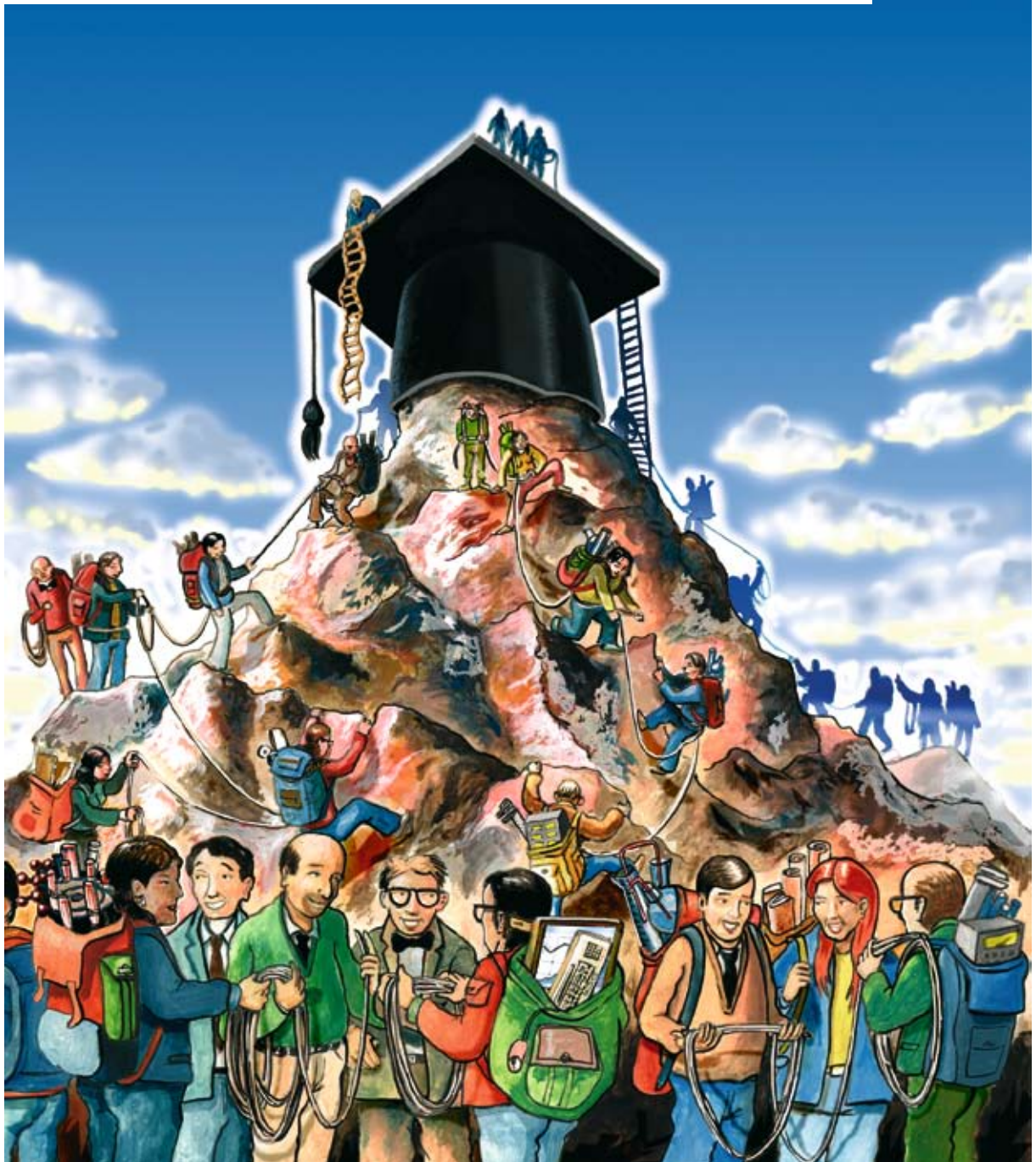


Graduiertenkollegs

der Deutschen Forschungsgemeinschaft



INHALT: | Gemeinsam statt einsam | Was Einstein noch nicht wusste | Schule als Labor | Der Traum vom rüstigen Methusalem | Wandlungen durch Licht | Fallstricke der Wahrnehmung | Frauenherzen, Männerherzen | Im Kleinen liegt das Große | Botschaften aus der Erdgeschichte | Fit für Exzellenz

DFG



Promovieren unter idealen Bedingungen in Graduiertenkollegs der DFG

Gemeinsam statt einsam

Von Ernst-Ludwig Winnacker

Die Promotion ist gleichzeitig die letzte Stufe des Studiums und die erste des Forscherlebens. In dieser entscheidenden Phase braucht jeder Doktorand, jede Doktorandin einerseits den nötigen Freiraum, um selbstständig wissenschaftlich arbeiten, eigene Ideen entwickeln und sich erste Sporen verdienen zu können. Andererseits benötigen sie ein anspruchsvolles Forschungsumfeld, das Impulse gibt, Austausch ermöglicht und, wo nötig, fachliche Unterstützung sicherstellt. Die von der DFG geförderten Graduiertenkollegs (GKs) haben seit ihrer Einführung vor 15 Jahren auf vorbildliche Weise dazu beigetragen, diese Bedingungen für Promovierende zu schaffen.

Früher war es üblich, dass die Doktoranden allein im Elfenbeinturm oder als „Lehrling“ ihres Doktorvaters, seltener ihrer Doktor Mutter, mehr oder weniger gut betreut ihre Dissertationen verfassten. Als jedoch in den 1980er Jahren die jährlichen Promotionszahlen fünfstellig und – sehr bedenklich – die Promotionszeiten immer länger wurden, stieß das bisherige Modell der Einzelbetreuung an seine Grenzen. Folgerichtig wurden 1990 als neues Förderinstrument zur strukturierten Doktorandenausbildung die ersten Graduiertenkollegs der DFG eingerichtet.

Ein Graduiertenkolleg ist eine auf maximal neun Jahre befristete Einrichtung an einer Hochschule, die es besonders qualifizierten Doktorandinnen und Doktoranden ermöglichen soll, zügig und unter hervorragenden Bedingungen zu promovieren. Es wird von einer kleinen Gruppe engagierter und ausgewiesener Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen getragen und umfasst neben einem koordinierten **Forschungsprogramm**, das sich auf hohem Niveau einer fokussierten und aktuellen Fragestellung widmet, auch ein **maßgeschneidertes**

Studienprogramm. Dieses vermittelt notwendiges Spezialwissen, um die Dissertation tatsächlich in den angestrebten drei Jahren in höchster Qualität zu ermöglichen. Daneben gewährleistet es eine vertiefte Einführung in den Wissenschaftszweig, in dem die Arbeit entsteht, und kann je nach Fach Firmenspraktika, Sprach- und Präsentationskurse, Methodenworkshops und dergleichen beinhalten. Die Dozenten, die ein Graduiertenkolleg beantragen, sind in der Ausgestaltung sehr flexibel – wichtig ist, dass den Doktoranden neben dem unmittelbar notwendigen Spezialwissen die Fähigkeiten vermittelt werden, die sie brauchen, wenn sie im Anschluss an die Promotion eine akademische oder außeruniversitäre Karriere anstreben. Die Doktoranden sollen den Blick über den Tellerrand des eigenen Themas lenken, „ihr“ Kolleg selbst mitgestalten und früh wissenschaftliche Selbstständigkeit üben können.

Das umfassende Angebot soll die Doktoranden bei ihrer Arbeit unterstützen, nicht jedoch zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Im Gegenteil war und ist die Begrenzung der Promotionszeit und eine Senkung des Promotionsalters ein Ziel der Graduiertenkollegs wie überhaupt der strukturierten Doktorandenausbildung. Dass sich die Doktoranden in GKs ganz auf die Vollendung ihrer Dissertation konzentrieren können, trägt zu einer messbaren **Verkürzung der Promotionsdauer** bei. Im Durchschnitt promovieren Stipendiaten ein halbes Jahr schneller als ihre anderweitig finanzierten Kollegen und sind bei Abschluss ihrer Promotion zwei Jahre jünger als Absolventen im Bundesdurchschnitt. Die Zielmarke von 36 Monaten Promotionsdauer haben jedoch auch sie noch nicht erreicht.

Eine Ende 2004 vom Promovierenden-Netzwerk Thesis durchge-

führte Umfrage zur Lage der Doktoranden ergab, dass sich jeder dritte Doktorand schlecht betreut fühlt. Oft kritisiert wird auch die Abhängigkeit von einem Betreuer, der in vielen Fällen gleichzeitig der Arbeitgeber ist. Da Mängel in der Betreuung von Doktoranden offensichtlich nicht auf Deutschland beschränkt sind, forderte die europäische Doktorandenvertretung Eurodoc in ihren im Februar 2005 mit der European University Association vorgelegten Grundsätzen zur Reform der Promotion unter anderem **transparente Betreuungsstrukturen** mit klar definierten Verantwortlichkeiten. Dies wird in den Graduiertenkollegs schon lange praktiziert: Hier ist die Zuordnung zu einem Betreuer in den meisten Fällen abgelöst durch eine Doppel- oder Mehrfachbetreuung – gerade auch bei interdisziplinären Themen – beziehungsweise durch die zusätzliche Ernennung von Tutoren oder Mentoren.

Graduiertenkollegs gibt es, wie die in diesem Heft porträtierten Beispiele anschaulich belegen, in allen Fachgebieten. Momentan sind je etwa 30 Prozent der GKs in den Geistes- und Sozialwissenschaften, den Naturwissenschaften und den Lebenswissenschaften, also Biologie und Medizin, angesiedelt. Auf die Ingenieurwissenschaften entfallen zehn Prozent mit steigender Tendenz. Die meisten der GKs haben eine **interdisziplinäre Ausrichtung**, und das kommt nicht von ungefähr. Denn immer deutlicher zeigt sich, dass sich der Fortschritt in der Wissenschaft an den Schnittstellen zwischen den Disziplinen vollzieht. Interdisziplinäre, innovative Projekte sind genau richtig, um den Nachwuchsforschern eine gute Basis für ihre wissenschaftliche Zukunft zu schaffen.

Ein hervorragendes Merkmal der Graduiertenkollegs ist ihre **Internationalität**. Der Aus-

länderanteil unter den Doktoranden ist in den letzten Jahren stetig angestiegen und nähert sich der 30-Prozent-Marke (fast dreimal so hoch wie im Bundesdurchschnitt!). Von den ausländischen Promovierenden stammen circa 26 Prozent aus West- und 35 Prozent aus Osteuropa, 24 Prozent aus Asien und die übrigen 15 Prozent verteilen sich auf die verbleibenden Regionen. Stark gestiegen sind zudem die Bewerbungen aus dem Ausland. Angesichts des internationalen Wettbewerbs um die begehrten Nachwuchswissenschaftler ist das ein erfreuliches Zeichen für die Attraktivität der Kollegs. Daneben verfügen alle Graduiertenkollegs über intensive Kontakte zu ausländischen Wissenschaftlern.

Ohne internationale Vernetzung ist Wissenschaft nicht möglich – heute weniger denn je. Daher ist sie bereits bei der Begutachtung der Einrichtungsanträge ein wichtiges Kriterium. Auch werden die Kollegiatinnen und Kollegiaten der GKs frühzeitig in die internationale Kooperation eingebunden, sowohl durch Vorträge und Aufenthalte von Gastwissenschaftlern als auch durch die Teilnahme an Kongressen und längere Forschungsaufenthalte an ausländischen Gastinstituten.

Stark zugenommen hat die Zahl der **Internationalen Graduiertenkollegs** (IGKs), bei denen eine Gruppe deutscher Hochschullehrer mit einer Partnergruppe im Ausland zusammenarbeitet. Derzeit existieren mehr als 40 IGKs, die meisten mit europäischen Universitäten, doch auch je drei auch mit den USA und China sowie seit neuestem eines mit Japan. Diese Variante der GKs wurde 1997 eingeführt, um der internationalen Vernetzung der Wissenschaft Rechnung zu tragen und eine systematische gemeinsame Doktorandenausbildung über Ländergrenzen hinweg zu ermöglichen. Bei den Internationalen GKs gelten die gleichen hohen Anforderungen an die Exzellenz der Antragsteller wie bei den nationalen. Beide Seiten müssen gemeinsam ein hochklassiges Forschungs- und Studienprogramm durchführen, und auch die Promotionsbetreuung erfolgt gemeinsam, in der Regel durch

einen Betreuer am Heimat- und einen am Partnerinstitut. Für die Doktoranden in den beteiligten Gruppen ist ein etwa sechsmonatiger Auslandsaufenthalt bei dem jeweiligen Partner vorgesehen. Sie lernen in den IGKs schon zu Beginn ihrer Forscherlaufbahn unterschiedliche Wissenschaftssysteme „von innen“ kennen und profitieren auch durch die komplementäre Expertise und die unterschiedlichen Forschungsansätze.

Über die Einrichtung solcher IGKs findet nicht nur eine engere Vernetzung schon auf Ebene der Doktorandinnen und Doktoranden statt, auch die Förderer kommen sich dadurch näher. So konnten mit einer ganzen Reihe von Partnerorganisationen und Ministerien weltweit bereits bilaterale Abkommen über die gemeinsame Finanzierung von IGKs getroffen werden. Besonders engagiert sind die Deutsch-Französische Hochschule DFH und das Französische Bildungsministerium, die Graduiertenuniversität der Chinesischen Akademie der Wissenschaften und das Chinesische Bildungsministerium sowie Forschungsförderorganisationen in den Niederlanden (NWO), Ungarn (OTKA) und Japan (JSPS); weitere Abkommen sind in Vorbereitung.

Geschätzte sechs Prozent aller Doktoranden in Deutschland schließen ihre Promotion in einem Graduiertenkolleg der DFG ab. Konkret schreiben über 6000 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den rund 270 derzeitigen Kollegs ihre Doktorarbeiten, im Durchschnitt also 20 bis 25 pro Kolleg. Davon erhalten gut zwei Drittel ihr Stipendium aus DFG-Mitteln, die übrigen sind aus anderen Töpfen finanzierte Kollegiaten, die aber gleichberechtigt am Studienprogramm teilnehmen und auch Reisemittel erhalten können. Insgesamt hat die DFG seit Beginn des Programms fast 600 GKs finanziert.

