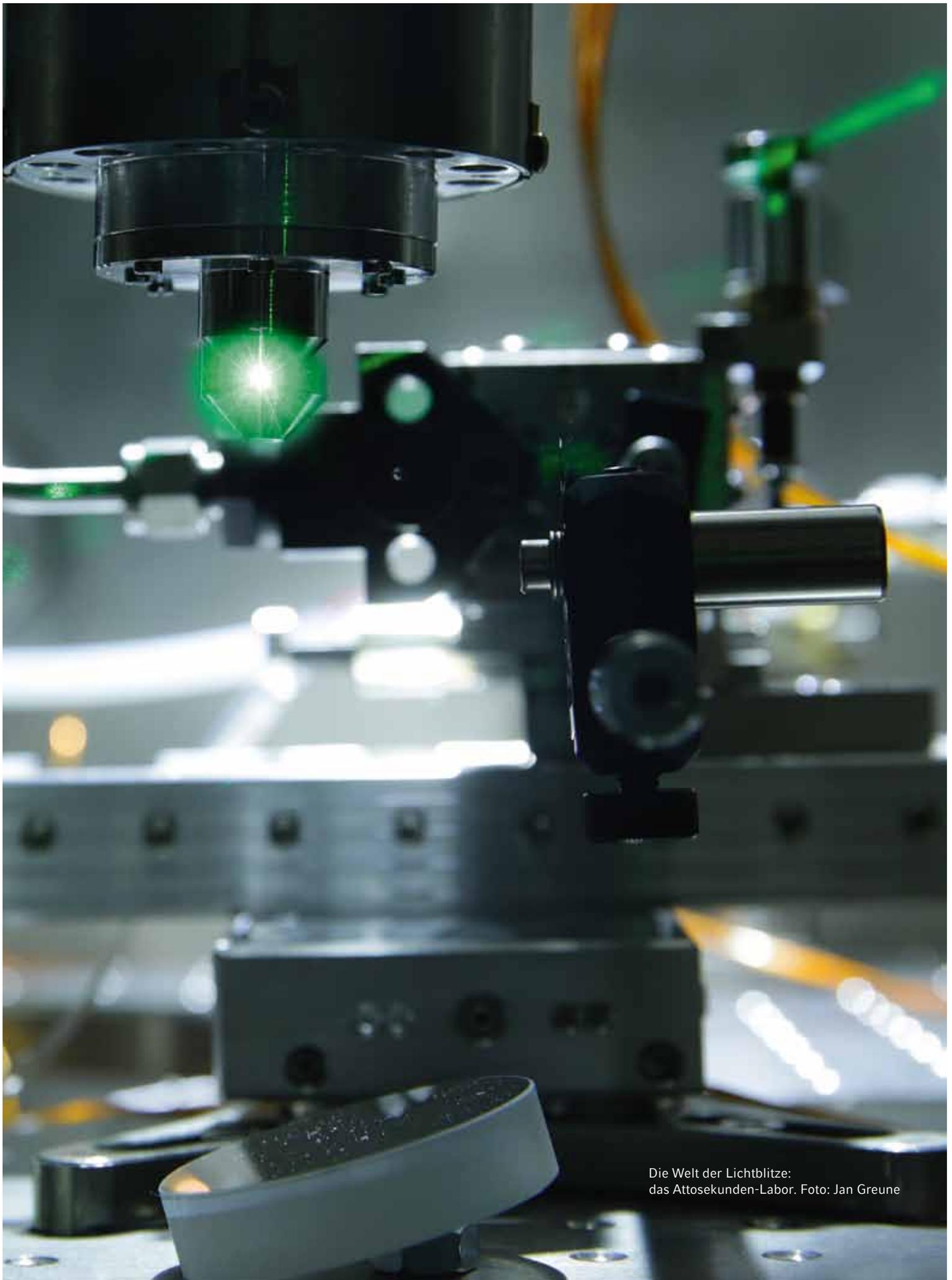
Krausz und sein Team greifen daher zu einem Trick: Sie nehmen ihren Femtosekundenpuls und fokussieren ihn auf ein dünnes Rohr, das mit einem atomaren Gas gefüllt ist. Im Brennpunkt wird das elektrische Feld des Lichtes so stark, dass es einzelne Elektronen aus den Atomen herausreißen kann. Da die Lichtwelle hin und her schwingt, werden die Elektronen allerdings kurze Zeit später wieder in Richtung der Atomkerne gedrückt. Sie können erneut in den gebundenen Zustand übergehen und dabei schlagartig ihre gesamte Bewegungsenergie in Form eines hochenergetischen Lichtteilchens abgeben. Ein extrem kurzer Blitz entsteht, dessen Wellenlänge in der Regel im extremen Ultravioletten liegt.

Im Jahr 2001, bei den ersten Experimenten in Garching, hatte dieser Lichtpuls noch eine Länge von 0,65 Femtosekunden – oder 650 Attosekunden. „Das war damals die Geburt des neuen Feldes der Attosekundenphysik“, erinnert sich Ferenc Krausz. Inzwischen konnten die Forscher die Pulslänge auf 80 Attosekunden schrumpfen – kurz genug, um nun auch die Bewegung von Elektronen in einem Atom oder Molekül festzuhalten.

Bei solchen Aufnahmen belassen es die Physiker allerdings nicht bei einem einzigen Schnappschuss. Sie legen vielmehr eine Reihe

Munich-Centre for Advanced Photonics

Mehr als 150 Wissenschaftler aus Physik, Chemie, Biologie und Medizin haben sich im Exzellenzcluster „Munich-Centre for Advanced Photonics“ zusammengeschlossen, der von der LMU und der Technischen Universität München in enger Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik getragen wird. Weitere Partner sind die Universität der Bundeswehr, das Helmholtz Zentrum München, die Siemens AG, die TRUMPF Laser GmbH + Co. KG und das Kompetenznetzwerk bayern photonics e.V. In den drei grundlegenden Forschungsgebieten des Clusters wollen die Wissenschaftler neuartige Ultrakurzpuls-Laserquellen entwerfen, sie zur Untersuchung und Kontrolle von Elektronen in Materie einsetzen sowie neue Verfahren zur biomedizinischen Bildgebung und Strahlentherapie entwickeln.



Die Welt der Lichtblitze:
das Attosekunden-Labor. Foto: Jan Greune



Modulation von Lichtwellen: Physiker im Attosekundenlabor (links). Mitarbeiterin an der Vakuumkammer (rechts). Fotos: Jan Greune

von Bildern, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten entstanden sind, wie in einem Daumenkino hintereinander. Dadurch lassen sich die Abläufe dieser schnellsten aller Bewegungen im Mikrokosmos außerhalb eines Atomkerns sichtbar machen.

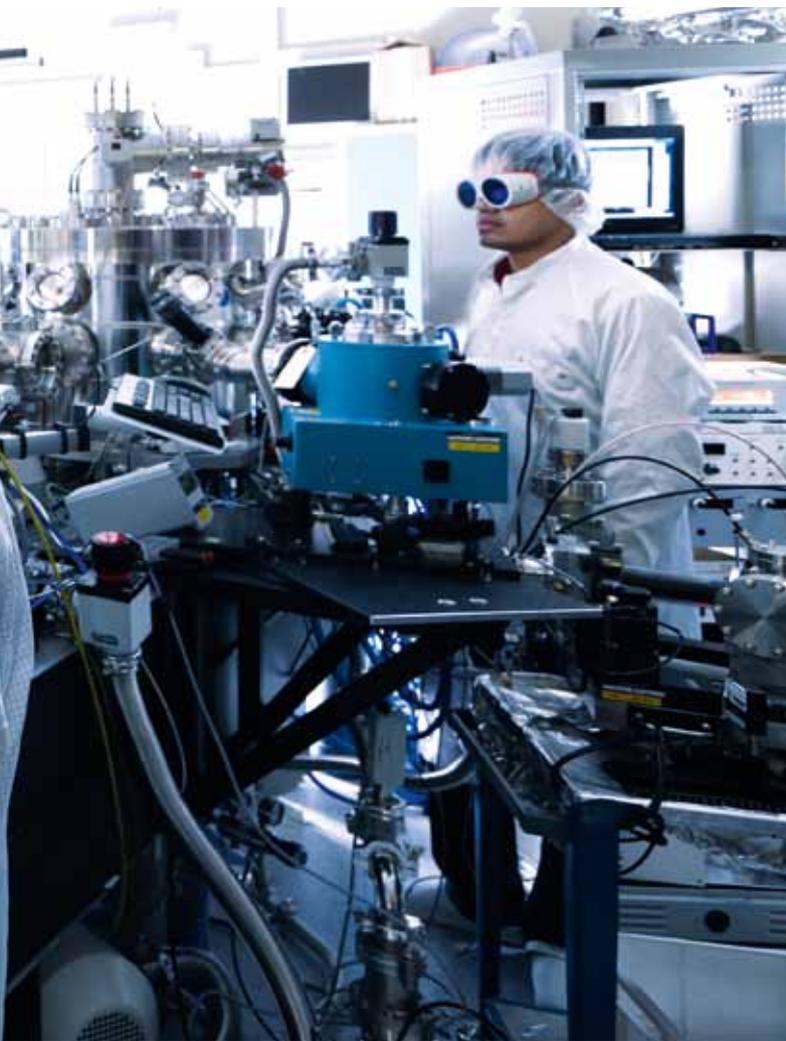
„Leider sind solche Schnappschüsse nicht mit den Bildern zu vergleichen, die wir aus der makroskopischen Welt kennen“, sagt Krausz. Statt einer direkten Aufnahme erhalten die Forscher mit ihren Lichtblitzen lediglich Hinweise auf die Vorgänge in den Atomen: Sie können zum Beispiel die Energieverteilung der Lichtteilchen aufzeichnen, die beim Fotografieren durch die Probe hindurchgegangen sind. Auch die Energie der Elektronen, die vom Attosekundenblitz freigeschlagen wurden, lässt sich messen. Beides hilft den Physikern, mithilfe theoretischer Modelle Rückschlüsse auf den Zustand des Elektronensystems zum Zeitpunkt der Aufnahme zu ziehen. Das funktioniert gut bei einfachen Atomen und Molekülen, nicht allerdings bei komplexen biologischen Systemen: Wollen die Forscher beispielsweise untersuchen, was in einem Biomolekül vor sich geht, das von einem ultravioletten, möglicherweise krebserregenden Sonnenstrahl getroffen wird, stoßen sie an die Grenze der Rechenmodelle.

Krausz und sein Team arbeiten daher daran, die Wellenlänge ihrer Attosekundenpulse nochmals deutlich kleiner zu machen – so klein, dass sie in derselben Größenordnung liegt, wie die zu untersu-

chenden Strukturen. Dann wäre es möglich, durch die Beugung eines solchen Röntgenblitzes beim Durchgang durch die Materie eine direkte Aufnahme der bewegten Elektronen zu erstellen. Dazu muss die Intensität des Femtosekundenlasers, der die extrem kurzen Lichtblitze erzeugt, allerdings immens gesteigert werden – um den Faktor zehn bis hundert.

Davon würde auch die Biomedizin, das zweite wichtige Standbein des MAP-Clusters, profitieren. „Bei solchen Intensitäten passieren spektakuläre Dinge, sobald der Laserstrahl mit Materie in Kontakt kommt“, sagt Ferenc Krausz. Trifft er beispielsweise auf einen Gasstrahl, kann der Puls die Atome in negativ geladene Elektronen und positiv geladene Ionen zerlegen. Wie eine Bugwelle trennt der Laser dabei die unterschiedlichen Ladungen, es entsteht ein immens starkes elektrisches Feld, das seinerseits Elektronen auf ein Tempo nahe der Lichtgeschwindigkeit beschleunigen kann, wie unter anderem die Arbeiten des LMU-Physikers Stefan Karsch gezeigt haben.

Rasen die geladenen Teilchen anschließend durch ein Magnetfeld, dessen Richtung sich periodisch ändert, werden sie seitlich hin und her geschleudert. Dabei entsteht brillante Röntgenstrahlung. Der stark eingegrenzte Strahl kann – sofern er kurzweilig genug ist – unter anderem zur Frühdiagnose von Krebs eingesetzt werden. Das haben Mediziner um den Radiologen Maximilian Reiser



(LMU) und Physiker um Franz Pfeiffer mit ihren Pionierarbeiten mittels Synchrotronstrahlung belegt.

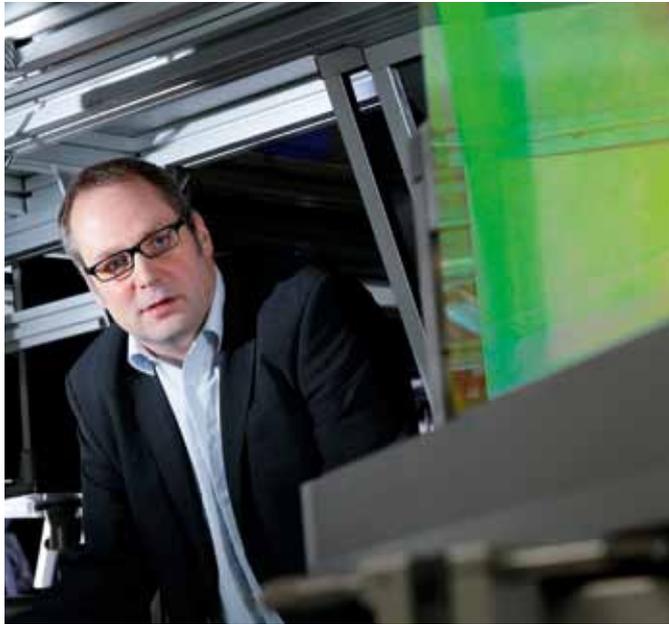
Trifft der Laserpuls dagegen auf eine dünne Kohlenstoffolie, kann er die darin gebundenen Elektronen fast vollständig aus dem Material herausdrängen. Zurück bleiben positiv geladene Ionen. Zwischen den gegensätzlichen Teilchen baut sich ein derart starkes elektrisches Feld auf, dass Ionen aus der Folie herausgerissen werden können. Ein Ionenpuls entsteht, der bereits mit einem einzigen Schuss Krebszellen abtöten kann, wie LMU-Forscher Jörg Schreiber gemeinsam mit Strahlenbiologen um Michael Molls von der TU München zeigen konnte.

Im Grunde ist beides seit Längerem möglich, aber nur mit immensen Aufwand: Brillante Röntgenstrahlung für die Diagnostik lässt sich zum Beispiel mit einem Synchrotron erzeugen, einem Ringbeschleuniger, der den Platz und das Budget jedes Krankenhauses sprengen würde. „So ein Synchrotron kostet fast eine Milliarde Euro, das ist klinisch nicht einsetzbar“, sagt TU-Forscher Pfeiffer. Behandlungszentren für die Strahlentherapie sind ihrerseits noch äußerst selten – vor allem weil die Beschleunigertechnik, mit der die Ionen derzeit erzeugt werden müssen, enorm teuer ist. So kostete allein der Bau des neuen Heidelberger Ionenstrahl-Therapie-zentrums, das im Oktober offiziell in Betrieb genommen wurde, rund 120 Millionen Euro. „Wir hoffen, dass wir mithilfe der Kurz-

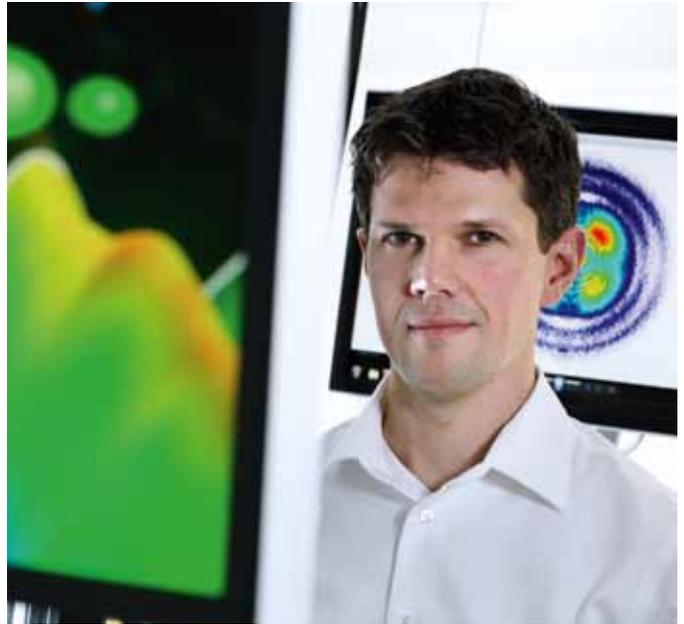
puls-Lasertechnologie Zentren für die Frühdiagnose und die Therapie realisieren können, die lediglich 30 bis 40 Millionen Euro kosten werden“, sagt MAP-Sprecher Ferenc Krausz. „Dadurch könnten viel mehr Patienten von den neuen Behandlungsmöglichkeiten profitieren.“

Erster Schritt in diese Richtung soll CALA sein, das „Centre for Advanced Laser Applications“, das von 2013 an im Norden des Garching Campus entstehen soll. Herzstück des neuen Zentrums für biomedizinische Anwendungen wird ein Laser mit einer Leistung von bis zu drei Billionen Watt sein – mehr als alle Atomkraftwerke auf der Erde zusammen, jedoch nur in einem extrem kurzen Zeitraum.

„Im ersten Jahrzehnt der Attosekundenphysik haben wir uns darauf konzentriert, unsere neuen Methoden zu entwickeln und zu überprüfen“, sagt Krausz. Jetzt gehe es darum, das Potenzial der Attosekunden-Messtechnik sowie der zugrunde liegenden Lasertechnologie auszuschöpfen. Das Munich-Centre for Advanced Photonics soll dabei eine entscheidende Rolle spielen. „Das ist einer der ganz großen Vorteile eines Forschungsstandortes wie München“, sagt Krausz. „Nur ein solches Umfeld und der Cluster können alle notwendigen Expertisen sowie die notwendige Koordination sicherstellen, damit wir unsere langfristigen und ehrgeizigen Forschungsziele verfolgen können.“ ■



Stefan Karsch beschleunigt Elektronen mithilfe von Hochleistungslasern. Fotos: Jan Greune (2), LMU



Die Form der Lichtfelder kontrollieren: Matthias Kling arbeitet an der Datenübertragung mit Elektronenwellen.

Kompakt und brillant

Wer Elektronen auf Trab bringen will, muss bislang immensen Aufwand betreiben: Große Ringbeschleuniger sind nötig, um mit den geladenen Teilchen ein Tempo nahe der Lichtgeschwindigkeit zu erreichen. Es geht aber auch anders – mithilfe von Hochleistungslasern. „Damit können wir Beschleuniger bauen, die um den Faktor tausend kürzer sind als konventionelle Geräte“, sagt Stefan Karsch, Professor an der Fakultät für Physik der LMU.

Der Trick: Wenn Karsch seinen Laser auf ein Gas richtet, ionisiert das intensive Licht die Moleküle. Wie eine Bugwelle schiebt der Strahl die freigesetzten Elektronen vor sich her. Zwischen den negativ geladenen Teilchen und den zurückgebliebenen positiven Ionenrümpfen entsteht eine starke Plasmawelle, deren elektrisches Feld andere Elektronen beschleunigen kann.

Die Methode hat noch einen weiteren Vorteil: Fallen Elektronen ins Kielwasser dieser lasergetriebenen Welle, werden sie dort wie auf hoher See hin und her geworfen. Durch die abwechselnde Beschleunigung in verschiedene Richtungen entsteht Strahlung, genauer gesagt, äußerst brillante, stark gebündelte und extrem kurz gepulste Röntgenstrahlung. Im Labor konnten die Physiker ihren neuartigen Röntgenstrahl bereits dazu nutzen, um ein Insekt aus verschiedenen Winkeln zu durchleuchten. „Erstmals ist es uns damit gelungen, mit lasergetriebenen Röntgenquellen eine hochauflösende 3-D-Rekonstruktion eines biologischen Objekts zu erstellen“, sagt Karsch. Solche oder ähnliche kompakte und brillante Quellen sollen in Zukunft medizinische Diagnostik mit deutlich höherer Auflösung als bisher ermöglichen. ■

Die perfekte Welle

Auf langen Strecken – zum Beispiel zwischen den USA und Europa – sind Daten mit größtmöglichem Tempo unterwegs: mit Lichtgeschwindigkeit. Sobald die Informationen aber einen Computer erreichen, wird es zäh. Elektronen übernehmen den Datentransport, kämpfen sich durch Leiterbahnen, kollidieren mit anderen Teilchen, werden abgelenkt und verlangsamt.

Matthias Kling, Leiter der Forschungsgruppe „Attosecond Imaging“ am MPI für Quantenoptik und LMU-Professor, will diesen Flaschenhals umgehen. Seine Idee: Statt mit einzelnen Elektronen sollen die Daten mit sogenannten Elektronenwellen übertragen werden – ausgelöst durch Laserblitze. Das funktioniert ähnlich wie auf hoher See. Auch dort werden Wasserteilchen nicht von A nach B transportiert, sie bewegen sich lediglich auf und ab. Eine Welle entsteht, die sich schnell ausbreiten kann. „Wenn wir solch eine Störung in der Elektronendichte eines Metalls hervorrufen, können wir Informationen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit übertragen“, sagt Kling. Einer der Schwerpunkte im Rahmen von MAP liegt daher auf der Form der Lichtwelle, mit der solch eine Elektronenstörung ausgelöst werden soll: Ein einfacher sinusförmiger Laserpuls ermöglicht wenig Kontrolle; mit ihm ist kein scharfes Ein- oder Ausschalten der Elektronenwelle möglich. MAP-Physiker arbeiten daran, die Form der Lichtfelder besser und direkter zu kontrollieren. Gelingen soll das dadurch, dass sie Licht aus vielen unterschiedlichen Wellenlängen überlagern, addieren und so beliebige Wellen formen. Kling: „Das ist ähnlich wie im akustischen Bereich beim Synthesizer, mit dessen vielen Knöpfen ganz besondere Klänge erzeugt werden können.“ ■



„Wir bekommen eine schnelle Rückmeldung, was im Tumor passiert“, sagt Katia Parodi über die neue Detektionsmethode.



„Keine verrückte Idee einiger Forscher“: Maximilian Reiser experimentiert mit lasergepulster Röntgenstrahlung.

Strahlen zeigen den Erfolg

Im Kampf gegen Tumore werden in der Strahlentherapie neben Photonen zunehmend auch geladene Teilchen, sogenannte Ionen, eingesetzt. Sie haben gegenüber Photonen deutliche physikalische Vorteile. Sie setzen den größten Teil ihrer Energie erst frei, wenn sie beinahe komplett abgebremst werden – also direkt in den erkrankten Regionen des Körpers.

Im Rahmen des Munich-Centre for Advanced Photonics arbeiten Physiker daher nicht nur daran, mit neuartigen Lasern Ionenstrahlung einfach und günstig zu produzieren, sie wollen auch deren Einsatz in der Krebstherapie vorantreiben – bis hin zu den ersten vorklinischen Versuchen. „Von großer Bedeutung ist dabei die Entwicklung zuverlässiger Detektoren“, sagt Katia Parodi, Inhaberin des neu geschaffenen Lehrstuhls für Medizinische Physik an der LMU.

Das Problem: Da Ionen im Tumor komplett abgebremst werden, lassen sie sich hinter dem Ziel nicht mehr nachweisen. Das erschwert die Erfolgskontrolle. Parodi setzt daher auf die Gammastrahlung, die von den angeregten Atomkernen in der Geschwulst unfreiwillig ausgesandt wird. Sie ist eigentlich ein Nebenprodukt, liefert jedoch einen guten Hinweis auf die im Gewebe deponierte Strahlendosis. Eine sogenannte Compton-Kamera, in der die Gammastrahlen zunächst gestreut und dann absorbiert werden, soll dabei die Wirkung der Ionentherapie dokumentieren. „Dadurch bekommen wir eine schnelle Rückmeldung, was im Tumor passiert, und können unseren Strahl falls nötig anpassen“, sagt Physikerin Parodi. ■

Nur eine kleine Dosis

Die bildgebenden Verfahren in der medizinischen Diagnostik haben sich enorm weiterentwickelt. Kaum Fortschritte gab es dagegen bei der grundlegenden Technik, die hinter Röntgenbildern und Computertomografien steckt: „Noch immer beruhen solche Abbildungen auf der Absorption von Photonen im Gewebe – und damit auf dem gleichen Prinzip, mit dem schon Wilhelm Conrad Röntgen die Hand seiner Frau durchleuchtet hat“, sagt Maximilian Reiser, Direktor des Instituts für Klinische Radiologie am Klinikum Großhadern.