Ein zentrales Ziel des Programms ist, zur Reform und **Weiterentwicklung** der Promotionsphase beizutragen. Graduiertenkollegs geben Hochschulen den Anreiz und die Möglichkeit, neue Strukturen der Nachwuchsförderung zu schaffen und auszuprobieren. Dadurch stel-

len sie Modelle und Erfahrungen für breiter und dauerhaft angelegte Promotionsprogramme bereit. Die existierenden Modelle der strukturierten Promotionsförderung – neben der DFG unterhalten zum Beispiel die Max-Planck-Gesellschaft und einige Bundesländer Promotionsprogramme – haben neue **Standards** gesetzt, an denen sich die Doktoranden orientieren und die Hochschullehrer messen lassen müssen. Ein DFG-Symposium im Sommer 2003 hat erwiesen, dass es in ganz Deutschland hervorragende Beispiele für strukturierte Doktorandenförderung gibt und dass mittlerweile an unterschiedlichen Orten und in verschiedenen Wissenschaftsgebieten Graduiertenzentren entstanden oder im Entstehen begriffen sind. Es ist auch deutlich geworden, dass es fachspezifische Zugangsweisen und dementsprechend unterschiedliche Promotionskulturen gibt und weiterhin geben sollte. Fest steht, dass jegliche Reform das bewährte der deutschen Promotion – vor allem ihren wissenschaftlichen Tiefgang – nicht in Frage stellen darf. Dieser Grundsatz gilt in besonderem Maße für die Einbeziehung der Promotion als „dritten Zyklus“ – nach dem Bachelor und dem Master – in den Bologna-Prozess.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist nicht in der Lage – aber es ist auch nicht ihre Aufgabe – flächendeckend Graduiertenkollegs einzurichten und allen Doktoranden die Promotion in einem ihrer strukturierten Programme zu ermöglichen. Sie muss und möchte sich in Zukunft noch mehr darauf konzentrieren, solche Graduiertenkollegs zu fördern, die Beispiele setzen und Modellcharakter aufweisen für innovative Betreuungsformen, für das Miteinander und Füreinander der wissenschaftlichen Generationen. Die Förderung der etablierten Maßnahmen müssen die Universitäten oder Länder in Eigenregie übernehmen – frei nach Benjamin Franklin: „Eine Investition in wissenschaftlichen Nachwuchs bringt immer noch die besten Zinsen.“

*Prof. Dr. Ernst-Ludwig Winnacker
ist Präsident der DFG*

Was Einstein noch nicht wusste

Merkwürdige Dinge gehen am Institut für Quantenoptik der Universität Hannover vor. Das Herzstück eines Experimentaufbaus sind zwei kleine Vakuum-Glasbehälter: In ihnen wollen junge Wissenschaftler die Quantennatur der Materie ans Licht bringen.

Die Eigentümlichkeit der Quantenphysik besteht darin, dass in der mikroskopischen Welt die gewohnte Unterscheidung von Welle und Teilchen verschwimmt. Je nach Betrachtungsweise bestehen Lichtwellen aus Photonen, womit man Quanten elektromagnetischer Energie bezeichnet, oder ein Materieteilchen ist in einem bestimmten Energiezustand, das man dann als Welle beschreibt. Dass dies wie Zauberei klingt, muss uns nicht schrecken: Immerhin haderten selbst die Väter der Quantentheorie Max Planck und

Albert Einstein zeitlebens mit den Konsequenzen ihrer Entdeckung. So bizarr die Theorie auch erscheinen mag, so hat sie sich doch bis heute immer wieder bewährt.

Auf Quanteneffekte will Thorsten Henninger, der am Europäischen Graduiertenkolleg „Interferenzen und Quanteneffekte und ihre Anwendungen“ in Hannover promoviert, einen scharfen Blick werfen: Er will Atome dazu bringen, ihre Individualität zu verlieren und in einem gasförmigen Zustand zu verschwimmen, er will in einem so genannten Bose-Einstein-Kondensat Materie so ansammeln, dass er ihre quantenmechanischen Wellenfunktionen „fotografieren“ kann. Schon 1995 kühlten amerikanische Forscher erstmals mehrere tausend Rubidium-Atome so stark ab, dass sie sich wie ein einziges Supera- tom verhielten. Rubidium-Atome gehören zur Sorte der Bosonen;

das sind alle Atome aus insgesamt einer geraden Anzahl von Protonen, Neutronen und Elektronen. Solche Teilchen streben immer den gleichen Zustand an. Nur wegen dieses Herdentriebs können sie zu einem Wellenpaket kondensieren, wenn die Brownsche Molekularbewegung durch die Temperatur nicht zu stark ist. Thorsten Henninger will aber noch einen Schritt weiter: Er will nicht nur Bosonen,

„Interferenz ist die Klammer für das Themenspektrum des Kollegs.“

sondern auch Fermionen bis ganz nahe an den absoluten Nullpunkt, also bis etwa -273 Grad Celsius, abkühlen. Solche Atome sind das genaue Gegenteil zu Bosonen: Sie meiden einander grundsätzlich wie der Teufel das Weihwasser, das heißt sie sind an unterschiedlichen Orten, fliegen unterschiedlich schnell oder unterscheiden sich sonst irgendwie.

In einem Vakuumsystem befindet sich bosonisches Rubidium (Isotop 87) und fermionisches Kalium (Isotop 40). Der Physiker beschießt die Atome aus sechs Richtungen mit Laserstrahlen einer bestimmten Wellenlänge und kühlt sie damit ab. Ein Magnetfeld zieht die kalten Atome nun in die Mitte. Einmal in der Magnetfalle, wird ihnen nochmals durch Verdampfen Wärme entzogen, die Rubidium-Atome bilden nun ein Kondensat, das Kalium hingegen, das als Fermion ja nicht kondensiert werden kann, eine Wolke. Beleuchtet man die Rubidium- und Kalium-Atome mit zwei



Foto: MPI für Gravitationsphysik

Die Arbeitsumgebung beim Gravitationswellendetektor GEO600: Zu sehen sind die Vakuumtanks und -rohre im Reinraum.



Foto: Sven Passinger

Das Logo des European Graduate College, EGC, hat Sven Passinger mit dem Laser in Nano-Dimensionen geschrieben.

unterschiedlichen Farben, so kann man das kompakte Kondensat in der diffusen Wolke des Kaliums fotografieren. Durch ein passend gewähltes Magnetfeld sollen sich dann Rubidium und Kalium künstlich zu einem Molekül verbinden. „Wir wollen zum ersten Mal zeigen, wie physikalisch fermionische Kalium-Rubidium-Moleküle entstehen“, sagt Thorsten Henninger.

Wie in einem Bose-Einstein-Kondensat „punktförmige Teilchen“, die Atome, voneinander wissen können, lässt sich nur mit ihrem Wellencharakter erklären. Teilchen bilden ebenso ein Interferenzmuster wie das Licht, das sich zum Beispiel am Farbenspiel einer Seifenblase offenbart. Selbst wenn man zwei Kondensate überlagert, bilden sie die typischen Interferenzstreifen. „Die Interferenz ist die Klammer, die unser Graduiertenkolleg zusammenhält“, erläutert Professor Eberhard Tiemann, der Sprecher des Kollegs. In Hannover untersuchen die Wissenschaftler nicht nur die Interferenz von Materiewellen, um grundsätzliche Phänomene wie Bose-Einstein-Kondensate zu verstehen oder um etwa neue Atomuhren bauen zu können. Auch das Licht wird durch dessen Interferenzmöglichkeiten genutzt, um damit ganz andere Probleme zu lösen.

Die Quantentheorie war eine der großen physikalischen Revolutionen des 20. Jahrhunderts, Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie die andere. In ihr ist die Gravitation nicht mehr wie bei Isaac Newton als anziehende Kraft beschrieben, sondern als eine Verbiegung der Raum-Zeit: Große

Massen verbeulen die ebene Geometrie, und wenn sie sich bewegen, muss ihnen dieses Verbeulen folgen. Die dabei entstehenden wellenartigen Strukturen bewirken, dass sich die Abstände zwischen allen Objekten ganz leicht verändern. In Ruthe nahe Hannover warten nun Wissenschaftler darauf, dass nicht zu weit weg von unserer Milchstraße ein Stern als Supernova explodiert oder zwei schwarze Löcher ineinander stürzen, denn dann besteht die Chance, die Gravitationswellen zu messen, die dabei ausgesendet werden – ähnlich den Wellen im Wasser, wenn man einen Stein hineinwirft.

Auch Michaela Malec wartet gespannt auf ein solches Ereignis. „Die Gravitationswellen sind so schwach, dass sich der Abstand zwischen Erde und Sonne bei einer Sternexplosion in unserer Galaxie nur um den Durchmesser eines Atoms ändern würde. Deshalb brauchen wir äußerst präzise Messinstrumente für Abstandsänderungen.“ GEO600 ist ein solches Instrument, das nach dem Prinzip eines Michelson-Interferometers funktioniert. Es vermisst Abstandsänderungen mit Hilfe von Lichtlaufzeiten zwischen Spiegeln. Manche Spiegelanordnungen, das ist das Besondere dieser Detektoren, verstärken die Lichtleistung bis zum 1000fachen und erlauben damit noch genauere Messungen. GEO600 ist einer von weltweit sechs Gravitationswellendetektoren. Zudem wird in einigen Jahren – in Zusammenarbeit mit ESA und NASA – LISA den Betrieb aufnehmen, ein Riesen-Interferometer aus drei Satelliten, das im Weltraum nach Gravitationswellen lauschen soll. „LISA konzentriert sich auf andere Frequenzbereiche von Gravitationswellen als die erdgebundenen Detektoren. Aber auch letztere stehen nicht in Konkurrenz zueinander, im Gegenteil“, sagt Michaela Malec. „Wenn ein Detektor etwas misst, muss erst ein

anderer das Signal bestätigen, um sicher zu sein, dass es sich nicht um Störsignale aus anderen Quellen handelt, wie seismische Erschütterungen oder Schwankungen der Laserintensität oder -frequenz.“

Die Physikerin untersucht am Computer, quasi mit einem virtuellen Detektor, Teilsysteme, um solche Störungen in Simulationen zu separieren. „So können wir das Problem erkennen und, wenn es technischer Natur ist, gezielt beseitigen.“ Im Herbst wird sie ihre Promotion an den beiden Universitäten Hannover und Glasgow abschließen. GEO600 ist ein deutsch-britisches Gemeinschaftsprojekt, an dem auch das Albert-Einstein-Institut der Max-Planck-Gesellschaft beteiligt ist. Michaela Malec hat ein halbes Jahr an der schottischen Universität geforscht, einem der Partner des Europäischen Graduiertenkollegs. „Das war für mich von unschätzbarem Wert“, sagt sie begeistert.

Eine weitere Kooperation des Kollegs gibt es mit der Universität Paris-Süd in Orsay. Nicht allein können die Kollegiaten im internationalen Austausch Erfahrungen sammeln und Workshops organisieren, sondern auch gemeinsame

„Die Zeit an der britischen Partneruniversität war von unschätzbarem Wert.“

Doktorgrade sind das Ziel. „Da die Promotionsverfahren in den europäischen Ländern sehr unterschiedlich sind, schließen wir für jeden Prüfling einen eigenen Vertrag ab“, erklärt Eberhard Tiemann. Auch in Hannover selbst finden die Doktoranden ein anregendes Umfeld. Dort ist der Sonderforschungsbereich der DFG „Quantenlimitierte Messprozesse mit Atomen, Molekülen und Photonen“, und es gibt eine enge Zusammenarbeit mit dem Albert-Einstein-Institut sowie dem Laserzentrum Hannover. Den Kollegiaten gefällt das: „Wir wollen ja keine Fachidioten sein“, so Thorsten Henninger.

Das Laserzentrum ist der Arbeitsplatz von Sven Passinger.



Foto: Thorsten Henninger

Eine rote Rubidiumwolke nahe dem absoluten Nullpunkt bei etwa -273 Grad Celsius: Thorsten Henninger macht die Wellennatur der Materie sichtbar.

Der Doktorand beschäftigt sich mit einer ganz praktischen Seite von Interferenz und Quanteneffekten, der Nanotechnologie. „Der riesige Fortschritt auf diesem Gebiet macht es uns möglich, neue künstliche Materialien wie photonische Kristalle herzustellen.“ In photonischen Kristallen ist der Brechungsindex auf der Skala der Wellenlänge des Lichts periodisch moduliert; das Licht streut nicht mehr, wird also ganz ohne Verlust geführt. Solche Materialien eignen sich, um in Zukunft die bisher gängigen Halbleitermaterialien mit Elektronentransport, etwa in Computerchips oder allgemeinen informationsverarbeitenden Schaltungen, durch solche mit Photonen zu ersetzen: Weil Photonen viel

schneller sind, lassen sich Nachrichtenübertragung und Computertechnik beschleunigen.

Das Verfahren, mit dem Sven Passinger solche neuen Strukturen herstellt, nennt sich Zwei-Photonen-Polymerisation. Er fokussiert einen Femtosekunden-Laserstrahl in ein für Licht der benutzten Wellenlänge eigentlich durchsichtiges, aber bei der halben Wellenlänge

„Der enge Kontakt mit verschiedenen Instituten gefällt uns.“

lichtempfindliches Harz, das an den beschossenen Stellen dann polymerisiert und damit aushärtet. Dies gelingt durch die Zwei-Photonen-Absorption. Dabei macht man sich zunutze, dass zwei Photonen aus dem Laserstrahl die gleiche Energie haben wie ein Photon der halben Wellenlänge. Da nur im Fokus die Photonendichte hoch

genug ist, findet auch nur im Fokus eine Polymerisation statt. Auf diese Weise kann er mit dem Laserstrahl dreidimensionale Strukturen in das Material schreiben und die nicht bestrahlten Stellen dann chemisch entfernen. Er erreicht dabei eine Auflösung von bis zu 100 Nanometern (Millionstel Millimeter). Ergänzen kann er diese Methode, wenn er vier Laserstrahlen räumlich und zeitlich so exakt überlagert, dass sich ein periodisches Interferenzmuster ergibt. Der Vorteil dabei ist, dass großräumige Strukturen von bis zu mehreren Kubikmillimetern bei einer Auflösung im Nanometerbereich hergestellt werden können. „Der Clou an photonischen Kristallen wäre“, so seine Vision, „wenn es gelänge, ein Material mit hohem Brechungsindex zu verwenden, damit man das Licht quasi um die Ecke lenken kann. Die heute üblichen Glasfasern zur Datenübertragung laufen in recht großen Bögen, und ein Knick von 90 Grad würde die Telekommunikation revolutionieren.“ **mk**

Schule als Labor

Als in den letzten Jahren kurz hintereinander die vergleichenden internationalen Schulleistungsstudien TIMSS und PISA nur schwache bis mittelmäßige Werte für deutsche Schülerinnen und Schüler ans Tageslicht brachten, wurde deutlich, dass hinsichtlich Unterricht und Schülerleistungen empirische Daten fehlten, um die zahlreichen Fragen einer irritierten

„Warum schnitten deutsche Schüler in Vergleichsstudien so schlecht ab?“

Öffentlichkeit zufrieden stellend beantworten zu können. „In diesem Zusammenhang ist es unter anderem wichtig zu wissen, welche Aufgaben die Lehrer im Unterricht eigentlich verwenden,“ sagt Paul Jatzwauk, „sonst wird man nie wissen können, warum die Schüler schlecht waren“. Konnten sie die Aufgaben der Leistungstests wirklich nicht lösen, oder waren sie es nur nicht gewohnt, mit einer bestimmten Art der Fragestellung umzugehen?

Paul Jatzwauk, der in Leipzig ein Lehramtsstudium mit den Schwerpunkten Geschichte und Biologie absolviert hat, schreibt an der Universität Duisburg-Essen nun seine Doktorarbeit über den „Einsatz von Aufgaben im Biologieunterricht“. Obwohl Aufgaben hinsichtlich der Schülermotivation und des Lernerfolges von zentraler Bedeutung seien und Lehrer häufig ihren Biologieunterricht mit Hilfe von Aufgaben strukturierten, gebe es zu deren Verwendung kaum nennenswerte empirisch gestützte

Erkenntnisse, skizziert Jatzwauk die Situation.

Seine Arbeit ist Teil eines umfangreichen Forschungsprogramms im Graduiertenkolleg „Naturwissenschaftlicher Unterricht“, das in Essen einer gleichnamigen Forschergruppe angegliedert ist. „In enger Verzahnung untersuchen wir die Probleme des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowohl auf der individuellen Ebene der Schülerinnen und Schüler, der Ebene des Unterrichts und auf der schulsystemischen Ebene“, erklärt die Sprecherin des Kollegs, Professor Elke Sumfleth.

Psychologen, Fachdidaktiker der Chemie, Physik und Biologie sowie Bildungsforscher haben sich in Essen zu einer eng vernetzten Forschung zusammengefunden und geben gemeinsam dem Forschungsschwerpunkt „Empirische Bildungsforschung“ an der Universität in Essen ein interdisziplinäres Gesicht. Insbesondere die Zusammenarbeit mit den beteiligten Psychologen hat Sumfleth, selbst Chemikerin, zu schätzen gelernt: „Von dort kommt die Methoden-

kompetenz für unsere empirische Forschung, deren Rolle in der Didaktik der Naturwissenschaften in Deutschland in der Vergangenheit vielleicht etwas unterschätzt wurde.“

Wohl einmalig an einer deutschen Universität ist die Vernetzung zwischen einer DFG-geförderten Forschergruppe und einem Graduiertenkolleg. „Die Dissertationen der Stipendiaten werden sowohl in theoretischer als auch in forschungsmethodischer Hinsicht eng an die Forschergruppe gebunden, die sich in interdisziplinären Projekten mit der Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts befassen“, sagt Elke Sumfleth.

„Die Promotionsarbeiten sind eng an die DFG-Forschergruppen gebunden.“

Im Projekt „Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht“ hat Paul Jatzwauk für seine Doktorarbeit eine Stichprobe von 25 Bio-



Graduiertenkolleg Naturwissenschaftlicher Unterricht

Videoaufnahmen sind ein wichtiges Instrument für die empirische Forschung im Graduiertenkolleg „Naturwissenschaftlicher Unterricht“.

logiestunden in der Klassenstufe 9 bei 25 verschiedenen Lehrern an verschiedenen Gymnasien in Nordrhein-Westfalen ausgewählt. Sein analytisches Interesse gilt den Merkmalen und Anforderungen der im Biologieunterricht eingesetzten Aufgaben, der Art und Weise ihrer Verwendung sowie den Schwierigkeiten der Schüler bei deren Bearbeitung.

Um die Unterrichtsstunden zu protokollieren, nutzt er Videoaufnahmen, denn mit dieser Methode kann er den Prozesscharakter

„Das Experimentieren stellt hohe Anforderungen an das Lernen.“

des Unterrichts gut abbilden und später Interaktions- und Instrukti- onsequenzen analysieren. Für die Auswertung der Videos hat er ein spezielles Kategoriensystem entwickelt. Letztlich möchte er auch die Frage beantworten, wie sich die Charakteristika des Aufgabeneinsatzes in den Schülerleistungen widerspiegeln. Vielleicht, so hofft er, kann er einen Beitrag dazu leisten, dass eines Tages auf der Basis auch seiner Grundlagenforschung Handreichungen für die Unterrichtspraxis entwickelt werden können.

Die Diplompsychologin Hubertina Thillmann, die in Bochum studierte, hat sich in ihrer Doktorarbeit die Analyse und eine darauf aufbauende Förderung des Lernens durch Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht vorgenommen. Das Experimentieren gilt unter Lehrern in diesen Fächern weithin als Methode der Wahl, um das Interesse der Schülerinnen und Schüler zu wecken, sie zum Lernen zu motivieren, ihre Kooperationsfähigkeit zu schulen und ihnen nicht zuletzt auch den naturwissenschaftlichen Weg der Erkenntnisgewinnung näher zu bringen.

Aus der Literatur und anderen Forschungsarbeiten im Projekt „Diagnose und Förderung von Lern- und Problemlösungsprozessen im naturwissenschaftlichen

Unterricht“ weiß Hubertina Thillmann, dass – entgegen den Erwartungen – die Lernwirksamkeit von Schülerexperimenten recht gering ist, und sie möchte herausfinden, warum der erwartete Lernerfolg bislang so selten eintritt. „Ein möglicher Grund dafür könnte in den besonderen regulativen Anforderungen liegen, die das Lernen durch Experimentieren an den Schüler stellt“, vermutet sie, denn im Unterschied zum gewohnten Lernen mit Texten müssen hierbei die Informationen nicht nur aufgenommen und behalten, sondern zuerst durch systematisches Experimentieren selbst erzeugt werden.

Um nun die dafür nötige regulative Kompetenz zu erforschen, nutzt Hubertina Thillmann eine computergestützte Lernumgebung, in der die Vorgehensweise der Schüler beim Experimentieren online erfasst wird. Sie kann anschließend zum Beispiel analysieren, wie der Schüler den Fortschritt seines eigenen Lernprozesses reguliert. „Die computerbasierte Experimentierumgebung, die im Forschergruppenprojekt entwickelt wurde, setze ich zunächst als Diagnoseinstrument ein“ präzisiert sie.

In einem weiteren Schritt sollen die Ergebnisse ihrer Doktorarbeit dazu beitragen, die Schüler und Schülerinnen einmal so individuell fördern zu können, dass sie erfolgreicher anhand von Experimenten in den naturwissenschaftlichen Fächern lernen können. Oder genauer: „Dass die Lehrer sie besser zum selbstregulierten Lernen befähigen können“.

Alexander Kauertz, der in Dortmund ein Studium der Mathematik und Physik für das Lehramt abschloss, hat sich zum Ziel gesetzt, mit seiner Doktorarbeit einen Leistungstest für Schüler der 10. Jahrgangsstufe im Fach Physik zu entwickeln. Seine Promotionsarbeit steht im Zusammenhang mit den Forschungen im Projekt „Vernetzung und kumulatives Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht“. Dabei folgt er der Idee, die Komplexität und innere Vernetzung der Fakten und Zusammenhänge für den Physikunterricht in

neuer Weise anzusprechen. „Die übliche Aufteilung der Kapitel in Lehrbüchern und Lehrplänen mit den Überschriften Optik, Elektrizitätslehre oder Mechanik ist nicht lernförderlich“, sagt er und postuliert die These, dass den Schülerinnen und Schülern das Lernen im Fach Physik leichter fällt, wenn sie den Stoff in seiner Vernetzung kennen lernen. Das Konzept funktioniert auf Basis so genannter Leitideen: „Materie, Energie oder Wechselwirkung bieten die Möglichkeit, immer wieder auf einen bestimmten physikalischen Inhalt zu blicken – aber immer aus einer anderen Perspektive.“

Praktisch bedeutet Unterricht nach Leitideen, dass einmal gelernte Begriffe in aufeinander folgenden Jahrgangsstufen immer weiter ausdifferenziert und vertieft werden. Die Inhalte werden also einerseits immer wieder aufgegriffen, andererseits im Laufe der Zeit miteinander immer stärker vernetzt. „Auf diese Weise wird kumulatives Lernen möglich“, sagt Kauertz, „das bedeutet, dass die Schüler bereits Gelerntes zum Lernen neuer Inhalte nutzen können.“

Dem Konzept der Leitideen folgend, konstruiert Kauertz Aufga-

„Wie kann bereits Gelerntes zum Lernen neuer Inhalte genutzt werden?“

ben für einen Physik-Leistungstest. Rund 150 Aufgaben müssen es mindestens sein, damit er die Schülerleistung messen und diagnostizieren kann. „Die Konstruktion der Aufgaben ist der sensibelste, schwierigste Teil meiner Arbeit“, sagt er. Später einmal im Schulsystem etabliert, hofft Kauertz, werden Lehrer dafür sorgen wollen, dass ihre Schüler den Test bestehen. „Dann wird es spannend. Da die Aufgaben des Leistungstests dem Konzept der Leitideen entsprechen, wird es in einem Backwash-Effekt dazu kommen, dass eines Tages generell der Physikunterricht nach diesem Konzept funktioniert.“ **db**

Der Traum vom rüstigen Methusalem

Mit gerade 27 Jahren müsste Tanja Maresch eigentlich andere Sorgen haben. Aber die Biochemikerin studiert mit spürbarer Begeisterung Falten. An unserer Körperhülle wird zuerst sichtbar, dass Jugend vergänglich ist. Im Laufe des Lebens häufen sich im Organismus unausweichlich Schäden an: in der Erbsubstanz, in den Proteinen oder Lipiden. Typische Abbauerscheinungen offenbaren sich auf der Haut, an Muskeln, Knochen, der Sehkraft oder am Hörvermögen. „Die Bevölkerung wird immer älter,“ sagt Tanja Maresch und meint dies im doppelten Sinne: Die großen Erfolge in der Medizin haben unsere Lebenserwartung enorm erhöht, doch den Prozess des Älterwerdens können sie immer noch nicht aufhalten.

Die biologisch tickende Uhr möchten wir schon seit Menschenjedenken verlangsamen, doch beginnen wir gerade erst allmählich zu verstehen, wie das Altern auf molekularer Ebene angestoßen wird. Tanja Maresch promoviert im Graduiertenkolleg „Molekulare Ziele von Alterungsprozessen und Ansatzpunkte der Alterungsprävention“, angesiedelt am Institut für umweltmedizinische Forschung und an der Universität Düsseldorf. „Man weiß heute, dass oxidativer Stress einer der Hauptmotoren ist, die Alterungsprozesse auslösen und unterhalten“, sagt Professor Jean Krutmann, der Sprecher des Kollegs. Diesen Stress verursachen die freien Sauerstoffradikale oder Oxidantien; doch welche Mechanismen sie in den Organen jeweils

genau ankurbeln, ist noch weitgehend unbekannt.

Freie Radikale entstehen als ganz normale Abfallprodukte im Zellstoffwechsel, für den die Mitochondrien verantwortlich sind. Mehrere hundert dieser Organellen besiedeln die Körperzellen und verfügen über jeweils eigene doppelsträngige DNA-Ringe mit 37 Genen, die am Stoffwechsel beteiligt sind. Wenn die Zelle atmet, erzeugen die Mitochondrien Energie in Form von Adenosintriphosphat, kurz ATP, dabei

Wie defekte Proteine sich in Nervenzellen verteilen und wie ihnen der Garaus gemacht wird, studiert Tobias Jung.



Foto: Tobias Gremmel

aber eben auch Oxidantien, die ein ungepaartes Elektron besitzen und deshalb sehr reaktionsfreudig sind. So kommt es zu oxidativem Stress: Um sich das fehlende Elektron zu besorgen, greifen sie Zellbestandteile an, darunter die Proteine der Atmungskette und die Mitochondrien-DNA, die fataerweise nur langsam repariert wird. In jungen Zellen werden die freien Radikale von Schutzmechanismen, den Antioxidantien, in Schach gehalten, doch während des Alterungsprozesses verschiebt sich das Gleichgewicht zugunsten der aggressiven Substanzen.

Die Konzentration von freien Sauerstoffradikalen erhöht die Geschwindigkeit, mit der wir altern. Sie wird von den Vorgängen innerhalb der Zelle bestimmt, aber auch durch äußere Faktoren wie ultraviolette Strahlung oder falsche Ernährung, die ihre destruktive Wirkung entfalten, indem sie die Produktion von Oxidantien anregen. „Der Forschungsschwerpunkt hier in Düsseldorf liegt in

der Frage, wie äußere Einflüsse das Altern anzustoßen und zu beschleunigen vermögen“, erklärt Jean Krutmann. „Das Institut für umweltmedizinische Forschung ist auf diesem Gebiet einmalig in Deutschland.“

Eine Quelle für frühzeitiges Altern ist die Sonnenstrahlung. „Wer seine Haut ständig der Sonne aussetzt, wird mit Lichtalterung

„Jeder Doktorand hat mehrere ‚Komplementär‘-Doktorväter.“

bestraft“, erklärt Tanja Maresch. „Wir wissen bereits, dass lichtgealterte Haut mehr Mutationen in der Mitochondrien-DNA aufweist. Dabei spielen reaktive Sauerstoffspezies eine Rolle.“ Sie möchte herausfinden, wie die Mutationen, der oxidative Stress und alterungsbedingte Zellveränderungen zusammenhängen, und vermutet,

dass der Prozess einen Teufelskreis in Gang setzt: Die UV-A-Strahlung dringt bis in die Dermis, die Lederhaut, ein und produziert die reaktiven Sauerstoffspezies, die dann unter anderem Mutationen in der mitochondrialen DNA verursachen. Dadurch werden die Proteine falsch codiert, die Atmungskette bekommt Defekte, und es entstehen noch mehr freie Radikale. „Der Effekt, so unsere These, verstärkt sich dann von allein.“ Sie konzentriert sich in ihrer Arbeit auf eine ganz bestimmte Mutation, die so genannte Common deletion, die etwa ein Drittel des mitochondrialen Genoms umfasst. An einem Hautäquivalentmodell will sie den Schaden exakt messen: Primäre, mit Kollagen gemischte Hautzel-

Tanja Maresch untersucht, welchen Schaden zu viele Sonnenbäder in Mitochondrien der Hautzellen anrichten.