Die MAP-Forscher wollen das ändern – indem sie ihre starken Laserpulse dazu benutzen, um Röntgenstrahlen zu erzeugen. Anders als herkömmliches Röntgenlicht, das sich aus vielen unterschiedlichen Frequenzen zusammensetzt, hat diese neue brillante Röntgenstrahlung nur noch eine Farbe. Die Mediziner können dadurch nicht nur messen, wie stark das Signal beim Durchleuchten des Körpers abgeschwächt wird, sondern auch wie sich die Wellen dabei verschieben. Dieses Phasenkontrastverfahren verspricht schärfere Bilder, vor allem von den Strukturen des Weichteilgewebes.

So konnten die Radiologen bereits zeigen, dass sich mit der neuen Methode Tumorgewebe aus der weiblichen Brust früher, genauer und mit geringerer Strahlendosis erkennen lässt als bei der heute üblichen Mammografie. Am Tiermodell sollen nun auch Gelenke, Erkrankungen der Lunge und Veränderungen von Gefäßwänden studiert werden. Mit dabei sind auch Industriepartner wie Siemens Healthcare. „Allein das zeigt“, sagt Reiser, „dass unsere Entwicklung keine verrückte Idee einiger Forscher ist, sondern dass sie ein Fenster zur klinischen Anwendung öffnet.“ ■



Auf der Spur der Nervenbahnen

Degeneration, Entzündung, Gefäßerkrankung: Im **Munich Cluster for Systems Neurology** untersuchen Forscher und Ärzte gemeinsam die gemeinsamen Aspekte neurologischer Leiden.

Von Hubert Filser

Aufzucht in gekachelten Kellerräumen:
Christian Haass und andere SyNergy-Forscher
nutzen Zebrafische als Krankheitsmodell.
Foto: Jan Greune



Der gekachelte Keller eines Institutsgebäudes in der Münchner Innenstadt beherbergt eine Fischzucht der besonderen Art: Zehntausende kleiner, nahezu durchsichtiger Zebrafische schwimmen in den kleinen Becken; viele von ihnen haben Krankheitsmerkmale und dienen den Forschern als Modell. Ein paar Kilometer weiter im Südwesten Münchens am Klinikum Großhadern beobachten Neurologen mit hochmodernen 3-Tesla-Kernspintomografen, wie feinste Äderchen im Gehirn ihrer Patienten nur schwach durchblutet sind. Und nur wenige Hundert Meter weiter wiederum analysieren Forscher mithilfe eines speziellen Mikroskops in einer lebenden Maus, wie bei ihr die Mitochondrien, die Kraftwerke der Zellen, auf künstlich erzeugten Stress reagieren.

Was hat das alles miteinander zu tun? Bislang wenig, könnte man sagen. Doch nun hat ein auf fünf Jahre angelegter großer Forschungsverbund die Arbeit aufgenommen, der aus Mitteln der Exzellenzinitiative gefördert wird. Er hat sich zum Ziel gesetzt, Grundlagenforschung wie die an den Zebrafischen und klinische Forschung etwa an Schlaganfallpatienten zu verzahnen und dabei eine ganze Palette von Disziplinen, von der Neurologie über Biochemie und Immunologie bis hin zur Systemanalyse, zusammenzubringen. Beteiligt sind neben der LMU die Technische Universität München, das Deutsche Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE) sowie die Max-Planck-Institute für Biochemie, Neurobiologie und Psychiatrie. Damit wollen die beteiligten Wissenschaftler und Ärzte sogar ein neues Feld eröffnen, die Systemneurologie. SyNergy, wie der neue Exzellenzcluster griffig heißt, soll München zu deren Zentrum in Europa machen.

Und dabei Grenzen einreißen: Nach traditioneller Einteilung gelten neurologische Erkrankungen meist als neurodegenerative, als entzündliche oder vaskuläre Leiden. „Sie wurden bislang eher kleinteilig untersucht und als jeweils eigene Einheiten begriffen“, sagt Martin Dichgans, der das Institut für Schlaganfall- und Demenzforschung am Klinikum Großhadern leitet. „Bislang habe ich vorwiegend als Alzheimer-Forscher gearbeitet und praktisch nie nach links oder rechts geschaut“, bestätigt auch Christian Haass, Professor für Stoffwechselbiochemie an der LMU und Sprecher des Clusters. Sein Co-Sprecher ist Thomas Misgeld, Professor für Biomolekulare Sensoren an der TU München. Haass sagt: „Ich wollte lange Zeit einfach nur meine Alzheimer-Projekte vorantreiben.“ „Doch irgendwann“, resümiert Haass, „stößt man an Grenzen. Ich habe immer ausgeblendet, dass ausnahmslos jeder Alzheimer-Patient im Gehirn auch eine Entzündung hat und zudem Durchblutungsstörungen im Gehirn.“ Er habe also zwei wichtige Merkmale der Demenz nicht berücksichtigt, weil sie nicht ins gängige Bild einer neurodegenerativen Erkrankung passten, bei der die Amyloid-Plaques, die giftigen Eiweißablagerungen in den Hirnzellen, eine Schlüsselrolle spielen.

So sei es auch Kollegen in anderen Laboren gegangen, die nur entzündliche Erkrankungen erforschen oder die molekularen Mechanismen des Schlaganfalls und lange nicht bemerkten, dass etwa nach einem Schlaganfall gehäuft Demenzen auftreten. Von dieser Beschränkung des Blicks höre man oft, wenn man in den einschlägigen Laboren in all den über die Stadt verstreuten Instituten nachfragt, berichtet Christian Haass. SyNergy soll genau das ändern und die teilweise sehr renommierten Forschergruppen zusammenbringen.

Der Cluster reagiert damit auch auf neueste Forschungsergebnisse, die zeigen, dass bei verschiedenen neurologischen Krankheiten wie Alzheimer, Parkinson, Multipler Sklerose (MS) oder der tückischen Amyotrophen Lateralsklerose (ALS) in Teilen durchaus sehr ähnliche Mechanismen eine wichtige Rolle spielen. Sie können an der Entstehung beteiligt sein, den Verlauf prägen oder die Erho-

»Überschneidungen bisher ausgeblendet«

lungsphase. „Wichtig ist doch, wie sich die einzelnen Faktoren gegenseitig beeinflussen und wie man eine Krankheit am besten behandeln kann“, sagt Haass. Multiple Sklerose ist beispielsweise eine entzündliche Erkrankung, aber in der Folge belasten sekundäre neurodegenerative Prozesse die MS-Patienten viel stärker. „Bisher haben wir die Gemeinsamkeiten, die Überschneidungen zwischen verschiedenen Gebieten ausgeschlossen.“

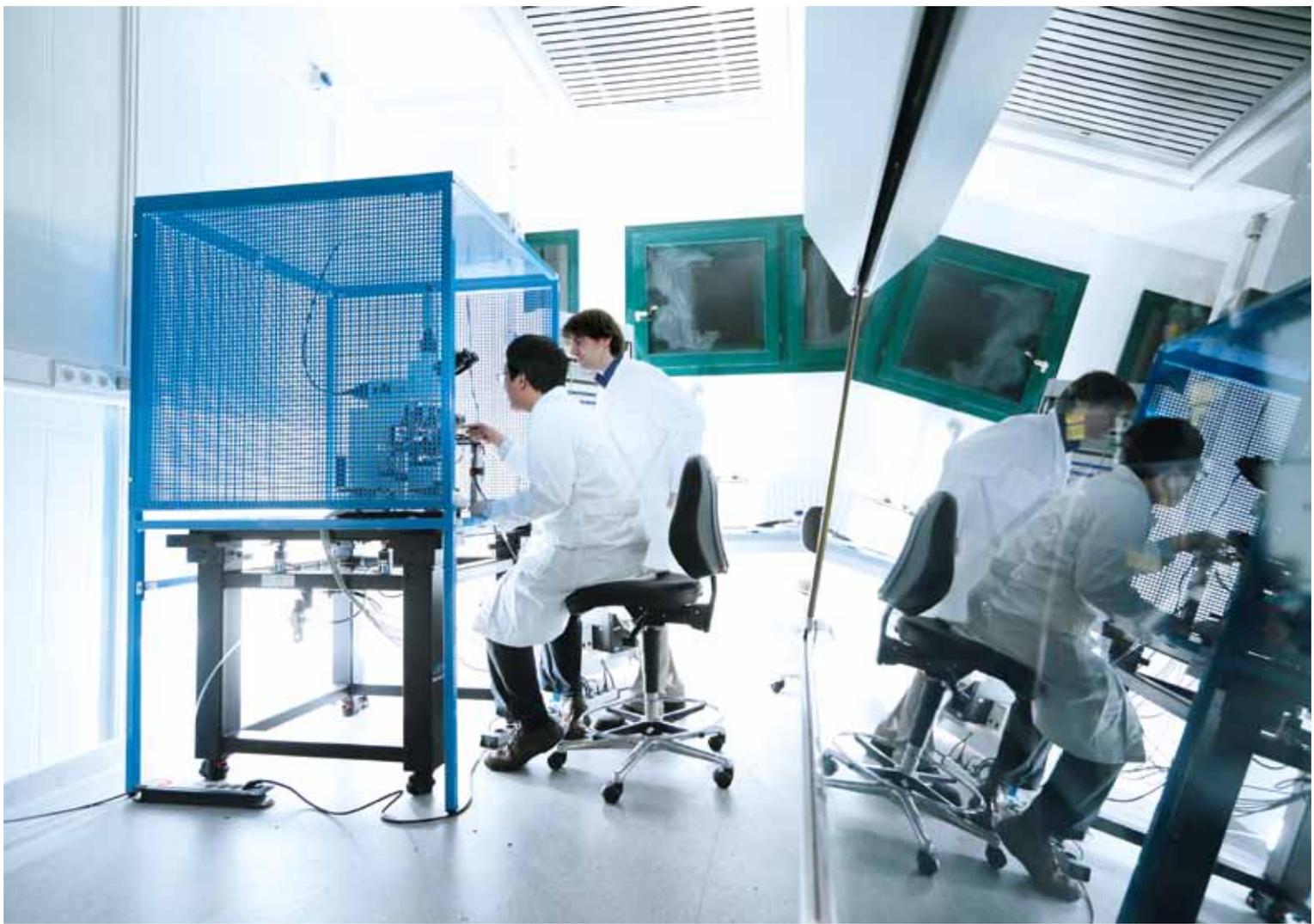
Auch beim Schlaganfall ist es nicht anders. So fördern beispielsweise die Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Diabetes, ein gestörter Fettstoffwechsel statistisch gesehen auch die Alzheimer-Demenz. „Wir lernen, dass diese Erkrankungen sich häufig parallel entwickeln“, sagt Martin Dichgans. Also liegt es nahe, sie auch parallel zu untersuchen. Dichgans erzählt von einem 80-Jährigen, der mit Gedächtnisstörungen in seine Schlaganfall-Ambulanz kam. Die Diagnose zeigte nicht nur neurodegenerative Veränderungen, sondern auch veränderte Mikrogefäße im Gehirn, die zu Durchblutungsstörungen im Kopf führten. „Beides zusammen trägt zum Demenzrisiko bei“, sagt Dichgans. Die Mechanismen wirken gleichgerichtet, sie verschlechtern die geistige Leistungsfähigkeit. Mal überwiegt der eine Anteil, mal der andere.