Foto: Tobias Gremmel

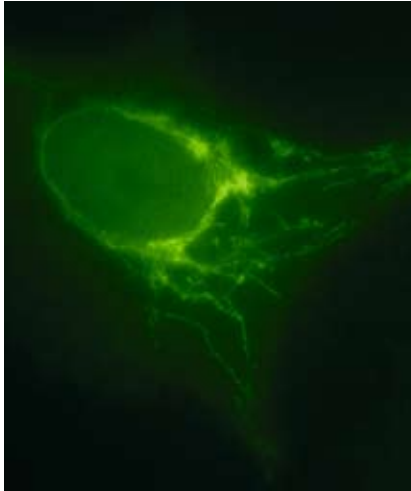


Foto: Ilaria Dalla Rosa

In den Mitochondrien, den Energieversorgern der Zellen, sind Prozesse des Alterns angelegt. Die grüne Färbung ist durch Fluoreszenzmarkierung entstanden.

len fügen sich zu einer dreidimensionalen Matrix zusammen, auf der sie Keratinozyten, Zellen aus der oberen Hautschicht, der Epidermis, aussäen kann; so entsteht ein zentimetergroßes Modell, das den natürlichen Aufbau der Haut genau widerspiegelt. Es hat enorme Vorteile, da Zellkulturen anders reagieren als lebendige Haut und da Versuchspersonen natürlich nicht endlos bestrahlt werden können.

Mit der Wirkung von UV-Strahlung auf das mitochondriale Genom beschäftigt sich auch Ilaria Dalla Rosa, die in Bologna Biologie studiert hat. Die Italienerin hat es auf die Topoisomerase II abgesehen, ein Enzym, das erst unzureichend verstanden ist. „Eigentlich ist es lebensnotwendig“, sagt sie, „denn Vorgänge wie die Zellteilung können nicht ohne Topoisomerase II funktionieren“. Das Enzym manipuliert die Topologie der Zellkern-DNA, indem es die Moleküle dreht, spaltet oder zusätzliche Windungen in den Doppelstrang einfügt; dadurch bringt es wieder Ordnung in die Erbsubstanz, wenn diese sich bei Lese- oder Kopierprozessen verwirrt. Auch in der DNA der Mitochondrien spielt das Enzym eine Rolle. „Die Topoisomerase II wird aktiv, wenn durch

UV-Licht Schäden entstanden sind,“ sagt Ilaria Dalla Rosa, aber hier beginnt die Crux: Das Enzym erkennt die Schäden und reagiert darauf mit Doppelstrang-Brüchen und Selbsterstörung. Möglicherweise, so vermuten die Wissenschaftler, verstärkt dieser Mechanismus kleine Defekte so sehr, dass eine Degeneration des ganzen Genoms die Folge ist. Ilaria Dalla Rosa möchte herausfinden, ob die Mutationsrate beschleunigt wird, wenn die Zelle bei UV-Bestrahlung zu viel Topoisomerase II produziert, diese also „überexprimiert“. Und können vielleicht Antioxidantien dies verhindern oder Topoisomerase-II-Hemmer die Lichtalterung verlangsamen?

Das Forschungsfeld dieses seit Sommer 2004 bestehenden Graduiertenkollegs ist recht scharf fokussiert. Das bietet den Vorteil einer sehr engen Zusammenarbeit, zum Beispiel auch zwischen dem Kolleg und dem Sonderforschungsbereich der DFG „Molekulare und zelluläre Mediatoren exogener Noxen“. „Die Kollegiaten werden sehr intensiv betreut“, versichert Jean Krutmann. So muss jeder Doktorand auch in anderen Labors arbeiten, hat quasi neben dem eigenen noch weitere Komplementär-Doktorväter, die entsprechend Feedback geben.

„Es ist gut, außer unserem eigenen Mosaiksteinchen auch andere wahrzunehmen“, bestätigt Tobias Jung. Sein Puzzleteil ist ein Proteinkomplex, der wie eine Art Müllabfuhr agiert: das Proteasom. „Wenn Oxidantien eine Zelle belasten, entstehen fehlerhafte Proteine, die ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen können und entfernt werden müssen. Das macht das Proteasom.“ Zurzeit arbeitet der Stipendiat an Neuronen, die er aus dem Hippocampus von Mäusen gewonnen hat und die er biochemisch unter Stress setzt, etwa mit Wasserstoffperoxid, das sich in ein sehr unangenehmes Radikal verwandelt, wenn es in der Zelle auf Eisen, Kupfer oder Zink trifft. So kann er beobachten, wie sich die geschädigten Proteine verteilen und wie das Proteasom diese abbaut.

Eines der großen Probleme unserer recht betagten Gesellschaft sind

neurodegenerative Erkrankungen, die Mediziner auch Demenz nennen. Wenn Teile des Gehirns im Alter versagen, liegt es, so vermutet man, auch an oxidativem Stress und daran, dass die Schutzmechanismen in der Nervenzelle nicht mehr funktionieren. Morbus Alzheimer ist von allen Demenzerkrankungen die häufigste. Neben den amyloiden Plaques, früh auftretenden Ablagerungen zwischen den Neuronen vor allem im Hippocampus und in der Großhirnrinde, sind Bündel aus „Tau-Protein“ ein charakteristisches Kennzeichen bei Alzheimer. Die Tau-Proteine verklumpen in einer späteren Phase der Erkrankung in den Nervenzellen selbst und verstopfen ihre Leitwege. Ihre Dichte steht in direktem Zusammenhang mit dem geistigen Verfall. Das Proteasom erkennt offenbar dieses fehlerhafte Protein nicht. „Es existieren schon Medikamente, welche die Aktivität des Proteasoms beeinflussen“, so Tobias Jung. Weil sie aber noch in den Kinderschuhen stecken, gibt es für Wissenschaftler wie ihn noch viel zu tun.

„Es ist gut, auch andere Mosaiksteinchen im Kolleg wahrzunehmen.“

tieren schon Medikamente, welche die Aktivität des Proteasoms beeinflussen“, so Tobias Jung. Weil sie aber noch in den Kinderschuhen stecken, gibt es für Wissenschaftler wie ihn noch viel zu tun.

Auch bei Demenz-Erkrankungen sind wahrscheinlich Risikofaktoren aus der Umwelt wie die Ernährung oder Feinstaub im Spiel. Ob es um so schwer wiegende Alterserscheinungen wie Alzheimer oder Gebrechlichkeit geht oder „nur“ um Schönheitsfehler wie eine erschlaffende Haut – wir alle möchten gern lange leben, ohne alt zu werden. Die eine oder andere Art von Jungbrunnen verspricht schon längst die Industrie mit Anti-Aging-Mitteln: von Cremes über Hormonersatz bis zu Nahrungsergänzungstoffen. „Da gibt es aber auch viel heiße Luft“, urteilt Jean Krutmann. „Deshalb haben wir Wissenschaftler eine besondere Verantwortung, fundiert und ehrlich an einem Problem zu arbeiten, das uns alle berührt.“

mk

Wandlungen durch Licht

Licht ist die Hauptenergiequelle für das Leben auf unserem Planeten. Den Pflanzen gelang es in der Evolution, mit Hilfe von Chlorophyll die Energie des Sonnenlichtes zu nutzen. Licht dient den Organismen als Informationsquelle, Licht ist Katalysator vieler chemischer Prozesse, Licht lässt sich mittels der Photovoltaik direkt in Strom umwandeln, und Ärzte schätzen Licht als Bestrahlungsmedium zur Heilung vieler Krankheiten. Aber die damit zusammenhängenden Stichworte „Photosynthese“, „Photosensorik“, „Photochemie“ und „Phototherapie“ deuten an, warum unser Wissen von der Licht-Materie-Wechselwirkung immer noch sehr unvollständig oder lückenhaft ist: „Um zu fundamentalen neuen Erkenntnissen zu kommen“, sagt Professor Bernhard Dick, Sprecher des Graduiertenkollegs „Sensorische Photorezeptoren in natürlichen und künstlichen Systemen“ an der Universität Regensburg, „müssen Biologen und Physiker, Chemiker und Mediziner interdisziplinär zusammenwirken, und das hat noch keine allzu lange wissenschaftliche Tradition, ist mit einem teilweise schwierigen Lernprozess verbunden.“

Bernhard Dick ist Chemiker, sein Fachgebiet die Spektroskopie. Als er zum Kreis der Betreuer im Graduiertenkolleg stieß, dachte er zunächst, es ginge nur darum, sich mit seinen Fachkenntnissen nützlich zu machen. Sehr schnell stellte er dann aber fest, dass er sich auf ein wissenschaftliches Abenteuer eingelassen hatte, das ihn immer noch fasziniert und anspricht: „Zu meiner Schulzeit war die Biologie noch eine mehr deskriptive Wissenschaft, so dass ich selbst hier im Graduiertenkolleg plötzlich unendlich viel Neues aus der Molekularbiologie lerne.“

Es geht in dem Graduiertenkolleg darum, Prinzipien natürlicher Photorezeptoren zu verstehen und Konzepte für möglichst einfache

künstliche Photosysteme zu entwickeln. Von Anfang an war es für alle Beteiligten eine Herausforderung, sich auf die unterschiedlichen Fachsprachen der beteiligten Disziplinen – Physik, Biologie, Chemie und Medizin – einzustellen und eine gemeinsame Sprache zu entwickeln. Die gegenwärtig vierzehn Stipendiaten des Graduiertenkollegs sind mit ihren Doktorarbeiten an den Schnittstellen von Medizin, Chemie, Physik und Biologie in die vorderste Front international ausgerichteter Grundlagenforschung eingebunden, denn viele Details der Mechanismen, wie Organismen Lichtsignale empfangen und verarbeiten, sind noch völlig unbekannt.

„Zur Wechselwirkung von Materie und Licht kann ein Physiker etwas anderes sagen, als ein Chemiker oder Biologe“, sagt Bernhard Dick. So wie er selbst versäumen darum auch seine Kollegen nur selten die wöchentlich angesetzte Ringvorlesung des Kollegs, die über einen Zyklus von mehreren Semestern den Kollegiaten – ebenfalls Mediziner, Biologen, Physiker oder Chemiker – eine Tour d'Horizon zum aktuellen Wissensstand der Lichtabsorption liefert.

„Fast täglich wird auf unserem Forschungsgebiet neues Wissen erarbeitet“, berichtet Bernhard Dick. Inzwischen sind sechs Gruppen von Photorezeptoren bekannt: Rhodopsine, Phytochrome, Xanthopsine, Cryptochrome, Phototropine und die so genannten BLUF-Proteine. Die vier letzten Gruppen sind Blaulichtrezeptoren – Stoffe also, die Licht zwischen 400 und 500 Nanometer Wellenlänge absorbieren. Die letzten drei davon kennzeichnet eine Flavin-basierte Photochemie. „Das wissen wir allerdings erst seit wenigen Jahren, und an der Entschlüsselung der Reaktionsmechanismen waren Regensburger Forscher aus dem Graduiertenkolleg entscheidend beteiligt“, sagt Dick nicht ohne Stolz.

Flavine sind natürliche, gelbe Farbstoffe; eine wichtige Substanz dieser Gruppe ist das zum Vitamin-B2-Komplex gehörende Riboflavin. Dick hat im Graduiertenkolleg die Tücken interdisziplinärer Zusammenarbeit schon kennen gelernt, denn das chemische Verhalten der Flavine hielt eine Überraschung bereit: Ganz selbstverständlich war er bei einer Forschungsarbeit von der für Chemiker nahe liegenden Annahme ausgegangen, dass die Reaktionen von Flavin-Proteinen

*„Biologen, Chemiker,
Mediziner, Physiker finden
eine gemeinsame Sprache.“*

nach einer Redoxreaktion verlaufen, also Elektronen übertragen würden. Es stellte sich dann aber heraus, dass etwas ganz anderes passierte: „Es wird bei der lichtgetriebenen Reaktion eine richtige chemische Bindung zwischen dem Flavin und einer Aminosäure gebildet, die sich dann nach einigen Minuten wieder auflöst.“ Für Dick ein Beleg dafür, dass „vermeintlich sicheres Fachwissen an den Disziplinengrenzen mit Vorsicht zu betrachten ist.“

Christian Vogl untersucht nun in seiner Doktorarbeit solche Proteine, die eine Flavogruppe tragen. „Dazu eignen sich am besten Proteine, die modifizierte, also radioaktiv markierte oder im Redoxpotenzial veränderte Flavogruppen tragen“, berichtet er. Um sie zu erhalten, entfaltet man bislang die Proteinstrukturen, tauscht die natürlichen Flavogruppen gegen synthetische aus und bringt schließlich das Protein wieder in seine Ursprungsconfiguration zurück. Da die Ausbeute an modifizierten Flavoproteinen bei diesem Verfahren relativ gering ist, will Vogl ein Expressionssystem auf Basis des Bodenbakteriums *Bacillus subtilis* aufbauen: „Das

Bakterium soll die Information erhalten, möglichst viel von einem bestimmten Protein zu produzieren und zugleich die von außen zugeführten künstlichen Flavine über einen Transportmechanismus aufnehmen und in die gewünschten Proteine einbauen.“ Wenn alles gut geht, hätte er „zwei Fliegen mit einer Klappe“ geschlagen, nämlich einerseits eine „ergiebige Produktion“ von Flavoprotein, um die Blaulicht-Absorption sowie die sich daran anschließenden Reaktionen im Protein studieren zu können, und zudem hätte er eine Variation von künstlich modifizierten Proteinen erhalten. Stolpersteine gibt es genügend: „Zunächst gilt es den Mechanismus der Aufnahme des künstlichen Riboflavins in das Bakterium zu untersuchen. Geht das wirklich? Und wenn ja, kann ich das optimieren?“

Wolfgang Bachleitner ist auf der Suche nach einem noch unbekanntem Photorezeptor, der die innere Uhr von Taufliegen synchronisiert. Um sich täglich an den 24-Stunden-Rhythmus der Erde anzupassen, nutzen viele Organismen Licht als Zeitgeber. „Bei der Taufliege *Drosophila melanogaster* konnte nachgewiesen werden, dass mehrere Photorezeptoren beziehungsweise -pigmente für die Synchronisation dieser circadianen Oszillation genutzt werden“, berichtet Bachleitner: „Die Komplexaugen, die Stirn- und die so genannte Hofbauer-Buchner-Äuglein und der Blaulichtrezeptor Cryptochrom.“ Verblüffend ist nun – diese Erkenntnis wurde im Graduiertenkolleg gewonnen –, dass so genannte Knock-out-Mutanten, denen diese Rezeptoren komplett fehlen, dennoch auf Licht reagie-

ren: „Es müssen also noch weitere Photorezeptoren existieren“, vermutet Bachleitner und hat dafür auch einen Kandidaten: „Es könnte das Gen mit der Bezeichnung Rh7 sein, ein siebtes Rhodopsin also, dessen Sequenz im Genom der Fruchtfliege entdeckt wurde.“ Bachleitner hat nun eine Mutante der Fruchtfliege erzeugt, in der das Rh7 überexprimiert, also stark angereichert wird, und will deren Verhalten mit Knock-out-Fliegen vergleichen, die kein Rh7 haben.

„Bei meiner Arbeit hier im Graduiertenkolleg geht es um Zellmembranen“, berichtet Christian Horn. Jede Zelle ist von einer Membran umgeben, die zum Beispiel Rezeptoren zur Signalweiterleitung enthält oder solche, an denen Viren andocken, um die Zelle zu infiltrieren. Eine wichtige Art von Proteinen innerhalb der Zellmembran sind so genannte Ionenkanäle. „Nach zahllosen Versuchen und ständigen Verbesserungen gelang es erstmals Erwin Neher und Bert Sakmann 1976, den Ionenstrom durch einzelne Kanäle in der Zellmembran einer Muskelfaser zu messen“, berich-

tet Horn, „1991 bekamen sie dafür den Nobelpreis.“

Die heute üblichen Techniken, Zellmembrane künstlich aufzubauen und in ihrer Funktion zu testen, haben immer noch ihre Tücken. Unbefriedigend ist es sowohl, sie vor einer Art Lochblende aufzuspannen – denn so halten sie nicht lange –, als auch auf einen festen Untergrund zu legen, denn dann kann man auf einer Seite nicht messen. Horn hat nun als Untergrund eine nanostrukturierte Oberfläche aus porösem Aluminiumoxid entwickelt, die es erlaubt, zu beiden Seiten der Membran die Diffusionsprodukte zu messen. Getestet hat er sie mit Bacteriorhodopsin, einem Protein, das unter Lichteinwirkung Protonen durch die Membran transportiert.

Horns Doktorarbeit nähert sich dem Ende: „Den Stromfluss konnte ich messen“, sagt er „und das über mehrere Tage hinweg.“ Bei konventioneller Messanordnung hätte das System nur ein paar Stunden funktioniert. Aufgrund ihrer Langzeitstabilität ist seine Technik möglicherweise für die Entwicklung von Biosensoren von Interesse. **db**



Zwei mal *Bacillus subtilis*: Rechts eine Kultur, die genetisch so verändert wurde, dass sie Riboflavin überproduziert und in das umgebende Kulturmedium abgibt. Links die genetisch unveränderte Kultur, die nur soviel Riboflavin produziert, wie sie selbst braucht. Davon gibt sie nichts ins Medium ab, so dass hier auch keine Fluoreszenz im ultravioletten Licht zu sehen ist.

Christian Vogl

Fallstricke der Wahrnehmung

Ende 2004 wurde der niederländische Filmemacher Theo van Gogh, der mit seinen Ansichten über islamische Traditionen provozierte, von einem marokkanischen Immigranten ermordet. In den Niederlanden, die auf ihre liberale Einwanderungspolitik bis dahin so stolz waren, kam es daraufhin zu einem Ausbruch von Fremdenfeindlichkeit, der zahlreiche Moscheen und Koranschulen in Flammen aufgehen ließ. Welche Mechanismen sind dafür verantwortlich, dass sich Muslime in den Niederlanden nach dem Mord nicht mehr heimisch fühlen dürfen? Wie entstand und verbreitete sich das neue Wir-Gefühl, das „die anderen“, die Muslime, nun ausschließt?

„Die anderen – dieser Begriff lässt sich höchst flexibel auslegen“, sagt Professor Amélie Mummendey, Sozialpsychologin und Sprecherin des Graduiertenkollegs „Konflikt und Kooperation zwischen sozialen Gruppen“ an der Universität Jena. Bei einem Bundesligaspiel nimmt zum Beispiel der Fan aus Mönchengladbach die Fußballer

aus München als „die anderen“ wahr. Bei einem Länderspiel hingegen gehören sie zu „seiner“ Nationalmannschaft – auch wenn die Gegner aus den viel näher gelegenen Niederlanden kommen.

Die Psychologin Mirjam Dolderer hat den Mordfall Theo van Gogh zum Ausgangspunkt ihrer Doktorarbeit genommen. Ihr Interesse gilt der Stereotypenforschung. „Bislang wurde meist untersucht, ob es die Wahrnehmung einer ganzen Gruppe positiv beeinflussen kann, wenn ein Mitglied dieser Fremdgruppe Achtung genießt“, berichtet sie. Aus der Literatur ist allerdings bekannt, dass dies in der Regel nicht so ist. Die positive Wahrnehmung eines Einzelnen wird nicht verallgemeinert, sondern als Ausnahme betrachtet, „ein Prozess, der in der Psychologie als Subtyping bekannt ist“. In ihrer Doktorarbeit untersucht Dolderer nun, was passiert, wenn umgekehrt ein Mitglied einer sozialen Gemeinschaft in extremer Weise die seiner Gruppe zugeschriebenen Eigenschaften oder Verhaltensweisen bestätigt, wie

der Mörder von van Gogh. Psychologen nennen dies ein Stereotyp. „Verstärkt sich dann das Stereotyp?“

Um die Frage zu beantworten, hat Dolderer zunächst anhand eines Fragenkatalogs ermittelt, wie die Bevölkerung Menschen arabischer Herkunft wahrnimmt. Neben dieser eigentlichen Vergleichsgruppe befragte sie eine weitere Gruppe, die sie zugleich bat, auch über ihre Erinnerungen an die Details des Mordes an van Gogh Auskunft zu geben. Eine dritte Gruppe sollte sich an Einzelheiten des Mordes an Rudolph Mooshammer in München Anfang dieses Jahres erinnern. Das Ergebnis: Diejenigen, die an den Mord an Mooshammer erinnert wurden, beurteilten Menschen arabischer Herkunft wesentlich negativer. Im Unterschied dazu veränderte sich dieses Bild durch die Erinnerung an den van Gogh-Mord nicht.

Das Verhalten eines Einzelnen hatte also zu einer Verstärkung des Stereotyps beigetragen, „allerdings nicht dort, wo ich es erwartet hätte“, sagt Dolderer, „nach Erinnerung an den Mooshammer-Mord war das Bild von Menschen arabischer Herkunft deutlich negativer, obwohl diesem Mord – anders als in den Niederlanden – kein Intergruppenkonflikt, sondern Habgier zugrunde lag“. Unterschiedliche Erklärungsmuster will Mirjam Dolderer nun in einer Folgestudie überprüfen.

Die Dynamik und die Veränderungsprozesse innerhalb und zwischen Gruppen ist Thema der Forschung in Jena. „Je globaler die Welt wird, um so mehr werden damit einhergehende Lager-



dpa-Fotoreport

Der offenbar religiös-fundamentalistisch motivierte Mord an Theo van Gogh – hier Teilnehmer der Beerdigung in Amsterdam – brachte die Bevölkerung der Niederlande in Rage.

bildungen ein Problem“, sagt Professor Peter Noack, der in Jena Pädagogische Psychologie lehrt und am Graduiertenkolleg mitwirkt. „Schauen Sie sich an, was geschieht, wenn zwei Unternehmen fusionieren oder zwei benachbarte Schulen zusammengelegt werden sollen. Da prallen die gewachsenen Vorstellungen von Gruppen aufeinander, und Lösungen liegen meist nicht leicht auf der Hand“, unterstreicht Amélie Mummendey die Relevanz des Forschungsgebietes.

„Das Graduiertenkolleg ist ein fantastischer Kristallisationspunkt, um die Forschung zu den Intergruppenbeziehungen voranzubringen“, sagt seine Sprecherin, „neben den Doktoranden haben wir Postdocs eingebunden, und unsere Arbeit hier strahlt bis in das Grundstudium aus“. Von vornherein hat sie ein internationales Kolleg im Fach Psychologie geplant und eingerichtet. Beteiligt sind drei weitere Universitäten in Großbritannien und Belgien. „Das Fach ist international, und im Kollegenkreis sorgt nun unser Graduiertenkolleg für Überlappungen der verschiedenen Subdisziplinen, der entwicklungspsychologischen, pädagogischen oder sozialpsychologischen Perspektiven“, merkt Peter Noack an.

Die Universität Jena hat die mit dem Kolleg verbundenen Chancen für die universitäre Forschung erkannt und als Sitz eine Villa ganz in der Nähe des Instituts für Psychologie zur Verfügung gestellt. „Dieser relativ luxuriöse Rahmen ist nicht zu unterschätzen, um eine eigene Identität im Kolleg herauszubilden. Er sorgt zudem für den Druck, auch etwas Gutes zu leisten“, sagt Amélie Mummendey. Sie weiß, dass die Entwicklungsphase eines Graduiertenkollegs „eine komplizierte, komplexe Angelegenheit ist.“ Unterschiedliche Lebensphasen und Zielsetzungen treffen aufeinander, Regeln müssen geschaffen werden und sich in der Praxis als tauglich erweisen.

Seit Anfang 2004 ist Daniel Geschke Mitglied im Graduiertenkolleg. In seiner Doktorarbeit untersucht er das Phänomen der Akkulturation, also den Prozess

des Zusammenwachsens verschiedener Kulturen. Hierzu hat Geschke die Bewohner jenes Jenaer Stadtteils nach ihren Einstellungen Fremden gegenüber befragt, in dem es Mitte letzten Jahres erheblichen Wirbel um den Standort eines neuen Asylbewerberheims gegeben hatte. „Und das, obwohl es nur um etwa 100 Asylbewerber ging – eine gegenüber der deutschen Majorität von rund 20000 Einwohnern vernachlässigbar geringe Anzahl.“ Geschke hat die Meinungen der Einwohner über Ausländer in zwei Befragungsrunden

„Die Psychologie ist international, und so ist es auch das Graduiertenkolleg.“

erfasst – einmal vor der Öffnung des Asylbewerberheims und ein andermal geraume Zeit danach. So will er ermitteln, ob die ursprünglichen Befürchtungen mit den tatsächlichen Wahrnehmungen im Alltag übereinstimmen.

„Die ersten Ergebnisse meiner Arbeit zeigen zum Beispiel, dass die ortsansässigen Deutschen nicht bereit waren, fremde Elemente in ihre eigene Kultur aufzunehmen“, berichtet er. Tatsächlich wird Akkulturation häufig von Vorurteilen oder Ängsten vor Gewalt und Kriminalität begleitet, weiß er, obwohl ein solcher Prozess für die gastgebende Bevölkerung häufig von großem Nutzen ist. Insofern haben ihn seine ersten Ergebnisse auch nicht erstaunt. Zu bestätigen scheint sich seine Hypothese, dass die Wahrnehmungen der Befragten mit ihren individuellen politischen Vorlieben korrelieren. „Was ich darüber denke, was die Fremden wollen, versetzt mich entweder in eine positive oder negative Grundstimmung ihnen gegenüber und ist auch leitend in der Frage der Politik, die ich den Fremden gegenüber angewendet wissen möchte.“

Die meisten sprachen sich in der ersten Fragerunde für eine Politik der Assimilation aus, wünschten also, dass die Migranten sich der vorherrschenden deutschen Kultur anpassen sollten. Geschke ist nun

gespannt, was die zweite Fragerunde hervorbringt. Haben sich Vorurteile verstärkt? Oder aber, und das würde ihn freuen, haben sich vielleicht auch Wahrnehmungen des Fremden im Prozess der Akkulturation positiv verändert?

Die Psychologin Ilga Vossen steht kurz vor dem Abschluss ihrer Doktorarbeit. Sie hat im Graduiertenkolleg Daten zu einem Phänomen zusammengetragen, das sie „Lack of fit“ nennt. Das hat etwas damit zu tun, das Mitglieder einer Organisation Vorstellungen darüber haben, wie das Idealbild eines Mitgliedes aussieht. „Ein solcher idealtypischer Prototyp wird, etwa in einem Unternehmen, zum Maßstab für die Bewertung der Mitarbeiter“, sagt Vossen.

Lack of fit beschreibt nun die individuelle Abweichung von diesem Idealbild, wobei die Vorstellungen darüber kontext- und oft branchenabhängig sind. Erst vor wenigen Jahren konnte die Bedeutung des Lack of fit für die Auswahl von Bewerbern experimentell nachgewiesen werden: Leistungen wurden zum Beispiel schlechter bewertet.

Ilga Vossen hat nun analysiert, wie Frauen sich in Organisationen selbst wahrnehmen, und festgestellt, dass sie sich je nach Ausprägung des Lack of fit völlig anders verhalten: „Wenn Frauen sich in einer Organisationsstruktur als nicht gut passend empfinden – etwa in einem von Männern dominierten Technikumfeld –, dann identifizieren sie sich wenig mit ihrer eigenen Gruppe, also mit ihren weiblichen Kollegen.“ Andererseits konnte Vossen feststellen, dass eine hohe Prototypikalität – etwa von Frauen in der Werbe- und Marketingbranche – bewirkt, dass sie sich stark mit ihrer Gruppe, den Frauen im Unternehmen, identifizieren.

„Diese unterschiedlich ausgeprägte Gruppenidentifikation mit den weiblichen Kollegen beeinflusst entscheidend, wie stark sich Frauen für ein Unternehmen einsetzen und wie viel sie leisten“, zieht Vossen ein Fazit, denn „Frauen sind bereit, sich stärker für die Organisation einzusetzen, wenn sie als prototypisch wahrgenommen werden.“ **db**

Frauenherzen, Männerherzen

Wenn das Herz nicht mehr richtig schlägt, ist die Lebensqualität sehr stark beeinträchtigt. Etwa 10 Prozent aller Menschen über 70 Jahre leiden an einer solchen Herzinsuffizienz, bei der die Pumpfunktion unseres wichtigsten Muskels eingeschränkt ist. Die Folge ist meist Herzversagen. Eine der häufigsten Ursachen für eine Herzinsuffizienz ist die Myokardhypertrophie, ein krankhaft gesteigertes Wachstum des Herzens. Wir kennen das Phänomen vor allem von Leistungssportlern, aber auch der ganz normale alltägliche Stress trägt dazu bei, dass sich der Muskel vergrößert. Ein hoher Blutdruck oder Herzklappenfehler sowie eine erbliche Disposition sind weitere begünstigende Faktoren. Anfangs ist dieser Effekt durchaus gesund, denn das Herz passt sich einfach den Belastungen an. Im späteren Stadium allerdings hat die Hypertrophie fatale Konsequenzen, die damit beginnen, dass zum Beispiel die Blutversorgung des vergrößerten Organs nicht mehr gewährleistet ist oder die Umbauprozesse fehlgesteuert werden.