Die gemeinsamen Aspekte neurologischer Krankheiten wollen die Forscher ganz unterschiedlicher Fachrichtungen also gemeinsam herausarbeiten. Doch zusätzlich zu dieser Verknüpfung sozusagen auf horizontaler Ebene streben die SyNergy-Macher auch die Ver-



Vom Zierfisch zum Forschungsobjekt: Zebrafische sind leicht zu kultivieren und manipulieren, in frühen Entwicklungsstadien sind sie nahezu durchsichtig. Fotos: Jan Greune





Alzheimer, Parkinson, Multiple Sklerose oder ALS: SyNergy-Forscher untersuchen die in Teilen durchaus sehr ähnlichen Mechanismen solcher Krankheiten. Fotos: Jan Greune

bindung in der Vertikale an: Sie wollen die Grundlagenforschung und den klinischen Alltag miteinander verzahnen. Die Erkenntnisse aus den Labors sollen möglichst schnell zum Wohle der Patienten nutzbar sein. Und wie können umgekehrt Erfahrungen aus dem Patientenalltag auch in die experimentelle Arbeit einfließen?

Vor allem auf ein Konzept der Verknüpfung setzen die Forscher dabei: In sogenannten Tandemprojekten müssen sich Forscher aus jeweils unterschiedlichen Gebieten finden, der Fachmann für Neurodegeneration kooperiert also mit einem Experten für entzündliche oder einem für vaskuläre Prozesse. Nur dann fließt Geld aus dem SyNergy-Topf. „Das mag am Anfang ein bisschen gekünstelt wirken“, sagt Haass. „Aber so schaffen wir es, dass wir Leute zusammenbringen, die zwar an ähnlichen Phänomenen arbeiten, aber bislang nicht zueinandergefunden haben.“

Auf diese Weise ist zum Beispiel das große ALS-Projekt entstanden. Daran arbeiten vom Stammzellforscher bis zum Kliniker sechs verschiedene Gruppen mit. „Dass Durchblutungsstörungen bei ALS eine Rolle spielen könnten, hat bislang noch kein Kliniker vermutet“, sagt Haass. Auch hier kamen die ersten Hinweise von Experimenten an Zebrafischen. Bei ihnen hatten Christian Haass und Bettina Schmid, Forscherin im SyNergy-Cluster, massive Durchblutungsstörungen im Rückenmark und im Gehirn entdeckt, sobald

man in genetischen Laborversuchen ein bestimmtes ALS-Gen abschaltet.

Viele solcher Veränderungen und Fehlfunktionen lassen sich bei den kaum mehr als drei Zentimeter langen Zierfischen gut von außen beobachten, da diese in frühen Entwicklungsstadien nahezu durchsichtig sind. Nach einem gemeinsamen Vortrag im Rahmen der Graduate School of Systemic Neurosciences sei er mit Marianne Dieterich, Direktorin der Neurologischen Klinik in Großhadern, ins Gespräch gekommen, erzählt Haass. „In zehn Minuten war die

Munich Cluster for Systems Neurology

Der Munich Cluster for Systems Neurology, kurz SyNergy, wählt einen integrativen Ansatz, um das Zusammenspiel verschiedener Pathomechanismen bei der Entstehung neurologischer Erkrankungen zu entschlüsseln. Der Cluster, der im Rahmen der Exzellenzinitiative neu eingerichtet werden konnte, schafft dafür ein Netzwerk von Grundlagen- und Klinikforschern sowie Experten für Systemanalyse. Neben der LMU als Sprecherhochschule sind die Technische Universität München, das Deutsche Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE), das Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt sowie die drei Max-Planck-Institute für Biochemie, Neurobiologie und Psychiatrie beteiligt.

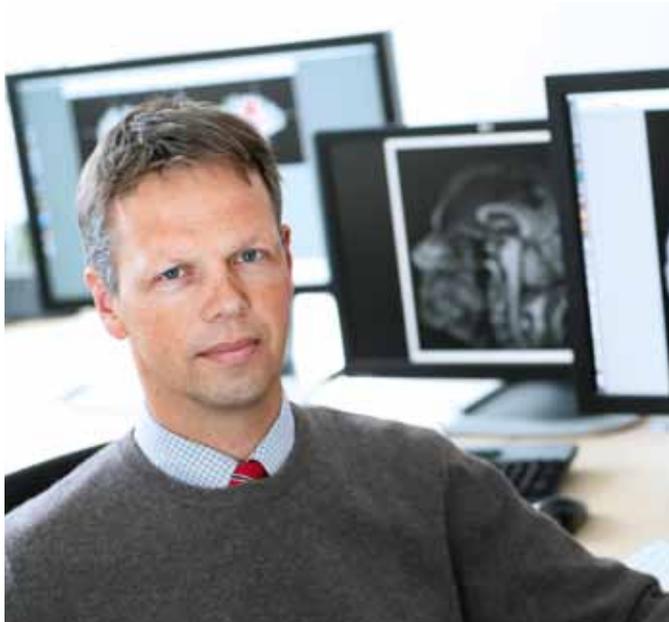


Idee für ein gemeinsames Tandemprojekt geboren.“ An dem ALS-Verband ist auch Dieter Edbauer beteiligt. Der Professor für Translationale Neurobiochemie am DZNE München wiederum möchte ein Zellkulturmodell für die Krankheit aufbauen. „Mit solchen Modellen kann man zum Beispiel ideal potenzielle Wirkstoffe auf ihre Einsatzfähigkeit testen“, sagt Haass. Die ALS-Forschung hat einen großen Aufschwung genommen, seitdem eine ganze Reihe weiterer Gene entdeckt wurde, die mit der Demenz in Zusammenhang stehen, meint Haass: „Wir haben die Möglichkeit, eine Krankheit von der Pike auf zu erforschen.“

Der Exzellenzcluster ermögliche es den Wissenschaftlern auch, völliges Neuland zu betreten, etwas, wofür in der deutschen Forschung sonst kaum Geld aufzutreiben ist. „Aber nur mit Risikofreude lassen sich auch große Durchbrüche erzielen“, sagt Haass. Martin Kerschensteiner, Professor am Institut für Klinische Neuroimmunologie, drückt es so aus: „High risk, high potential.“ Diese Risiko- und Diskussionsfreudigkeit wollen sich die Forscher erhalten. „Ideal wäre es, wenn sich die Forscher aus unterschiedlichen Disziplinen auch im Alltag mal zufällig treffen, auf dem Gang, beim Kaffeetrinken“ oder am Abend „auf ein Bier“, sagt Haass. „Da kommen spannende Ideen zustande.“ Man überlege sogar, dafür einen „SyNergy-Club“ zu gründen.

Gemeinsame Veranstaltungen von Grundlagenforschern und Klinikern, auf denen Ärzte zum Beispiel einen Patienten vorstellen und Wissenschaftler die neuesten Ergebnisse aus dem Labor präsentieren, gehören ebenfalls zum Konzept. „Oft berührt es einen Wissenschaftler, einen Patienten zu sehen“, sagt Kerschensteiner. „Dann weiß man wieder besser, warum man seine Arbeit macht und was man erreichen will.“ Es sei für einen Grundlagenforscher eben auch wichtig zu sehen, welche Therapiekonzepte aus Kultur und Tiermodellen es wirklich in die Klinik schaffen.

Letztlich ist es genau dieser Fokus auf den Patienten, der SyNergy von manch anderem Forschungsverbund unterscheidet. Um diese Ausrichtung zu stärken, bauen Neurologin Dieterich und Schlaganfall-Forscher Dichgans auch eine große, gemeinsame Patienten-Datenbank auf, in die alle SyNergy-Forscher jeweils ihre krankheitsspezifischen Erkenntnisse eintragen, klinische Daten, Blutparameter, genetische Untersuchungen, neuropsychologische Daten, Bildgebungsdaten. Dieser Pool ist die Basis für weitere Studien. Und die neue enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forschern und Klinikern bekommt nun auch ihre Entsprechung in Stahl, Glas und Beton: Von 2014 an sollen ein Gutteil der SyNergy-Forscher in einem Neubau untergebracht sein – in unmittelbarer Nähe zum Klinikum und anderen Instituten in Großhadern. ■



„Wir wollen unsere Erkenntnisse aus der Forschung möglichst schnell Patienten zugänglich machen“, sagt Martin Dichgans.



Hinweise aus der Forschung an Zebrafischen aufgenommen: Neurologin Marianne Dieterich. Fotos: Jan Greune

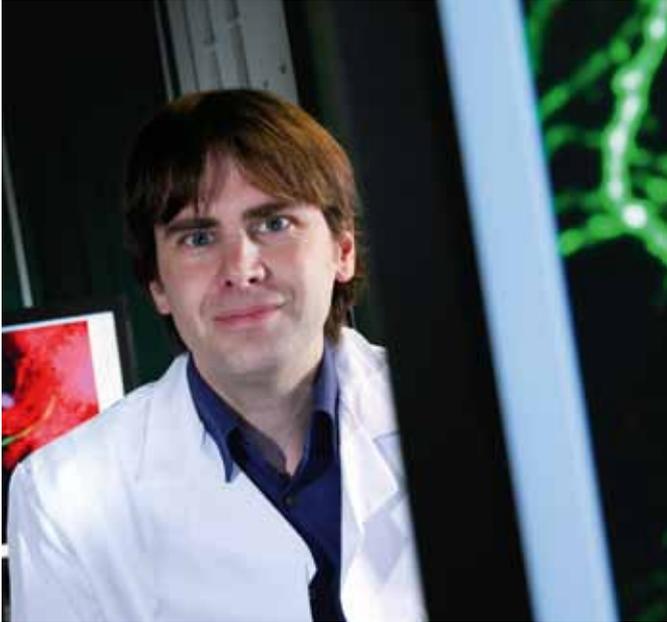
Doppelter Schlag

Von oben betrachtet haben die Zonen in Orange und Rot fast die Form zweier niedlicher Seepferdchen. Doch das Leuchten ist kein gutes Zeichen, der Patient hat deutliche Amyloid-Ablagerungen im Gehirn. Vor wenigen Wochen hat er einen Schlaganfall erlitten, gleichzeitig sind in den Gehirnschichten klare Anzeichen einer Alzheimer-Demenz zu sehen. Sie zeigen, dass der Patient ein hohes Risiko hat, eine Demenz zu entwickeln. Der Schlaganfall hat dieses Risiko noch einmal deutlich erhöht.

Die Forscher vom Institut für Schlaganfall- und Demenzforschung am Klinikum Großhadern verwenden einen spezifischen radioaktiven Marker, der die Blut-Hirn-Schranke überwindet und an β -Amyloid bindet. „Wir wollen wissen, welche Faktoren dazu beitragen, dass ein Patient dement wird“, sagt Direktor Martin Dichgans, „und wann es in Folge eines Schlaganfalls passiert.“ Der Patient ist der erste von 600 Schlaganfall-Patienten, die Dichgans und sein Team in einer Studie untersuchen. Der Mediziner koordiniert zudem einen zentralen Forschungsbereich von SyNergy. „Wir wollen die Interaktion von neurodegenerativen und vaskulären Erkrankungen im Mausmodell und am Patienten erforschen“, sagt Dichgans. Im Mausmodell kann man grundlegende Mechanismen experimentell überprüfen, etwa wie sich feinste Äderchen im Gehirn verändern. Zugleich wollen die Forscher analysieren, inwieweit sich Alzheimer und Schlaganfall gegenseitig beeinflussen und den Krankheitsverlauf verschlechtern. „Ich sehe meine Rolle an der Schnittstelle zwischen Klinik und Grundlagenforschung. Wir wollen die Erkenntnisse möglichst schnell Patienten zugänglich machen.“ ■

Zerstörte Strickleiter

Mit Fischen beschäftigen sich Neurologen eher selten. Doch als Marianne Dieterich die Aufnahmen der Zebrafische aus dem Labor von Christian Haass sah, fielen ihr sofort die Parallelen auf. Auch Menschen haben entlang dem Rückenmark eine Art Gefäßbaum. Nach jedem Wirbelkörper führen dabei von der zentralen Arterie Äste weg, um das Rückenmark mit Blut und Sauerstoff zu versorgen. „Bei den Zebrafischen verliefen die Rückenmarksarterien nicht mehr regelmäßig in Form einer Art Strickleiter“, sagt Marianne Dieterich, Leiterin der Neurologischen Klinik der LMU in Großhadern, „der Gefäßbaum war verkümmert, die Blutversorgung gestört.“ Es waren Fische, bei denen die Grundlagenforscher um Christian Haass ein Gen blockiert hatten, das im Zusammenhang mit der Amyotrophen Lateralsklerose (ALS) steht. Solche Durchblutungsstörungen kannte Dieterich bei ihren ALS-Patienten bislang nicht. Bei ALS verkümmern die Vorderhornzellen im Rückenmark, nach und nach gehen die Verbindungen zwischen Gehirn und Muskeln verloren. „Dass Gefäßveränderungen und ALS zusammenhängen, liegt klinisch betrachtet nicht unbedingt auf der Hand“, sagt Dieterich. Im Rahmen von SyNergy will Dieterich nun mithilfe von bildgebenden Verfahren beobachten, ob auch bei ihren Patienten im Hirn, im Hirnstamm und im Rückenmark Durchblutungsstörungen auftreten. „Sollten wir einen Zusammenhang feststellen können, wäre das medizinisch gesehen ein wichtiger Schritt“, sagt Dieterich. Die Mediziner wollen ihre Patienten klinisch und genetisch genau charakterisieren, und dann die Hypothese, die sich aus der Zebrafisch-Forschung ergibt, beim Menschen nachverfolgen. ■



Dieter Edbauer und sein ALS-Projekt: „Genauer lässt sich die Krankheit derzeit nicht modellieren“, hofft er.