Erst in den letzten zehn Jahren haben Mediziner durch Bevölkerungsstudien erfahren, dass die Herzen von Männern und Frauen unterschiedlich funktionieren. Junge Frauen sind offenbar vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen besser geschützt als Männer; wenn jedoch erst die Menopause eingesetzt hat, treten solche Leiden nicht nur häufiger auf, sie verlaufen auch schwerer, und die Frauen sterben früher. Warum aber ist dies so? Im Tier- und Zellkultur-Experiment sind geschlechtsspezifische Einflüsse noch unzureichend erforscht. „Wir haben uns vorgenommen, die Wissenslücke zu füllen“, sagt Professor Vera Regitz-Zagrosek, die Sprecherin des Graduiertenkollegs „Geschlechtsspezifische Mechanismen bei Myokardhypertrophie“, in dem Gruppen aus dem Deutschen Herzzentrum Berlin,

der Charité, dem Max-Delbrück-Zentrum für molekulare Medizin und der Freien sowie Humboldt-Universität mit Förderung durch die DFG zusammenarbeiten. Früher haben die biomedizinische und die pharmazeutische Forschung Geschlechterunterschiede vernachlässigt. Männliche Versuchstiere standen im Vordergrund, und klinische Studien schlossen überwiegend Männer ein.

Die Erkenntnis, dass Frauen nach den Wechseljahren schwerer von Myokardhypertrophie betroffen sind, legt die Vermutung nahe, dass das Östrogen dabei eine entscheidende Rolle spielt. Da die Eierstöcke in dieser Lebensphase allmählich

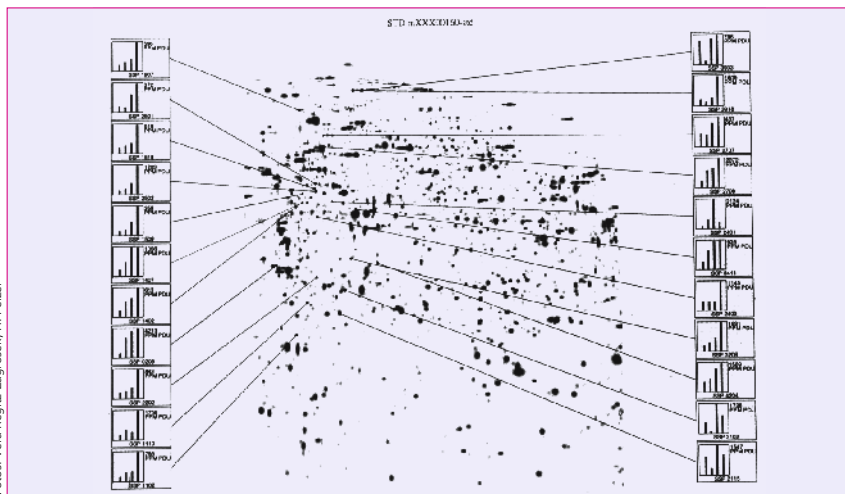
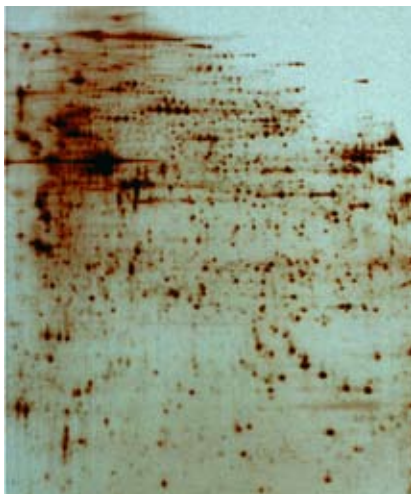
*„Unser Dialog mit
Medizinern schärft den Blick
für klinische Probleme.“*

aufhören, dieses Sexualhormon zu bilden, könnte es eine Schutzfunktion haben. Tierexperimente haben diese Annahme bereits bestätigt: Ratten mit einem Mangel an Östrogen entwickelten eine Hypertrophie, andere, denen Östrogen verabreicht wurde, hingegen nicht. Über die Gründe möchte Thi Hang Pham mehr herausfinden. Die Biologin, die in Vietnam geboren und in Deutschland aufgewachsen ist, promoviert über die Wirkung von Östrogen auf das Herz.

Das Steroidhormon beeinflusst nicht nur die Regionen, die den weiblichen Körper auf Fortpflanzung vorbereiten, indem es etwa die Brustdrüsen auf Milchproduktion programmiert. Es hat auch Effekte auf das Gehirn, die Leber oder die Bauchspeicheldrüse. Und auf Herz und Kreislauf: Es beeinflusst Wachstumsprozesse des Herzens, die Bildung von Bindegewebe und auch den Gehalt von Calcium, einem der wichtigsten biochemischen Stoffe, der für die

Kontraktion des Muskels sorgt. Entscheidend dabei sind Rezeptoren, die an der Zelloberfläche oder im Zellinneren sitzen und eine Botschaft vom Zelläußeren ins -innere und/oder in den Zellkern vermitteln: Botenstoffe wie Östrogene entfalten ihre Wirkung erst, indem sie diese Rezeptoren in Gang setzen, etwa wenn der Organismus unter Stress gerät. „Ich versuche herauszufinden, wie die Östrogen-Rezeptoren funktionieren und wie sie sich bei Männern und Frauen unterscheiden,“ sagt Thi Hang Pham; denn auch Männer verfügen über das weibliche Sexualhormon, allerdings in sehr geringer Menge. Die Doktorandin konzentriert sich auf die Interaktionspartner: welche Eiweiße mit den Rezeptoren wechselwirken, welche Umstände diese Interaktion stimulieren und wie die molekularen Reaktionen überhaupt aussehen. Auch die Stoffwechselwege nimmt sie unter die Lupe, will erfahren, was geschieht, wenn sie die Rezeptoren ausschaltet oder zu stark anschaltet. Ihr Medium ist Hefe, in die sie Östrogen-Rezeptor-Domänen einbringt und eine Genbibliothek nach möglichen Interaktionspartnern absucht. Da Hefe nur eingeschränkt aussagekräftig ist, wird sie später ihre Ergebnisse an Tierexperimenten validieren.

Am Ende wollen die Wissenschaftler wissen, ob sich die mögliche Schutzfunktion von Östrogen-Rezeptoren therapeutisch nutzen lässt. Dies ist allerdings eine äußerst schwierige Aufgabe. „Was an der einen Stelle nützt, schadet an einer anderen“, sagt Thi Hang Pham, denn Östrogene sind zwiespältig. Welch fatalen Schaden das Hormon anrichten kann, haben wir an den Nebenwirkungen gesehen, die bei einer Östrogen-Behandlung von Frauen in der Menopause auftreten können: Es fördert Brust- und Gebärmutterkreislipshautkrebs. Will man irgendwann einmal Östrogen einsetzen, ist die exakte



Fotos: Vera Regitz-Zagrosek, H. Peizer

Bestimmung jener Signalübermittlungswege, die eine Hypertrophie unterdrücken, um so wichtiger.

Für die Unterschiede zwischen Männern und Frauen sind indes zuerst einmal die Gene verantwortlich, die das X- beziehungsweise das Y-Chromosom beherbergt. Jörg Isensee, der einen Master in Life Sciences hat, möchte in seiner Doktorarbeit Erbfaktoren identifizieren, deren Regulation durch das Geschlecht beeinflusst werden: Um zu ermitteln, wie unterschiedlich stark bestimmte Gene ein- oder ausgeschaltet sind, untersucht er Herzgewebe beider Geschlechter und mehrerer Altersgruppen. Ihn interessiert also die Expression, die Synthese eines Proteins nach dem Bauplan der DNA auf einem Gen. Mit DNA-Microarrays kann er die Expression mehrerer tausend Gene experimentell vergleichen: Auf der Glasoberfläche eines Objektträgers ordnet ein Miniatur-Roboter die DNA-Sequenzen in Reihe und Glied an und fixiert sie. „Ich hoffe, Kandidatengene zu finden, die schon im gesunden Herzen bei Frauen anders als bei Männern angeschaltet sind und die an der Entwicklung von Hypertrophie beteiligt sind,“ sagt er.

Auch Sexualhormone wirken sich auf die Genexpression aus, denn die wichtigsten Östrogen-Rezeptoren sind auch Transkriptionsfaktoren, das heißt sie binden Östrogen und schalten zugleich im Zellkern Gene an. Eine höhere Konzentration des Hormons verstärkt offenbar diesen Effekt und löst eine Signalkaskade aus. Jörg

Isensee hofft, am Ende ein klareres Bild von den Geschlechterunterschieden im Herzen zu erhalten.

„Die rege und gute Kooperation zwischen den Arbeitsgruppen bringt viele Synergien“, überlegt Vera Regitz-Zagrosek, und die Kollegiaten profitieren von ihrem Blick auf andere Disziplinen und Methoden. Die Biologen wissen besonders den Dialog mit Medizinern zu schätzen. „Wir sind sehr auf die molekularen Details fixiert, und so ist es gut, durch Mediziner auch den gesamten Körper sehen zu lernen“, sagt Thi Hang Pham, und Jörg Isensee ergänzt: „Dadurch erkennen wir die medizinisch relevanten Fragen und die praktischen klinischen Probleme.“ Umgekehrt gilt dies natürlich auch; denn schließlich gelingt es erst durch die Fortschritte in der molekularbiologischen Forschung, mehr und mehr grundlegende Mechanismen bei der Entstehung und im Verlauf von Erkrankungen aufzuklären.

Aysun Karatas nutzt zum Beispiel den klinisch recht gut untersuchten Effekt von Bluthochdruck. Die in Istanbul geborene Biotechnologin fragt sich in ihrer Promotion, welche vom Bluthochdruck unabhängigen geschlechtsspezifischen Faktoren die Entwicklung einer Hypertrophie befördern. Wenn Mäusen Blutdruck steigernde Substanzen verabreicht werden, kommt es innerhalb weniger Wochen zu einem Nierenschaden und einer Hypertrophie der linken Herzkammer. Senkt man den Blutdruck durch Medikamente wieder, kann sie die Schäden entkoppelt

Östrogen kann die Aktivität von Proteinen beeinflussen. Herz-Fibroblasten, Zellen, die das Bindegewebe aufbauen, wurden mit steigenden Konzentrationen des Hormons stimuliert; mit „Gellektrophorese“ wurden die Proteine aufgetrennt (links). Rechts die Auswertung: Die Punkte zeigen Proteinspots, deren Menge bei steigenden Östrogenkonzentrationen zu- oder abnimmt.

von der Hypertonie untersuchen. Aysun Karatas erforscht nun vergleichend an männlichen und weiblichen Mäusen, was die Vergrößerung der linken Herzkammer jeweils provozieren könnte. Ihr Interesse richtet sich auf Calcineurin, ein Protein, das Calcium bindet. Entsteht Hypertrophie, wenn der Signalweg von Calcineurin gestört ist? Und ist es wieder das Östrogen, das den Stoffwechselweg des Calcineurins aktiviert? Antworten darauf sollen dann Knockout-Mäuse geben, denen der Östrogen-Rezeptor fehlt.

Die medizinische Geschlechterforschung ist ein noch junges Fachgebiet, und Vera Regitz-Zagrosek betont nicht ohne Stolz die Pionierarbeit, die das Graduiertenkolleg auf diesem Gebiet leistet. Die beteiligten Naturwissenschaftler und Mediziner lernen nicht nur interdisziplinär und auf internationalem Niveau. „Dass im Jahr 2003 an der Charité das Zentrum für Geschlechterforschung entstehen konnte, ist auch diesem Graduiertenkolleg zu verdanken.“ **mk**

Im Kleinen liegt das Große

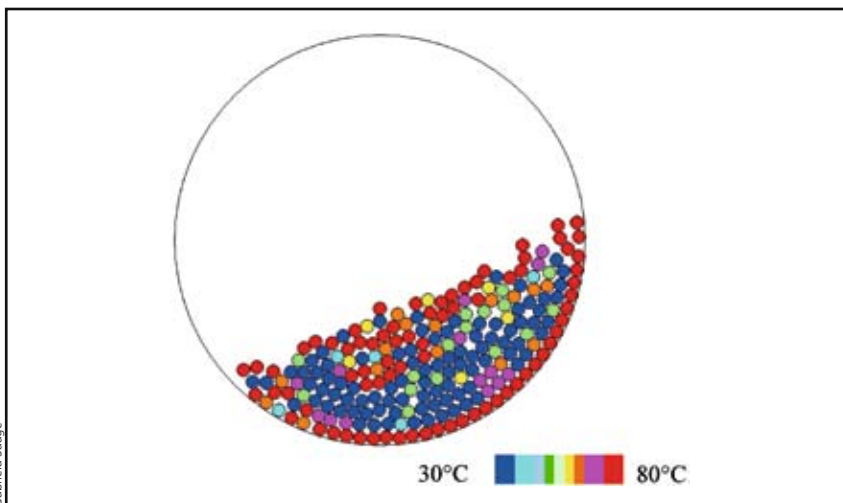
Mehrere Filme auf der Homepage des Graduiertenkollegs „Mikro-Makro-Wechselwirkungen in strukturierten Medien und Partikelsystemen“ vermitteln einen anschaulichen Eindruck von den Forschungsarbeiten in Magdeburg. Die Festkörperphysikerin Gabriela Saage hat zum Beispiel eine Diskrete-Elemente-Simulation eines Durchmischungsprozesses von Granulat ins Netz gestellt. Schnell heruntergeladen und gestartet,

ist teuer.“ Etwa zehn Prozent des gesamten industriellen Energieverbrauchs entfallen auf Trocknungsprozesse.

Um nun den Energieaufwand für die Verwandlung von Feuchte in Dampf optimieren zu können, suchen die Ingenieure solche Trocknungsprozesse anhand von Modellen abzubilden, mathematisch zu beschreiben und mit dem Computer zu simulieren. Aus dem Aufenthaltsort der einzelnen Gra-

Dabei kommt es darauf an, nur die für das Makroverhalten relevanten Informationen herauszufiltern und zu betrachten, „denn nicht alles, was sich auf der Mikroebene findet, ist für das Verständnis des Makroverhaltens wichtig“, erläutert der Mathematiker und stellvertretende Sprecher des Graduiertenkollegs, Professor Gerald Warnecke. „Wir nutzen zu diesem Zweck statistische Methoden und mathematische Modelle, die wir zum Teil aus anderen Zusammenhängen übernehmen können, meist müssen wir sie aber im interdisziplinären Dialog mit Ingenieuren und Physikern anpassen oder auch völlig neu entwickeln.“ Im Ergebnis entstehen im Magdeburger Graduiertenkolleg Computersimulationen, die dann daraufhin überprüft werden können, ob die errechneten Abläufe der Wirklichkeit im Experiment entsprechen. Für den Mathematiker Warnecke eine belebende Herausforderung: „Das ist alles sehr komplex und meist nicht mit vorhandenen mathematischen Methoden zu realisieren.“

Dana Zöllner entwickelt zum Beispiel in ihrer Doktorarbeit ein mathematisches Modell für das Wachstum von Körnern in polykristallinen Materialien, denn für die makroskopischen Eigenschaften polykristalliner Stoffe, zum Beispiel Metalle, sind Kornstrukturen sowie deren Veränderungen, hervorgerufen etwa durch eine Wärmebehandlung oder eine Abkühlung, entscheidend. „Es gibt verschiedene Ansätze, diese mikrostrukturelle Entwicklung zu modellieren“, berichtet die Doktorandin, „eine mögliche Methode ist die Monte-Carlo-Simulation, die auf dem Potts-Modell basiert und 1984 erstmals zur Simulation von Kornwachstum in zwei Dimensionen vorgestellt wurde.“ Inzwischen ist die Leistung der Computer erheblich angewachsen, so dass eine 3D-Simulation zu vertretbaren Kosten möglich wurde.