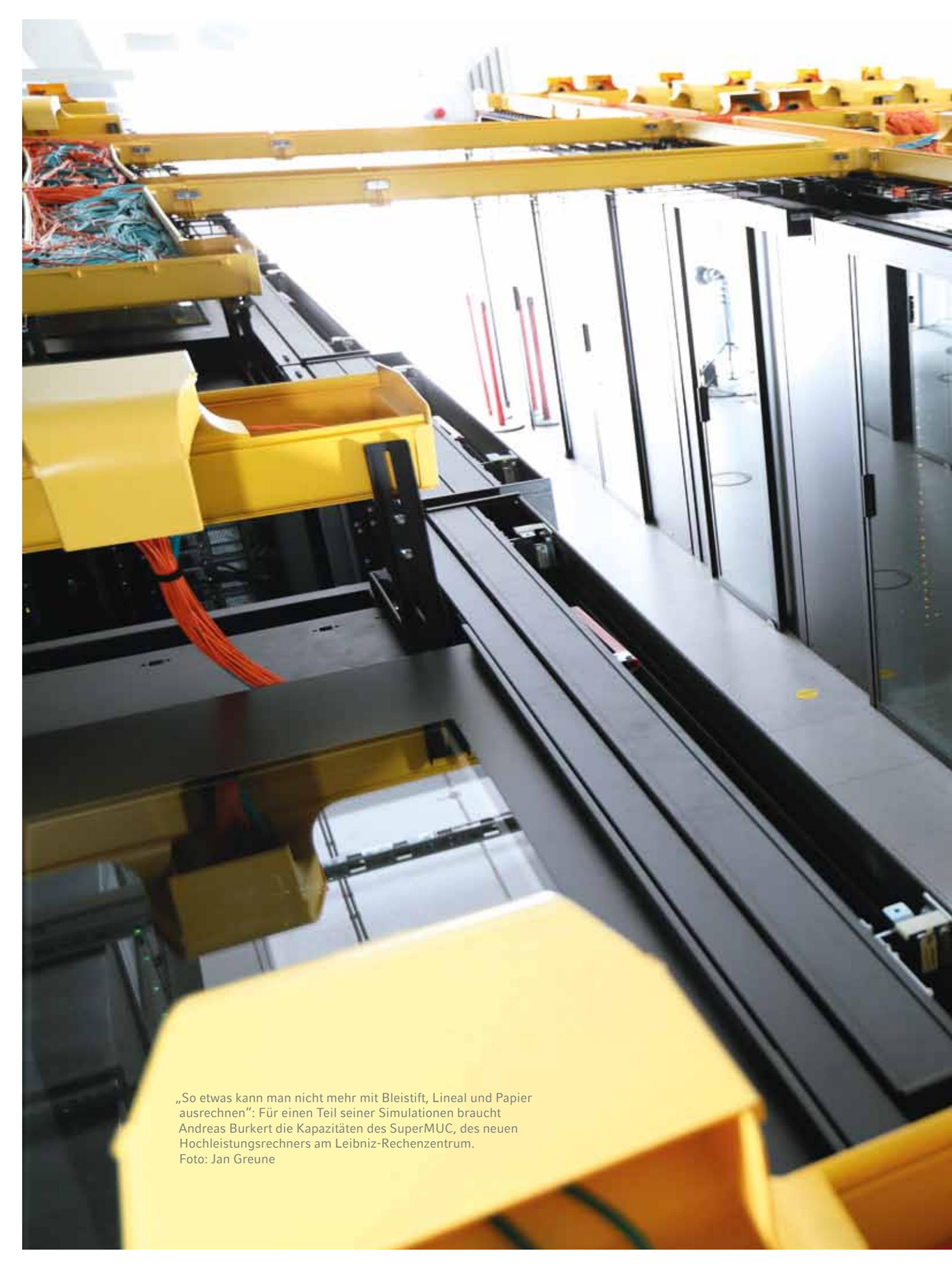
Untersucht den Untergang der zellulären Kraftwerke: Neuroimmunologe Martin Kerschensteiner.

Patient im Reagenzglas

Die Idee für sein Tandemprojekt kam Dieter Edbauer abends auf einer U-Bahn-Fahrt, als er nach einem Vortrag mit Thomas Kloppstock von der ALS-Ambulanz des Klinikums Großhadern zurück in die Innenstadt fuhr. Er würde gern die Zerfallsprozesse bei ALS an einem Modell beobachten, erzählte er dem Kollegen, dafür brauche er Hautzellen von Patienten mit ALS-Diagnose. So begann die Zusammenarbeit eines Grundlagenforschers und eines Klinikers. Die ALS-Ambulanz betreut derzeit rund 100 Patienten. Edbauer möchte von jedem winzige Muskel- und Hautproben nehmen, die Bindegewebszellen isolieren und gezielt zu Nervenzellen umprogrammieren. Mit den Muskelzellen bilden diese eine Art motorische Einheit. Zudem wollen die Forscher bei jedem Patienten bestimmen, welche für ALS relevanten Genvarianten er trägt. „Wir hätten dann eine Art Patient im Reagenzglas, genauer lässt sich die Krankheit derzeit nicht modellieren“, sagt Edbauer, Professor für Translationale Neurobiochemie an der LMU und Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen. Unter Laborbedingungen ließe sich über Wochen beobachten, wie der Signalweg zwischen Nerven- und Muskelzelle gestört ist, welche Faktoren dabei eine Rolle spielen, und in der Zukunft auch, ob Wirkstoffe den Zelltod aufhalten können. Edbauer: „Wir hoffen, so die letzten Tage im Leben einer Nervenzelle beobachten zu können.“ Der Neurologe begrüßt es, dass SyNergy Grundlagenforschung und Klinik vernetzt. „Klinische Forschung ist in Deutschland ein Stiefkind“, sagt Edbauer. „Arzt auf Station zu sein und gleichzeitig experimentell Forschung zu machen, ist nicht eben einfach.“ ■

Die Parkinson-Parallele

Mit einer speziellen Mikroskopiertechnik kann Martin Kerschensteiner Vorgänge im Inneren lebender Rückenmarkszellen beobachten. „Wir versuchen, am Modell Maus Krankheitsprozesse wie Multiple Sklerose darzustellen“, sagt der Professor am Institut für Klinische Neuroimmunologie. Daran lässt sich analysieren, wie Krankheitsmechanismen in der Zelle auf molekularer Ebene greifen. Womöglich nämlich sind bestimmte Abläufe bei entzündlichen Erkrankungen des Nervensystems wie MS denen bei degenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson ähnlich; erste Anzeichen dafür gibt es bereits. So hat Kerschensteiner gezeigt, dass bei Entzündungen im Rahmen der MS sehr früh die Mitochondrien untergehen, die Energie erzeugenden „Kraftwerke“ in den Nervenzellfortsätzen. Dies ist auch bei Parkinson bekannt. Kerschensteiner will nun genauer wissen, was in den Mitochondrien passiert. Wie ändert sich bei einer Erkrankung die Eiweißzusammensetzung, welche Prozesse laufen bei welcher Krankheit in welcher Reihenfolge ab? Sind Sauerstoff- und Stickstoffradikale der entscheidende Auslöser für den Untergang der Kraftwerke oder ist es der Anstieg des Calcium-Spiegels oder eine Veränderung des pH-Werts? Dabei lernen die Forscher vielleicht nicht nur, was die Nervenzellen schädigt, sondern finden auch neue Therapieansätze. „Womöglich ist es egal, ob die Nervenzelle entzündlich geschädigt worden ist, durch einen Schlaganfall oder durch eine Degeneration“, sagt Kerschensteiner. Sind Reparaturprozesse wie eine plastische Reorganisation der Nervenzellen ähnlich, lassen sich auch Therapien von anderen Erkrankungen übertragen. ■



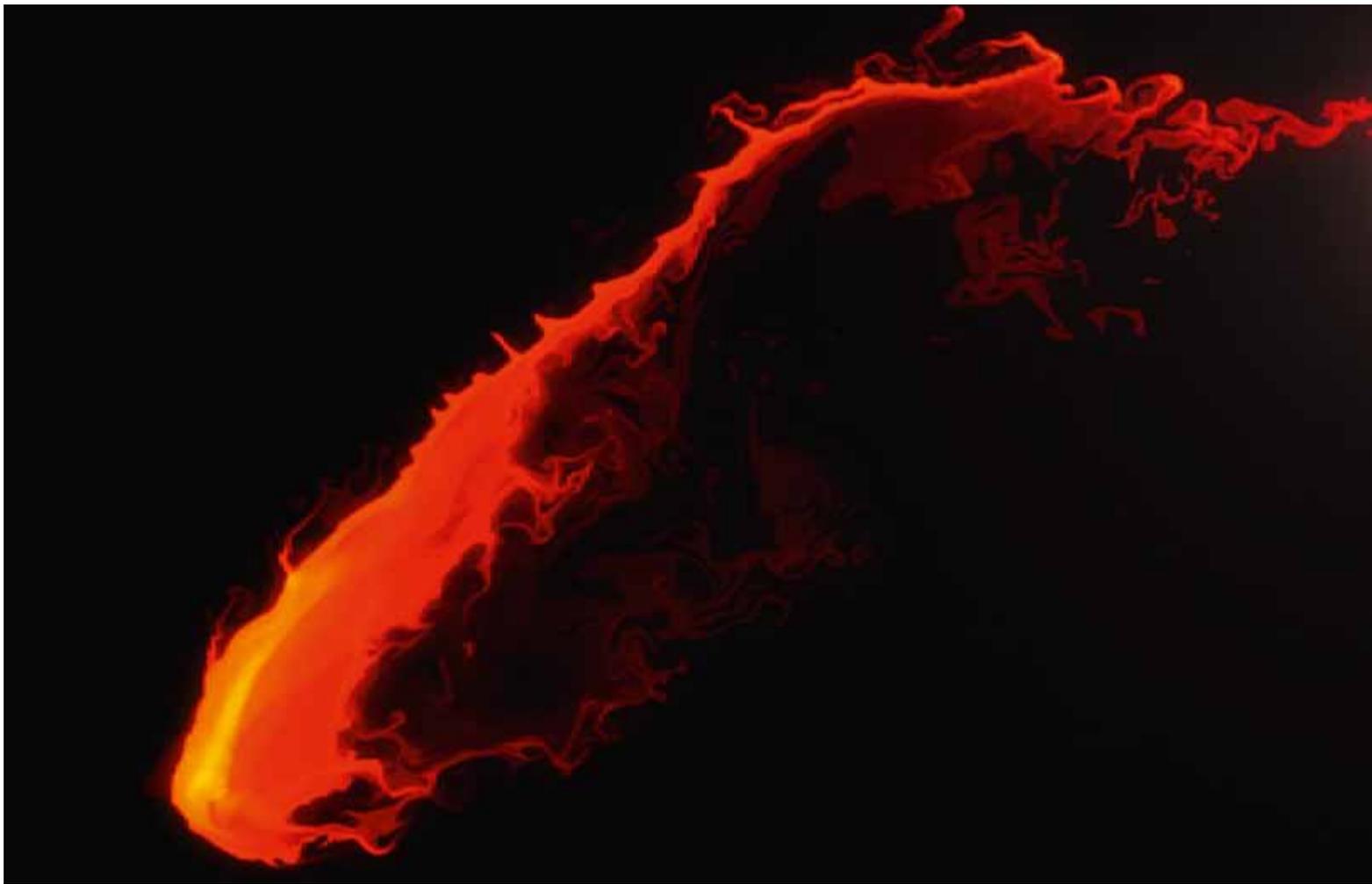
„So etwas kann man nicht mehr mit Bleistift, Lineal und Papier ausrechnen“: Für einen Teil seiner Simulationen braucht Andreas Burkert die Kapazitäten des SuperMUC, des neuen Hochleistungsrechners am Leibniz-Rechenzentrum.
Foto: Jan Greune



Alles übers All

Planeten, Sterne, Galaxien: Die Forscher des Clusters **Origin and Structure of the Universe** wollen die Vorgänge in den Tiefen des Universums ergründen, beispielsweise simulieren sie die Entwicklungen dabei mithilfe aufwendiger Computerberechnungen.

Von Alexander Stirn



Farbenfroh ins Schwarze Loch: das Los einer Gaswolke im Zentrum unserer Milchstraße in der Simulation. Grafik: Marc Schartmann/ESO/MPE

Die kleine, unscheinbare Gasblase hat keine Chance. Je näher sie dem Schwarzen Loch kommt, das im Zentrum unserer Milchstraße sitzt, umso stärker zerren dessen Kräfte an ihr. Die Wolke wird beschleunigt, leuchtet auf, saust um das Schwarze Loch herum. Irgendwann ist die Belastung so stark, dass sie auseinandergerissen wird. Orangefarbene Gasschwaden wabern in Richtung des Schwarzen Loches, das die Materie ein für allemal verschluckt.

Es sind beeindruckende, farbenfrohe Bilder. Sie stammen jedoch nicht vom Nachthimmel, sondern flimmern lediglich über ein Notebook in einem Eckbüro an der Universitätssternwarte München. Andreas Burkert, Lehrstuhlinhaber für Theoretische und Numerische Astrophysik an der LMU, hat die animierten Aufnahmen erstellt. Sie sind das Ergebnis einer aufwendigen Computersimulation, die erstmals zeigt, was in 26.000 Lichtjahren Entfernung vor sich geht. „So etwas kann man nicht mehr mit Bleistift, Lineal und Papier ausrechnen“, sagt Andreas Burkert. Klassische Handarbeit funktioniert allenfalls bei einfachen Systemen, zum Beispiel einem Planeten, der um die Sonne kreist und dabei den Keplerschen Gesetzen folgt. Sobald allerdings ein dritter Körper ins Spiel kommt, wird es komplex, chaotisch, unvorhersehbar. „Genau das sind aber die hochinteressanten Systeme“, sagt Burkert.

Der Experte für Theoretische Astrophysik setzt daher auf die Kraft der Computer. Modelle und Simulationen sollen helfen, die Vor-

gänge in den Tiefen des Alls zu ergründen. Im Mittelpunkt von Burkerts Arbeit stehen dabei dynamische Systeme – alles, was sich bewegt, was brodelt, was ins All geschleudert wird. Das geht weit über zerrissene Gaswolken hinaus: Auch Teilchen der geheimnisvollen Dunklen Materie, die knapp ein Viertel der Masse im Universum ausmacht, werden in Burkerts Computern simuliert, genauso wie die Entwicklung der ersten Schwarzen Löcher und die Bahnen von Asteroiden, die auf die Erde zurasen.

Ein weites Feld – fast so weit wie das Forschungsspektrum des Exzellenzclusters *Origin and Structure of the Universe*, den Burkert als Co-Sprecher gemeinsam mit Sprecher Stephan Paul von der Technischen Universität München koordiniert. Nicht weniger als Herkunft

Origin and Structure of the Universe

Um die Entwicklungsschritte und Epochen des Universums erforschen zu können, haben sich rund 200 Wissenschaftler aus den Disziplinen Kern- und Teilchenphysik, Kosmologie, Astronomie und Astrophysik zusammengeschlossen. Der Exzellenzcluster, der bereits seit 2006 gefördert wird, ist an der Technischen Universität München angesiedelt, Wissenschaftler der LMU sind daran maßgeblich beteiligt. Die weiteren Kooperationspartner sind die Max-Planck-Institute für Physik, Astrophysik, Plasmaphysik und Extraterrestrische Physik sowie die Europäische Südsterne (ESO) und das Leibniz-Rechenzentrum in Garching.



und Struktur des Universums, von den ersten Augenblicken nach dem Urknall bis in die heutige Zeit, sollen im Rahmen des Clusters ergründet werden: Warum gibt es Materie und was ist ihre Natur? Welche Prozesse haben dazu geführt, dass sich Sterne, Planeten, Galaxien bilden konnten? Und wie geht es mit all dem weiter?

Die Brücke zwischen der Theorie und den realen Verhältnissen im Weltall soll dabei Andreas Burkert schlagen. „Alles, was wir machen, ist durch Beobachtungen motiviert“, erzählt der Astrophysiker. Er wird immer dann hellhörig, wenn irgendwo ein Teleskop eine ungewöhnliche oder besonders charakteristische Entdeckung macht – irgendetwas, das auf fundamentale Prozesse hindeuten könnte.

So wie bei der Gaswolke im Zentrum der Galaxis: 2011 haben Stefan Gillessen und Reinhard Genzel vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching überraschend einen Lichtfleck erspäht, der auf das Schwarze Loch im Herzen der Milchstraße zurast. Offensichtlich handelt es sich um einen kleinen Tropfen aus Gas. Eigentlich passt er nicht in die heiße unwirtliche Umgebung, weshalb er schon in wenigen Jahren vom Schwarzen Loch verschluckt werden könnte. Astronomen bietet sich damit die einmalige Gelegenheit zu beobachten, wie Materie hinter dem sogenannten Ereignishorizont eines Schwarzen Loches verschwindet – ein direkter Test für die Vorhersagen der Allgemeinen Relativitätstheorie.

„Das ist eine fantastische Sache“, sagt Andreas Burkert. „Doch um vorherzusagen, was genau ablaufen wird, braucht man Theoreti-

ker.“ In diesem Punkt unterscheidet sich die Astronomie kaum von der täglichen Wettervorhersage: Ob es gerade regnet oder schneit, kann jeder beobachten. Das Wetter in zwei oder drei Tagen zu prognostizieren, ist dagegen die Domäne von Theoretikern, von Computern und von Simulationen.

Einen Unterschied gibt es allerdings: Wenn ein Meteorologe strahlenden Sonnenschein ankündigt, auf dem Weg zur Arbeit aber in einen Platzregen kommt, dann weiß er, dass er Unsinn prognostiziert hat. Bei Astronomen sieht das anders aus. „Normalerweise treten unsere Vorhersagen erst in einer Million oder gar einer Milliarde Jahre ein“, sagt Burkert, „da kann niemand mehr überprüfen, ob er richtig oder falsch gelegen hat.“

Der helle Ball im Zentrum der Milchstraße ist eine willkommene Ausnahme: Bereits 2013 könnten seine Gasmassen – sofern die Prognosen und Animationen korrekt sind – in Richtung des Schwarzen Loches strömen, das sie in den Folgejahren deutlich sichtbar verschluckt. Für Burkert ist das eine ideale Gelegenheit, die Treffsicherheit seiner Modelle zu überprüfen. Für Gillessen und Genzel ist es ein wichtiger Hinweis, wann sie ihr Teleskop wieder aufs galaktische Zentrum richten sollten. Schließlich ist die Beobachtungszeit für Astronomen ein knappes Gut.

Fachleute für Numerische Astrophysik haben mit einer anderen Beschränkung zu kämpfen: der verfügbaren Rechenzeit auf Supercomputern. Ein großer Teil der Arbeit fließt daher in die Verbes-

serung der Algorithmen. Bewährte Pakete von Kollegen werden verfeinert, erweitert, um neue physikalische Ideen ergänzt. Eigene Programme werden geschrieben – immer mit dem Ziel, in möglichst kurzer Zeit eine möglichst genaue Prognose zu liefern.

Im Fall der Gasblase sagen die Animationen beispielsweise voraus, dass das Objekt bereits jetzt heller und heller leuchten müsste. Tut es aber nicht. „Wir haben die Simulation im Jahr 2011 gemacht, nun schaut es schon wieder anders aus“, sagt Burkert.

Für die Theoretiker ist das nichts Ungewöhnliches. Das fortwährende Anpassen ihrer Simulationen an tatsächliche Beobachtungen gehört für sie zum Alltag – genauso wie die Suche nach möglichen Fehlern: Mehr als 10.000 Programmzeilen enthält eine typische Simulation, da schleicht sich schnell ein falsches Vorzeichen ein. Immer und immer wieder starten die Physiker daher ihre Programme, so lange bis die Algorithmen ohne Pannen ablaufen und konsistente Ergebnisse liefern. Aber auch die Formeln, die im Code landen, müssen skeptisch beäugt werden: Beschreiben sie über-

10.000 Programmzeilen für eine Simulation

haupt die tatsächlichen Vorgänge? Und sind sie nicht zu stark vereinfacht? „Man sollte stets vorsichtig und kritisch an die Sache herangehen, sonst glaubt man dem Computer zu viel“, warnt Burkert. Ohnehin können die Simulationen astronomische Vorgänge nur beschreiben und prognostizieren. Bislang unbekannte Hintergründe können sie nicht liefern. Mitunter ist das sogar hilfreich: Über die Natur der Dunklen Materie, die die Strukturen im Universum zusammenhält, ist bislang wenig bekannt – außer, dass es sie geben muss. Burkert und seinem Team reicht das: Für ihre Simulationen zur Entwicklung des Universums greifen die Theoretiker auf die winzigen Spuren zurück, die die Dunkle Materie im kosmischen Mikrowellenhintergrund hinterlassen hat, einer Art Nachglühen des Urknalls. Sie wenden darauf Modelle an, die ganz allgemein die gegenseitige Anziehungskraft von Teilchen beschreiben. Und sie kommen dadurch zu Strukturen, die sehr gut mit der tatsächlichen Verteilung der Materie übereinstimmen. „Damit ist die Sache für uns erledigt“, sagt Burkert und lächelt feinsinnig. Die Dunkle Materie, eines der großen Rätsel der modernen Astronomie, schrumpft auf ein paar Codezeilen. „Zum Glück sind unsere Simulationen ähnlich universell wie ein Hammer – mit dem kann man auch alles Mögliche machen“, sagt Burkert. Nur die Frage, was genau hinter der Dunklen Materie steckt, können die Programmzeilen nicht beantworten.