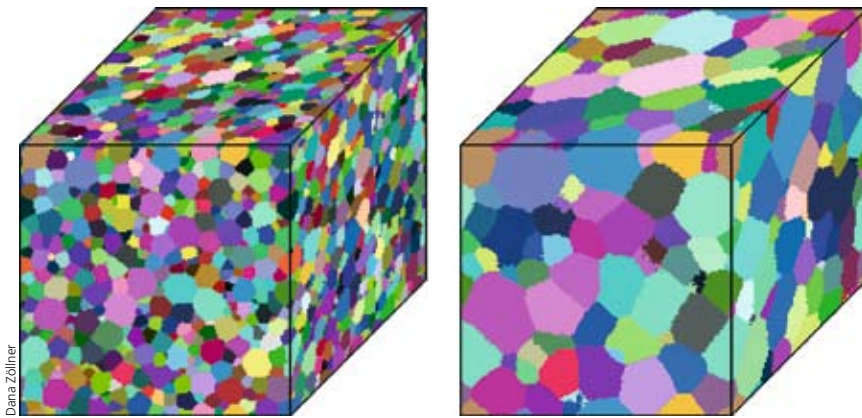


2D-Simulation der Wärmeübertragung an mechanisch durchmischten Schüttgütern: Temperatur-Verteilung im Schüttgut.

dreht sich auf dem Bildschirm eine Trommel, und darin enthaltene Kugeln beginnen sich zu durchmischen. Um den Prozess gut verfolgen zu können, sind sie farblich unterschiedlich markiert. „Eine typische Situation, wie wir sie bei Trocknungsprozessen haben“, kommentiert Professor Evangelos Tsotsas vom Institut für Verfahrenstechnik. „Von Lebensmitteln bis hin zu Kunststoffgranulaten, von Katalysatoren bis zu Pillen sind die materiellen Wirtschaftsgüter meist Feststoffe, die während ihrer Herstellung oder Handhabung irgendwann einmal getrocknet werden müssen“, berichtet er und: „Das

granulatpartikelchen zu bestimmten Zeiten wollen sie später Rückschlüsse auf bessere Verfahrenstechniken ziehen – zum Beispiel die optimale Partikelgröße für den Trocknungsprozess bestimmen. Dafür ist eine enge Zusammenarbeit mit Mathematikern erforderlich, auch mit Physikern.

Tatsächlich besitzen viele Stoffe und Materialien in Natur und Technik eine Mikrostruktur, die ganz wesentlich ihr makroskopisches Verhalten bestimmt, und häufig ist es leichter, die für das Verhalten im Großen verantwortlichen Mechanismen im Kleinen zu studieren und zu beschreiben.



Mit einem modifizierten Monte-Carlo-Algorithmus gelingt es Dana Zöllner, das Wachstum einer kristallinen Mikrostruktur in drei Dimensionen zu simulieren.

Um nun eine dreidimensionale Simulation einer Kornstruktur zu erreichen, deren Wachstumsverhalten einer realen Struktur entspricht, hat Dana Zöllner einen modifizierten Monte-Carlo-Algorithmus entwickelt, mit dem sie die zeitliche Entwicklung einer kristallinen Mikrostruktur sehr großer Korngefüge in zwei und drei Dimensionen schon sehr gut simulieren kann. Bei einer Monte-Carlo-Simulation wird mit zufällig ausgewählten Werten in einem Modell gearbeitet, hier sind es die Gitterpunkte der Kristalle in ihrer zeitlichen Veränderung. Zöllner hat den Algorithmus in einer objektorientierten Programmiersprache implementiert, so dass sie während der Simulation sowohl das Korngefüge als auch die Daten des Gefüges beobachten kann.

„Im Moment sind es noch idealtypische Wachstumsprozesse“, sagt sie, „vor uns liegt noch ein weiter Weg, bis unsere Simulationen so realitätsnah abbilden können, dass zum Beispiel in der Metallurgie kein experimenteller Aufwand mehr nötig wäre.“ In einem ersten Schritt, denkt sie, könnte der nun vorliegende allgemeine Algorithmus so erweitert werden, dass zum Beispiel Einschlüsse im Material, die das Kornwachstum bremsen, mitsimuliert werden können.

Die Bulgarin Mariya Nacheva hatte in Magdeburg schon ihr Ingenieurdiplom abgelegt, bevor sie zum Graduiertenkolleg stieß. In ihrer Doktorarbeit beschäftigt sie sich nun mit der kontrollierten

Abkühlung von Metalloberflächen bei sehr hohen Temperaturen mittels Flüssigkeitstropfen. Auch sie experimentiert nicht in einem metallurgischen Labor, auch ihr geht es um die Erarbeitung von Grundlagen für spätere Computersimulationen, mit denen teure Experimente in der Realität ersetzt oder verkürzt werden sollen.

In der industriellen Praxis wird zum Beispiel Stahl gehärtet, indem man ihn aus dem rotglühenden Zustand in einem flüssigen Medium rasch abkühlt. Hierbei tritt die so genannte Leidenfrostproblematik auf: Zunächst bildet sich zwischen der heißen Oberfläche und der Kühlflüssigkeit ein Dampffilm, der den direkten Kontakt zwischen Metall und Flüssigkeit verhindert.

„Die meisten unserer Kollegiaten kommen aus dem Ausland.“

Erst unterhalb der Leidenfrosttemperatur bricht dieser Dampffilm zusammen, und der direkte Kontakt zur Kühlflüssigkeit führt nun zu einer beschleunigten Abkühlung des Metalls. Es liegt auf der Hand, dass die Lage dieser Leidenfrosttemperatur großen Einfluss auf die künftigen Eigenschaften des Werkstoffs hat. Sie ist abhängig von den Eigenschaften der Kühlflüssigkeit und natürlich der Art und Weise, wie die Flüssigkeit auf das heiße Metall gebracht wird.

In ihrer Arbeit entwickelt Mariya Nacheva nun ein mathematisches Mikromodell für ein repräsentatives Volumenelement, in dem ein Einzeltropfen Kühlflüssigkeit unter Änderung der Einflussparameter seiner Aufbringung auf die heiße Metalloberfläche oberhalb der Leidenfrosttemperatur betrachtet werden kann, denn „der größte Teil der von der heißen Oberfläche an den Tropfen abgegebenen Wärme wird in der ersten Phase des Direktkontaktes übertragen“, berichtet sie. Künftige Arbeiten sollen dann die zeitabhängige Ausbreitung der Tropfen als Funktion von Tropfendurchmesser und Geschwindigkeit der Aufbringung auf die heiße Metalloberfläche ebenso in das Modell integrieren wie deren Oberflächenrauigkeit. „Erst aufgrund eines solchermaßen komplex ausgebauten Mikromodells“, sagt Nacheva, „können wir Aussagen zum charakteristischen Wärmeübergangskoeffizienten eines Sprays auf der Makroebene treffen.“

Sreedhar Kari hat am Indian Institute of Technology Maschinenbau studiert, beim Surfen im Internet die Homepage des Graduiertenkollegs in Magdeburg entdeckt und sich kurzentschlossen für ein Stipendium in der Bundesrepublik Deutschland beworben. In seiner Doktorarbeit sucht er auf der Mikroebene ein mathematisches Modell für das Makroverhalten eines Verbundwerkstoffes zu entwickeln, bei dem in einer weichen Grundmatrix piezoelektrische Keramikfasern eingebettet sind. Auch seine Arbeit integriert physikalisches, technisches und mathematisches Fachwissen.

„Karis unkomplizierte Annäherung an Magdeburg ist typisch für die Entwicklung des Graduiertenkollegs Mikro-Makro-Wechselwirkungen in strukturierten Medien und Partikelsystemen“, sagt Gerald Warnecke. „Wir überlegten zunächst, eine internationale Zusammenarbeit mit anderen Universitäten anzustreben, aber Internationalität hat sich bei uns nun auf andere Weise quasi von selbst eingestellt. Fünfzehn unserer achtzehn Doktoranden kommen aus dem Ausland.“ **db**

Botschaften aus der Erdgeschichte



An Bord des Forschungsschiffes „Meteor“: Mit einem „Schwerelot“ werden Sedimentkerne aus dem Meeresboden gewonnen.

lingen wie Coccolithen, Dinoflagellaten oder eben Foraminiferen. Mit ihnen beschäftigt sich Elisa Guasti. Die Geologin aus dem italienischen Parma, die gerade ihre Doktorarbeit abgeschlossen hat, ist Spezialistin für das Paleozän-Zeitalter, das vor 65 Millionen Jahren begann. Damals bedeckte ein riesiger flacher Ozean namens Tethys ein Gebiet von Spanien bis nach Indonesien. Als sich Afrika und Europa zusammenschoben, wurden die Meeresbodensedimente angehoben und im Laufe der Zeit zu Felsgestein verfestigt. In Tunesien, Jordanien und Ägypten forscht sie nun nach Spuren, die das Tethys-Meer in den dortigen Felsformationen hinterlassen hat.

Im Zeitalter des Paleozäns herrschte eine Treibhausatmosphäre: Es begann mit der globalen Katastrophe eines Meteoriteneinschlags, in dessen Folge auch die Dinosaurier ausstarben. Fauna und Flora mussten sich erst langsam wieder erholen. Das Ende dieser Ära, der Übergang zum Eozän, ist der Höhepunkt dieser Warmzeit. Vor rund 55 Millionen Jahren stiegen in den Gewässern der tropischen Ozeane die Temperaturen um mehrere Grad Celsius an. Daten über die Umwelt dieser 10 Millionen Jahre währenden Zeit findet Elisa Guasti in den Kalkschalen der Foraminiferen. Unterscheiden lassen sich die einzelnen Arten an der Morphologie der Schalen. Sorgfältig registriert Elisa Guasti in den Proben aus dem Gestein die statistische Häufigkeit der Arten, von denen man weiß, ob sie es lie-

Für Foraminiferen hegen manche Geowissenschaftler eine besondere Vorliebe. Die einzelnen Meeresbewohner existieren seit vielen Millionen Jahren. Das Nützliche an ihnen ist, dass sie eine Kalkschale bilden, die über erdgeschichtlich lange Zeiträume erhalten bleibt; die darin gespeicherten Informationen über die Vergangenheit geben ein hervorragendes Klima-Archiv ab. „Uns interessiert, wie sich in der Erdgeschichte die Klima- und Umweltverhältnisse verändert haben und wie es zu extremen Klimasituationen kam,“ sagt Professor Helmut Willems, Sprecher des Internatio-

nenal Graduiertenkollegs „Proxies in Earth History“ an der Universität Bremen, EUROPROX. „Mit diesen Erkenntnissen können wir die globale Dynamik besser verstehen und Klimamodelle für künftige Entwicklungen finden“.

Da es in Urzeiten natürlich keine Thermometer oder andere Messgeräte gab, sind die Wissenschaftler auf Proxies, auf „Stellvertreter“ angewiesen: Organismen etwa, die heute noch in ihren ganz spezifischen ökologischen Nischen leben und deren Vorkommen sich weit in die erdgeschichtliche Vergangenheit zurückverfolgen lässt – wie die fossilen Archive von Winz-

Foto: Christine Franke

ber wärmer oder kälter mögen. So kann sie die damalige Wassertemperatur bestimmen. Noch genauer lässt sich diese aus dem Verhältnis der Sauerstoff-Isotope 18 und 16 erschließen, die im Calciumcarbonat der Schalen zum Zeitpunkt ihrer Bildung gespeichert wurden; die Isotope unterscheiden sich durch die Anzahl ihrer Neutronen im Atomkern. Je wärmer das Wasser ist, desto höher ist das Verhältnis. Außerdem war der Salzgehalt des Ozeans damals offenbar deutlich erhöht, der auch Rückschlüsse auf die Wasserzirkulation zulässt. In warmen ausgedehnten Meeren vermehrt sich Plankton und damit die Menge organischen Materials. Am Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope lässt sich sowohl die Produktivität des ozeanischen Kohlendioxids erkennen als auch die Zirkulation des Wassers verfolgen.

Zeitreisen in die Erdgeschichte verdeutlichen, wie sehr Ozeane, Atmosphäre und Biosphäre miteinander wechselwirken. Am Ende des Paleozän-Zeitalters sorgten wahrscheinlich Gashydrate im Meeresboden, die Methan und Kohlendioxid freisetzen, für ein globales Treibhaus; heute sind es die Menschen, die mit klimarelevanten Gasen und Schadstoffen, etwa durch Überdüngung, die Umwelt belasten. Mit anthropogenen Effekten befasst sich Helena Filipsson. Die Schwedin hat ihre Promotion an der Universität Göteborg abgeschlossen und erforscht nun als Postdoktorandin am Graduiertenkolleg, wie sich in den letzten 2000 Jahren die mari-

„Weil Bremen für unser Fach einen so guten Ruf hat, sind wir gern in Deutschland.“

ne Umwelt im Gullmar Fjord an der schwedischen Westküste verändert hat.

Im heutigen Europa sorgen das an den Polen gebundene Eis und das nordatlantische Förderband, der Golfstrom, für unser gemäßigtes Klima. Sedimentproben aus einem 7,5 Meter langen Bohrkern, den Helena Filipsson von einer Expe-

dition aus dem Gullmar Fjord mitgebracht hat, liefern das Material für ihre Untersuchungen. Wie ihre italienische Kollegin schaut sie sich Foraminiferen an, um an Artenverteilung, den Verhältnissen von Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopen sowie dem Vorkommen von organischem Kohlenstoff Umwelt- und Klimaveränderungen abzulesen. „Die Sedimente haben eine hohe Akkumulationsrate, sie beträgt einen Zentimeter pro Jahr“, erläutert sie. „So haben wir eine ultrahohe zeitliche Auflösung“. Einen erheblichen Einfluss auf das sensible System des Nordatlantiks übt das Klima aus – und umgekehrt. Die Nordatlantische Oszillation, Änderungen des Druckverhältnisses zwischen dem Islandtief im Norden und dem Azorenhoch im Süden, ist der entscheidende Faktor für kurzfristige Klimaschwankungen. Sie wirkt sich auf Oberflächentemperaturen und den Wasseraustausch in den Tiefen des Fjords aus. Helena Filipsson untersucht solche Veränderungen und zugleich, ob Umweltverschmutzungen diese Effekte noch überlagern.