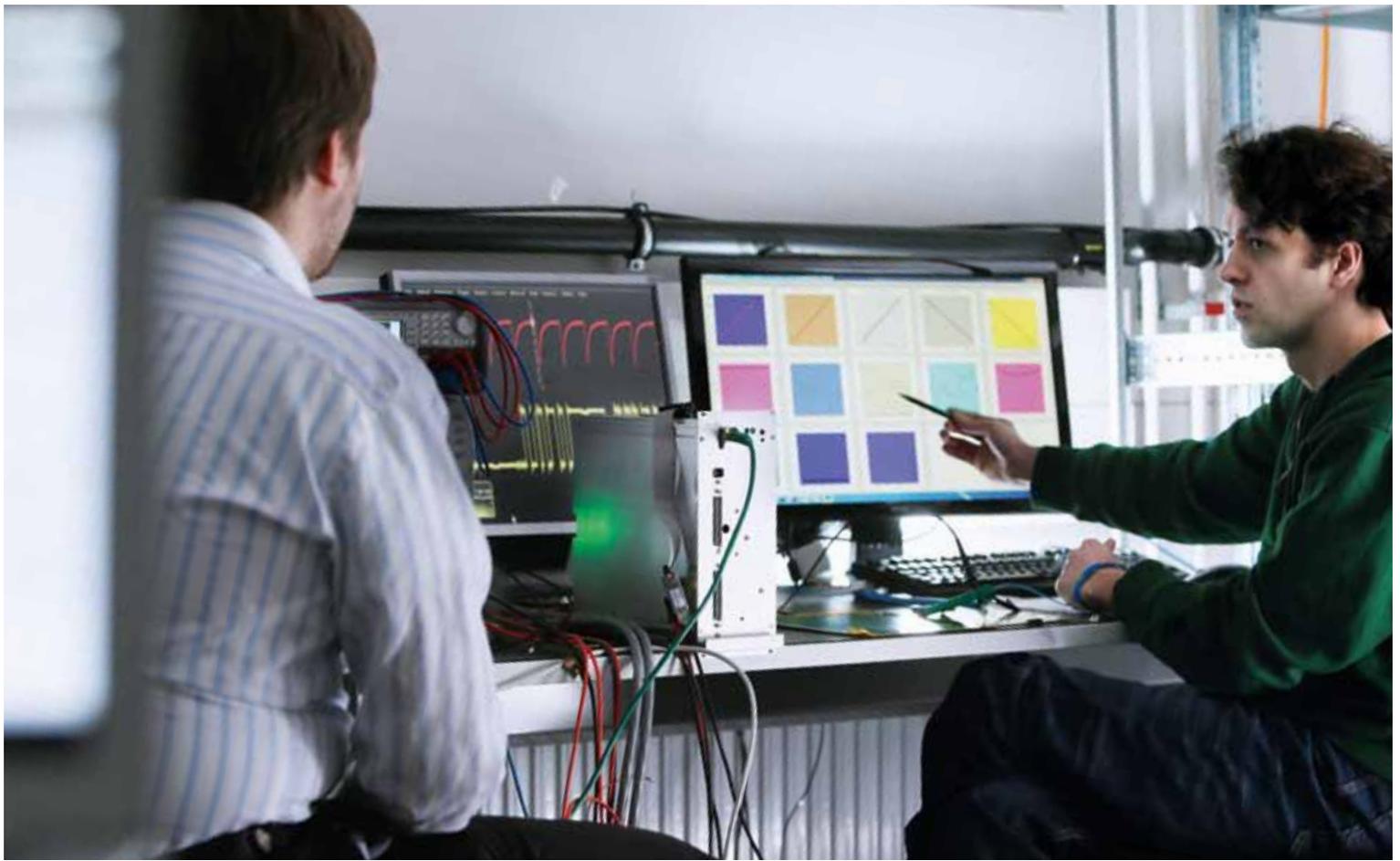
Dafür gibt es im Exzellenzcluster andere Experten: Teilchenphysiker fahnden beispielsweise am Genfer Beschleuniger LHC nach bislang unbekanntem Elementarteilchen, Stringtheoretiker überlegen sich neue Erklärungsansätze für den Aufbau der Materie. Beide Gruppen könnten in den kommenden Jahren entscheidende Hinweise liefern, um das Phänomen der Dunklen Materie endlich erklären zu können.

Auch das zweite große Rätsel der Astronomie, das der sogenannte Dunklen Energie, soll im Universe-Cluster angepackt werden: Die unerklärliche Kraft, die für fast drei Viertel der Masse im Weltall ursächlich ist, drückt die Galaxien auseinander, sodass sie sich immer schneller entfernen. Um zu erkennen, was bei dieser beschleunigten Expansion vor sich geht, wollen die Münchner Forscher nun das weltweit größte Datenzentrum für kosmologische Himmelsdurchmusterungen aufbauen. Darin sollen unter anderem die Aufnahmen von Teleskopen und Satelliten gesammelt werden, die das Weltall gezielt nach Signaturen der Dunklen Energie durchforsten.

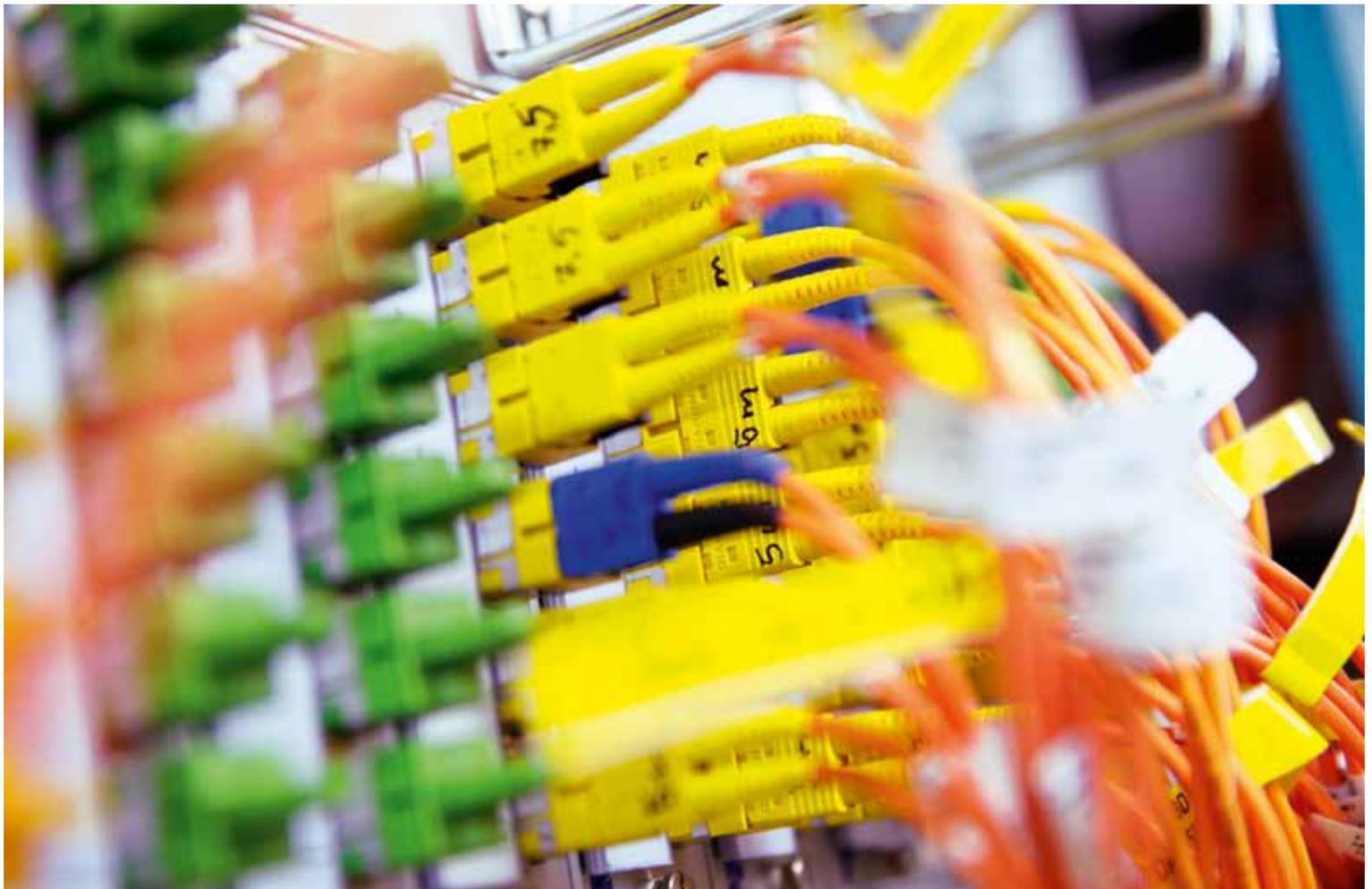
Andreas Burkert und seinen Kollegen fällt dabei die Aufgabe zu, die Entstehung der Strukturen in diesem immer schneller expandierenden Universum zu simulieren – im gleichen riesigen Himmelsbereich, der auch von der Durchmusterung abgedeckt wird. Gerade laufen am SuperMUC, dem neuen Hochleistungscomputer des Leibniz-Rechenzentrums in Garching, die entsprechenden Berechnungen. „Wenn wir fertig sind, dann können wir die theoretischen Vorhersagen mit den Beobachtungen verzahnen und vernetzen – und schauen, was stimmt und was nicht stimmt“, sagt Burkert.

Aber auch die Qualität der Simulationen soll von der Zusammenarbeit innerhalb des Clusters profitieren: Bislang vertrauen Astrophysiker bei ihren Berechnungen auf die Gesetze der Hydrodynamik. Deren Formeln beschreiben Gase, die sich umströmen, die aneinander reiben, die dabei Verwirbelungen erzeugen. Womöglich gelten diese Annahmen in den Weiten des Weltalls aber gar nicht. Stattdessen könnten die komplizierten Gesetze der Plasma-physik viel besser geeignet sein.

So weit, räumt Burkert ein, ist die Numerische Astronomie noch nicht. Im Cluster finden sich allerdings auch Plasmaphysiker, die den ganzen Tag nichts anderes machen. Für Burkert die perfekte Synergie: „Es ist hochspannend, jetzt mit den Kollegen zusammenzuarbeiten und zu lernen, wie man es richtig anpacken könnte.“ Vielleicht gibt das den Münchner Astrophysikern auch den entscheidenden Vorteil im kleinen, aber konstruktiven Wettbewerb, der weltweit unter den Theoretikergruppen herrscht: Jeder will das Universum mit seinen Berechnungen am besten beschreiben. Es gehe dabei allerdings nicht ums Rechthaben, betont Burkert. „Wenn Kollegen eine plausible Erklärung finden, dann ist das eben so“, sagt der Theoretiker, „mir liegt vor allem am Herzen, dass möglichst viele Erkenntnisse gewonnen werden.“ Letztlich entscheidet ohnehin die Natur, wer recht hat. ■

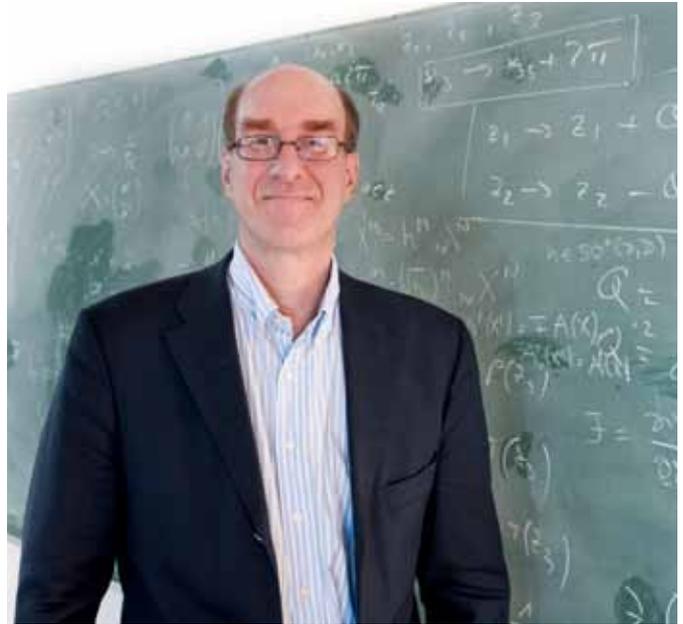


Die Experten des Universe-Clusters setzen auf die Kraft des Computers: Modelle und Simulationen sollen helfen, das Geschehen im All zu ergünden.
Fotos: Jan Greune





Kann es eine zweite Erde geben? Astrophysikerin Barbara Ercolano simuliert die Schicksale von Planeten. Fotos: Jan Greune (3), LMU



Sucht Auswege aus einem mathematischen Chaos: Stringtheoretiker Dieter Lüst.

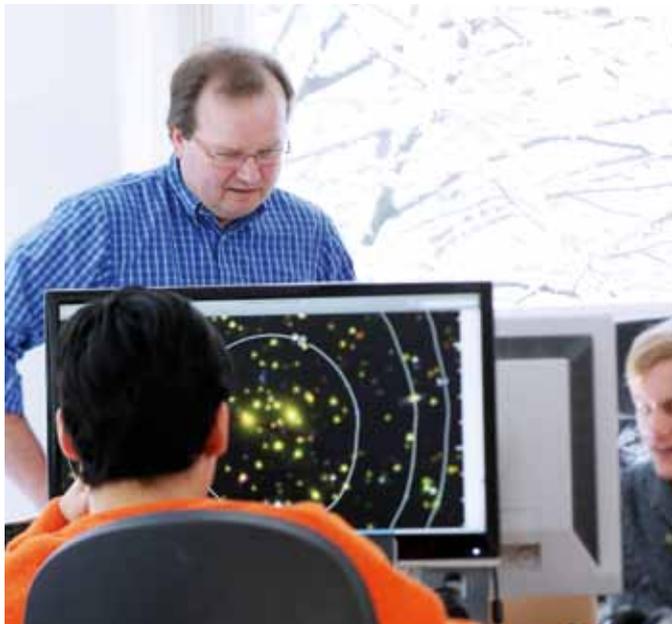
Die Geburt der Planeten

Die Erde ist nicht allein: Mehr als 800 Planeten außerhalb unseres Sonnensystems haben Astronomen inzwischen entdeckt. Die fernen Welten beeindruckten mit allen möglichen Größen, Dichten und Umlaufbahnen – nur ein zweiter Blauer Planet ist bislang nicht unter den extrasolaren Funden. Experten für Theoretische Astrophysik sind über die neue Vielfalt dennoch hoch erfreut: Endlich können sie ihre Modelle zur Entstehung von Planeten an vielen unterschiedlichen Beispielen testen.

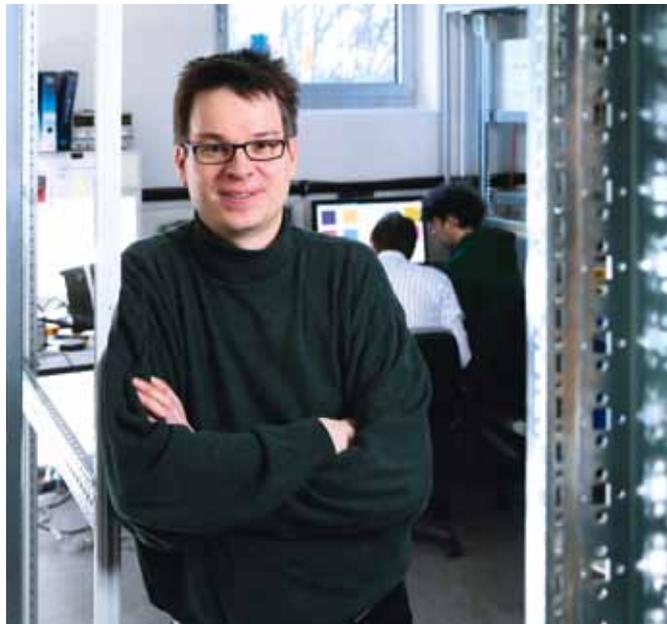
„Dazu lassen wir in großem Maßstab Computersimulationen laufen und vergleichen deren Ergebnisse mit den Beobachtungen“, sagt Barbara Ercolano, Professorin für Theoretische Astrophysik an der Universitätssternwarte der LMU. Ercolanos besonderes Augenmerk gilt dabei der protoplanetaren Scheibe – einer flachen Ansammlung von Staub und Gas rings um eine junge Sonne. Hier formen sich die Planeten. Hier haben sie aber auch mit der Strahlung des Sterns zu kämpfen, der die staubige Kinderstube auseinanderreiben will. Erste Simulationen zeigen, wie schnell dieser Prozess abläuft. Nun wollen die Forscher ins Detail gehen. „Das zeigt uns hoffentlich, welche Schicksale Planeten erleiden, die in unterschiedlichen Distanzen zu ihrem Stern geboren werden – und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Planet wie die Erde entstehen kann“, sagt Ercolano. Die größte Herausforderung – neben einem Algorithmus, der ausreichend schnell arbeitet – stellen dabei die Randbedingungen der physikalischen Prozesse dar: Temperatur und Strahlung können die Forscher nur abschätzen – und die Ergebnisse der Simulationen immer und immer wieder anhand der tatsächlichen Verhältnisse überprüfen. ■

Theorieschleifen

Zwei große Theorien konkurrieren derzeit um die Deutungshoheit im Universum: die Allgemeine Relativitätstheorie, die die Schwerkraft umfasst und besonders gut auf langen Strecken funktioniert, und die Quantenmechanik, die die Welt im Kleinsten äußerst treffend beschreibt. Beide Theorien haben sich auf ihrem jeweiligen Terrain bewährt. Der Versuch, sie unter einen Hut zu bringen, endet jedoch im mathematischen Chaos. „Wenn wir den Urknall erklären wollen, bei dem alles auf engem Raum konzentriert war, müssen wir aber sowohl Quanteneffekte als auch die Gravitation berücksichtigen“, sagt Dieter Lüst, Lehrstuhlinhaber für Mathematische Physik an der LMU und Direktor am Max-Planck-Institut für Physik. Lüsts Ausweg nennt sich Stringtheorie – ein mathematischer Ansatz, der erstmals Gravitation und Quanteneffekte in einem Modell vereint. In der Stringtheorie sind die Elementarteilchen nicht punktförmig, sie bestehen vielmehr aus Schleifen oder Fäden. Erst die unterschiedlichen Schwingungen dieser „Strings“ geben den Teilchen ihre charakteristischen Eigenschaften. Das Problem der Stringtheorie: Sie hat sich bislang erfolgreich dem experimentellen Nachweis entzogen. Im Rahmen des Exzellenzclusters arbeitet Lüst an einer Möglichkeit, die Existenz der Fäden doch zu belegen. Seine Idee: Wenn es Strings gibt, dann müssten die Kollisionen in einem Teilchenbeschleuniger wie dem LHC ein klein wenig anders ablaufen, als es bisherige Modelle vorhersagen. Noch laufen die Experimente. „Bis jetzt hat man am LHC leider nichts gesehen“, sagt Lüst, „aber immerhin können wir schon Schranken angeben, wie groß oder wie klein so ein String sein muss.“ ■



Versagte hier die Relativitätstheorie, „wäre das großartig“, sagt Joseph Mohr, der nach Erklärungen für die beschleunigte Expansion sucht.



50.000 Aufnahmen in der Sekunde: Jochen Schieck baut das Herzstück eines neuen Detektors.

Immer schneller

Seit dem Urknall kennt das Universum nur eine Richtung: Es dehnt sich aus. Nach und nach sollte das Tempo dieser Expansion allerdings abnehmen – schließlich ziehen sich die Massen, die über das Weltall verteilt sind, gegenseitig an. Ihre Gravitationskräfte müssten dem Expansionsdrang entgegenwirken. Tun sie aber nicht, im Gegenteil: Das Universum dehnt sich immer schneller aus. „Es ist fast so, als würde jemand aufs Gaspedal drücken“, sagt Joseph Mohr, Lehrstuhlinhaber für Kosmologie und Strukturbildung an der LMU.

Um das zu untersuchen, richtet Mohr seine Teleskope auf Galaxienhaufen. Die extrem massiven Objekte sind einerseits hell und damit gut zu beobachten, andererseits spüren sie die Effekte der Gravitation besonders deutlich. Astronomen sehen sie zudem genau so wie vor vielen Milliarden Jahren – als sich ihr Licht auf den Weg Richtung Erde gemacht hat. „Das erlaubt uns, in die Vergangenheit zurückzublicken und Schnapsschüsse der Expansion zu verschiedenen Zeitpunkten zu machen“, sagt Mohr.

Die dazu nötigen Aufnahmen stammen von einem Radioteleskop am Südpol, ergänzt durch Daten einer neuen Himmelsdurchmusterung, dem Dark Energy Survey. Dadurch lässt sich nicht nur erkennen, wie stark sich das Universum ausgedehnt hat, sondern auch, wie schnell die Strukturen darin gewachsen sind. Gemäß Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie müssten beide Werte zusammenhängen. „Tun sie das nicht, wäre das großartig“, sagt Mohr. Dann hätten die Physiker endlich einen vielversprechenden Ansatz, um die immer schnellere Expansion des Universums zu erklären. ■

Nur drei von vier

Das Standardmodell der Teilchenphysik ist eigentlich eine feine Sache: Wie ein Haus weist es jeder Familie von Elementarteilchen eine eigene Wohnung mit unterschiedlichen Zimmern zu. Seine theoretischen Vorhersagen stimmen dabei perfekt mit sämtlichen Experimenten überein, es erklärt die Welt also ausgesprochen gut. Trotzdem hat es einen Schönheitsfehler: Das Standardmodell deckt lediglich drei der vier fundamentalen Kräfte der Natur ab. Die Gravitation, die vierte Kraft, entzieht sich seiner Beschreibung. „Trotz aller Erfolge kann das Standardmodell daher nicht das Ende der Fahnenstange sein“, sagt Jochen Schieck, Professor für Experimentelle Teilchenphysik an der LMU.

Im Rahmen des Exzellenzclusters will Schieck daher nach Alternativen zum Standardmodell suchen – am Large Hadron Collider (LHC) in Genf, vorrangig aber an einem neuen Beschleuniger in Japan: Dort wird derzeit ein Experiment namens Belle II aufgebaut, in dem Elektronen mit hohen Energien aufeinander prallen sollen. „Wir bauen dafür das Herzstück des Innersten dieses Detektors“, sagt Schieck. Das hochempfindliche Gerät ist im Grunde nichts anderes als eine Digitalkamera: Es knipst 50.000-mal pro Sekunde, was während der Zusammenstöße passiert. Die Forscher können dadurch den Entstehungsort und die Bahn der Teilchen, die bei den Kollisionen entstehen, exakt vermessen. Weichen diese Daten von den Vorhersagen des Standardmodells ab, wäre das ein Hinweis auf eine neue Physik. Da bei den Kollisionen ähnliche Bedingungen herrschen wie kurz nach dem Urknall, kann das Experiment sogar Einblicke in die frühe Entwicklung des Universums liefern. ■

Impressum

Herausgeber

Präsidium der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

Konzept und Redaktion

Kommunikation & Presse LMU

Luise Dirscherl (verantwortlich)

Martin Thureau (federführend)

Autoren dieser Ausgabe

Kathrin Burger, Maximilian G. Burkhart, Luise Dirscherl,
Hubert Filser (huf), Alexander Stirn, Martin Thureau (math)

Design

Christoph Olesinski und Christine Meyer (Titel und Inhaltsverzeichnis)

Fotografie

Jan Greune

Online-Redaktion

Thomas Pinter

Auflage

10.000 Exemplare

Erscheinungsweise

Sonderausgabe

Druck

Druckerei Fritz Kriechbaumer, München

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

Distribution

Mathias Schiener

Adresse

Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

Kommunikation & Presse

Einsichten – Das Forschungsmagazin

Martin Thureau

Geschwister-Scholl-Platz 1

80539 München

Tel.: 089 / 2180 - 3808

E-Mail: Einsichten@lmu.de

„Stumme Verkäufer“

■ Professor-Huber-Platz 1.0G ■ Schellingstr. 3 und 4 Eingangsbereich

■ Ludwigstr. 28 Rückgebäude ■ Leopoldstr. 13 ■ Oettingenstr. 67

Hörsaalgebäude ■ Pettenkoferstr. 12 Eingangsbereich ■ Theresienstr. Vor

dem Cafe Gumbel ■ Luisenstr. 37 Eingangsbereich ■ Königinstr. 10

Teilbibliothek UG ■ Unibibliothek Ludwigstr. 27 Ausleihhalle ■ Historicum

Teilbibliothek EG ■ Biozentrum Pforte ■ Chemie und Pharmazie Haus F EG

■ Bücherturm HG TBibliothek ■ Leopoldstr. 3 Eingangshalle

Einsichten – Das Forschungsmagazin kann kostenlos abonniert werden unter:

www.lmu.de/einsichten