Die beiden Expertinnen für Foraminiferen sind gerne nach Bremen gekommen, so versichern sie, „weil das Fachgebiet marine Geowissenschaften hier einen so guten Ruf hat“. Zum Beispiel befindet sich hier auch das DFG-Forschungszentrum „Ozeanränder“. Ein weiterer Vorteil sei die Internationalität: Nicht nur promovieren hier junge Wissenschaftler aus verschiedenen Ländern, sie kooperieren auch mit Partneruniversitäten in Amsterdam und Utrecht. „Weil während der Forschungsarbeit des Kollegs das Bedürfnis nach mehr Internationalisierung erwachte, haben wir in der zurzeit laufenden zweiten Förderungsphase weitere Partner integriert: das Massachusetts Institute of Technology (MIT) in den USA sowie die Universitäten Southampton und Bordeaux“, sagt Helmut Willems. Langfristig ist im Sinne des Bologna-Abkommens die Einführung eines „European Doctoral Degree“ vorgesehen.

Selbstverständlich beschränkt sich die Forschung auch nicht auf fossile Botschaften aus der Vergangenheit. Um neue Proxies zu



Foto: Christine Franke

Aus einem Bohrkern entnimmt Christine Franke eine Sedimentprobe.

entwickeln und zu erproben, um vorhandene zu verfeinern und daraus Modelle zu entwerfen, bedarf es einer interdisziplinären Vorgehensweise. Unter den acht Fachdisziplinen spielen die Paläontologie und Geochemie eine ebenso große Rolle wie etwa die Geophysik.

Christine Franke zeigt auf einen Kryogenmagnetometer; ein kleines Fließband transportiert Sedimentwürfel in einen mit einer Schutzhülle ummantelten Messcontainer, der bei extrem kalten Temperaturen, dem Siedepunkt von flüssigem Helium, also – 268,9 Grad Celsius, magnetische Signale misst. In der Arbeitsgruppe „Marine Geophysik“ identifiziert die Geologin magnetische Nano- und Mikropartikel aus pelagischen Sedimenten des äquatorialen Atlantiks entlang eines sehr komplexen Ost-West-Profils. Die Proben enthalten neben

Mikrofossilien auch Quarzteilchen, Tonminerale oder magnetische Minerale. Magnetit etwa ist eines der klassischen ferrimagnetischen

„Vorgesehen ist die Einführung eines European Doctoral Degree.“

Minerale, die sich sehr gut als Proxies eignen. Da sich das Erdmagnetfeld im Laufe der Erdgeschichte immer wieder veränderte und weil die Ausrichtung der ferrimagnetischen Momente in den Mineral-

körnern, ähnlich einer „eingefrorenen“ Kompassnadel, gespeichert ist, kann sie die Probe recht genau datieren. Zudem liegen die zeitlich aufeinanderfolgenden Sedimentschichten nicht einfach fein säuberlich übereinander. Meeresströmungen oder Wind transportieren Teilchen über große Entfernungen. Auch die Herkunft solcher Teilchen kann sie mit Hilfe magnetischer Untersuchungen bestimmen. „Wir haben in den magnetischen Signalen gesehen, dass im Westen des äquatorialen Atlantiks die feine magnetische Fraktion und die gröbere offenbar nicht so gekoppelt sind wie im Osten“, erläutert

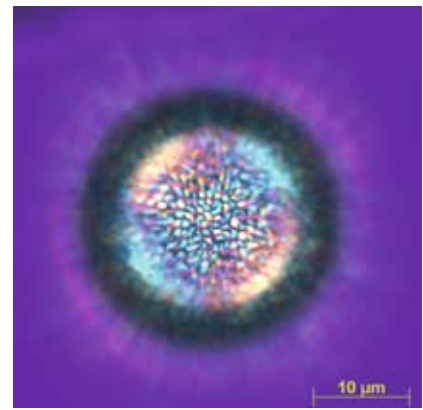


Foto: Helmut Willems

Kalkige Dinoflagellaten im Durchlichtmikroskop: Diese Einzeller signalisieren wärmere Temperaturen der Oberflächenwässer, etwa in den älteren Ablagerungen des Quartärs.



sie. „Und das hängt mit dem Eintrag von Sedimentpartikeln zusammen.“ Ihre Arbeit ergänzt die ihrer Kollegen. So kann sie zum Beispiel erklären, ob und wann das magnetische Material durch Karbonateintrag verdünnt worden ist, denn hohe Produktivität erhöht den nicht-magnetischen Karbonatanteil in der Probe.

„Das Schöne hier ist“, so Helena Filipsson, „dass wir die Methoden anderer Arbeitsgruppen kennen lernen und so über den doch recht engen Horizont unserer jeweiligen Einzelarbeit hinausschauen“. Die Puzzleteile noch mehr zu einem Gesamtbild für bestimmte erdgeschichtliche Zeitabschnitte an einem bestimmten Ort zusammenzufügen, ist das Ziel für die nächste Etappe von EUROPROX. „Wir wollen ein Forschungsschiff beantragen, damit verschiedene Arbeitsgruppen gemeinsam Proben an einem Ort nehmen und untersuchen können. Mit dem Multi-Proxy-Ansatz wollen wir den Modellierern genügend Daten für ein Bild klimatischer Veränderung liefern“, sagt Willems. **mk**

Marine Einzeller, die Foraminiferen, erzählen von vergangenen Klimasituationen. Am Muster der Kalkschalen kann man die Arten unterscheiden.

Foto: Mahyar Mochizadi

Fit für Exzellenz

Susanne Albers, Inhaberin des Lehrstuhls für Paralleles und verteiltes Rechnen am Institut für Informatik der Universität Freiburg, hat Anfang der 90er Jahre als Stipendiatin in dem Graduiertenkolleg „Informatik“ an der Universität des Saarlandes promoviert. Danach hat sie am Max-Planck-Institut für Informatik und an verschiedenen deutschen Universitäten geforscht und gelehrt. Zudem war sie ein Jahr lang als Postdoc am International Computer Science Institute in Berkeley, USA. Albers beteiligt sich als Hochschullehrerin am Freiburger Graduiertenkolleg „Eingebettete Mikrosysteme“ und ist Mitglied des Senats- und Bewiligungsausschusses für Graduiertenkollegs der DFG.

? *Wie findet man nach dem Studium ein passendes Graduiertenkolleg?*

! In meinem Fall war es die Empfehlung eines Professors und kurz darauf eine entsprechende Anzeige in der Presse. Heute finden viele ein Graduiertenkolleg mit dem passenden Thema auch über das Internet – entweder stöbern sie auf den Seiten der DFG oder der Universität. Die Homepages der Graduiertenkollegs sind leicht zu finden und geben oft sehr umfangreich Auskunft. Da viele Interessierte aus dem Ausland in Deutschland suchen, sind die Seiten meist auch auf Englisch.

? *Welche Erinnerungen verbinden Sie mit Ihrer Zeit in Saarbrücken?*

! Das Graduiertenkolleg „Informatik“ ist ein essentieller Baustein meiner späteren wissenschaftlichen Karriere, denn ohne das Graduiertenkolleg wäre ich nicht so schnell an die aktuelle Forschung herangekommen und hätte nicht so schnell gelernt, wissenschaftlich für

mich selbst verantwortlich zu sein. Kurzum: Das Graduiertenkolleg hat bei mir die Prozesse intensiviert und beschleunigt.

? *Worauf führen sie das zurück?*

! Es ist einfach ein fantastisches Konzept, sich in seiner Promotionszeit voll und ganz auf die Forschungsarbeit konzentrieren zu können und nicht durch Lehre oder administrative Verpflichtungen eingespannt zu sein. Ich habe in meiner Zeit im Graduiertenkolleg schnell gelernt, dass für gute Forschungsergebnisse in die Tiefe gearbeitet werden muss. Aber um in die Tiefe vorzudringen, braucht man Konzentration, um sich voll auf eine Aufgabe einzulassen. Wenn man nicht abgelenkt ist, ist es einfacher, an die Spitze zu kommen. Außerdem werden so die Promotionszeiten kürzer. Ich denke heute mit etwas Wehmut an diese Zeit zurück, in der ein Arbeitstag noch ein ganzer Forschungstag war.

? *Das hört sich ja fast nach klösterlicher Stille an.*

! Keineswegs. Alle Kollegiaten kamen in Saarbrücken einmal wöchentlich in einem Seminar zusammen, und dort konnten wir uns austauschen. Reihum wurden Vorträge gehalten, und man lernte die Arbeitsvorhaben und Ergebnisse der anderen kennen. In diesem Seminar habe ich Denkanstöße für meine eigene Doktorarbeit bekommen, wenn auch die Themen durchaus unterschiedlich waren. Aber man bekommt immer etwas mit. Wie packt da jemand eine Sache an? Wäre das auch ein Weg in meiner Arbeit? In der Diskussion sprangen die Funken über.

? *Ist das der Grund, warum Sie sich auch heute für die Graduiertenkollegs engagieren?*



! Natürlich, das Ganze ist ein Prozess, den die DFG 1990 anstieß, und der sich seither fortentwickelt hat. Ich finde es spannend, am Anfang dabei gewesen zu sein und diesen Prozess nun weiterhin begleiten und eigene Beiträge dazu einbringen zu können. Die DFG hat im Laufe der letzten 15 Jahre das Programm der Graduiertenkollegs kontinuierlich gepflegt und verbessert. Man muss ihr dafür Respekt zollen, denn so haben wir hier in Deutschland etwas, was sehr erfolgreich ist und was es woanders so nicht gibt.

Darum sind die Graduiertenkollegs ja auch so attraktiv. Inzwischen kommen die Bewerber aus aller Herren Länder. Und viele Kollegs haben sich internationalisiert, haben Kooperationen mit Universitäten in anderen Ländern geschlossen und sorgen dafür, dass die Kollegiaten zu Forschungsaufenthalten und Tagungen ins Ausland fahren, denn schon eine kurze Zeit von wenigen Wochen an einer Universität in einem anderen Land ist eine für die Karriere wichtige und persönlich bereichernde Erfahrung. Die Wissenschaft ist international, und nach meiner Beobachtung sind die Graduiertenkollegs genau die richtige Struktur, um im internationalen Wissenschaftsbetrieb schnell voran kommen und auf Dauer bestehen zu können.

*Mit Susanne Albers sprachen
Marion Kälke und Dieter Beste*

Graduiertenkollegs Daten und Fakten

Graduiertenkollegs sind befristete Einrichtungen der Hochschulen zur Förderung des graduierten wissenschaftlichen Nachwuchses und werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt.

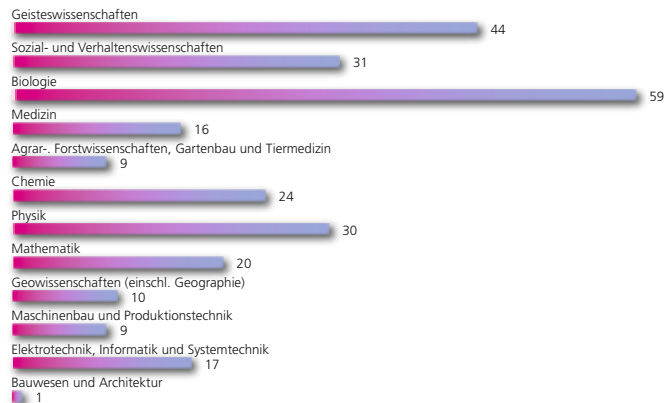
Doktoranden und Doktorandinnen erhalten in Graduiertenkollegs die Möglichkeit, ihre Arbeit im Rahmen eines koordinierten, von mehreren Hochschullehrern getragenen Forschungsprogramms durchzuführen.

Ein **Studienprogramm** ergänzt und verbreitert in der Regel die individuellen Spezialisierungen der Kollegiaten und Kollegiatinnen und strukturiert deren Kooperation. Eine interdisziplinäre Ausrichtung des Forschungs- und Studienprogramms ist erwünscht.

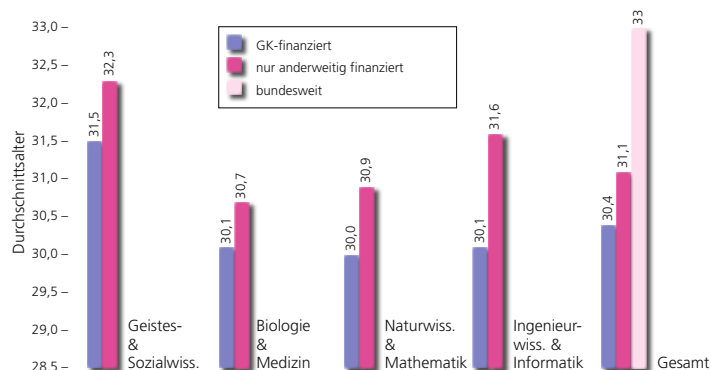
Internationale Graduiertenkollegs bieten die Möglichkeit einer gemeinsamen Doktorandenausbildung zwischen einer Gruppe an einer deutschen Hochschule und einer Partnergruppe im Ausland.

- Die DFG fördert zurzeit rund 270 Graduiertenkollegs, darunter mehr als 40 internationale.
- In den Graduiertenkollegs arbeiten rund 6000 Doktoranden an ihren Dissertationen.
- Der Anteil der Doktoranden aus dem Ausland nähert sich der 30-Prozent-Marke.
- 41 Prozent der Doktoranden sind Frauen.

www.dfg.de/gk



Verteilung der Graduiertenkollegs (GK) nach Fachgebieten.



Mittleres Alter von Doktoranden bei Abschluss der Dissertation zwischen April 2003 und März 2004.

Interessenten an einer Doktorarbeit finden unter der Internetadresse www.dfg.de/gk eine Liste aller aktuellen Graduiertenkollegs, die ihre Stipendien auf ihren Homepages annonciieren. Hochschulen, die ein Graduiertenkolleg beantragen wollen, sollten sich vorab von der DFG-Geschäftsstelle beraten lassen, da aufgrund des großen Interesses nur die allerbesten und geeignetsten Anträge gefördert werden können.

