

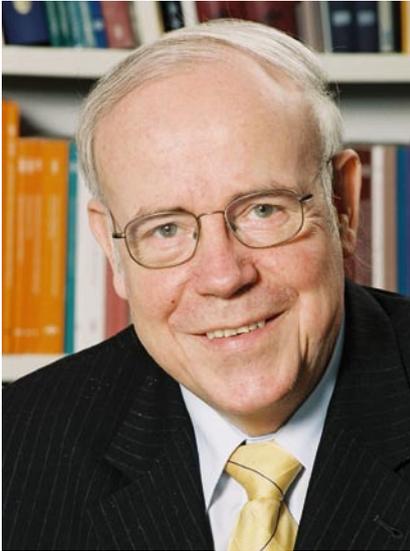
Sonderforschungsbereiche

der Deutschen Forschungsgemeinschaft



INHALT: Forschen unter idealen Bedingungen | Die Bewährungsprobe | Unruhe am Meeresgrund | Ein Kosmos im Kleinsten | Die biologische Werkstatt | Lernen und vergessen | Tückische Verwandlungskünstler | Aufbruch in die Zwischenwelt | Archäologie des Gedächtnisses | Geheimnis der Eigenschaften | Ein SFB schweißt zusammen | SFB – essenziell für Grundlagenforschung und Transfer

DFG



Im Verbund stark: Sonderforschungsbereiche der DFG

Forschen unter idealen Bedingungen

Von Ernst-Ludwig Winnacker

Zur Forschung gehört der Geistesblitz auf einem einsamen Waldspaziergang genauso wie die jahrelange ausdauernde Arbeit im Labor und im Team. Besonders spannende Forschungsthemen finden sich oft an den Schnittstellen zwischen den Disziplinen, Neues entsteht aus dem Dialog von Experten. Gemeinsame Arbeit im Netzwerk kann sehr anregend und fruchtbar sein, wenn ein gut durchdachtes, interessantes und mitreißendes Konzept dahinter steckt. Um dies für die Forschung an deutschen Hochschulen zu fördern, bietet die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) neben der Finanzierung von einzelnen Projekten Programme für die koordinierte Forschung im Verbund an. **Sonderforschungsbereiche** (SFB) ermöglichen es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, **langfristig** für bis zu zwölf Jahre in einem **interdisziplinären** Zusammenschluss zu einer gemeinsam gewählten Thematik zu forschen. Wichtigstes Ziel ist die Förderung exzellenter Forschung zu einem **anspruchsvollen** Thema durch Bündelung aller notwendigen Ressourcen an der Hochschule, die den Sonderforschungsbereich trägt. Ein Sonderforschungsbereich prägt das Profil der Hochschule und erzeugt dauerhafte Strukturen der Kooperation. Der wissenschaftliche Nachwuchs findet besonders gute Arbeitsbedingungen. Die Integra-

tion von Forschungseinrichtungen außerhalb der Hochschule vernetzt die Forschungslandschaft und bereichert den Verbund. Sonderforschungsbereiche leisten als weithin sichtbare Leuchttürme der Wissenschaft einen wesentlichen Beitrag zur Qualität und zum Ansehen der deutschen Forschung im internationalen Wettbewerb.

Seit das Förderinstrument 1968 eingeführt wurde, haben sich Themen, Struktur und Umfang ständig weiter entwickelt. Insgesamt werden heute 276 Verbünde mit gut 400 Mio. Euro pro Jahr aus Mitteln der DFG unterstützt. Den Kern des Programms bilden nach wie vor **Sonderforschungsbereiche an einem Ort**, in denen Wissenschaftler der dortigen Hochschule und anderer in der Region angesiedelter Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten. Eine wirklich enge Kooperation lässt sich am leichtesten in örtlicher Nähe realisieren. So manche zündende Idee wurde beim gemeinsamen Nachmittagstee der Doktorandinnen und Doktoranden verschiedener Disziplinen geboren. Manche Themen sind allerdings nicht an einem einzelnen Ort zu bearbeiten, und moderne Methoden der Kommunikation (zusammen mit der Reiselust der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler) machen eine produktive Zusammenarbeit auch über größere Distanz möglich. Im Jahr 1999 wurde daher als Variante

der **Transregio** eingeführt, in dem Forscher von bis zu drei Standorten ihre Expertisen zusammenführen und so nicht nur komplementär zusammenarbeiten, sondern an ihren jeweiligen Hochschulen auch neue Schwerpunkte setzen.

Vor der Einrichtung eines Sonderforschungsbereichs steht ein strenger Auswahlprozess. Weniger als die Hälfte der Vorschläge erreichen das Ziel. Eine Gruppe von international hoch angesehenen Gutachterinnen und Gutachtern prüft den Vorschlag zwei Tage lang vor Ort. Ein mehrheitlich mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern besetztes Gremium entscheidet danach im Vergleich vieler Vorschläge über die Förderung durch die DFG. Nach welchen **Kriterien** wird entschieden? Das vom Verbund gewählte gemeinsame Thema soll interessant und aktuell sein, jedes einzelne Vorhaben muss sich darauf beziehen. Sowohl der Verbund als Ganzes als auch jedes einzelne Teilprojekt müssen wissenschaftlich überzeugen. Gefördert wird, wer entsprechende Vorarbeiten, interessante neue Ideen und gute Vorschläge zur Umsetzung vorlegt. Alle für das Thema notwendigen Disziplinen sollen mit einem gemeinsamen Forschungsansatz im Verbund vertreten sein und ganz konkrete Strategien für die Gestaltung der Zusammenarbeit vorlegen. Wichtig ist auch eine überzeugende Forscherper-

sönlichkeit, die den Verbund als Sprecherin oder Sprecher kompetent, integrativ und entscheidungsstark führen kann. Nach vier Jahren steht dann wieder Besuch von der DFG ins Haus: Eine Gutachtergruppe prüft die Ergebnisse und gibt grünes oder rotes Licht für eine Fortsetzung der Förderung. Besonders gute Projekte erreichen die Höchstdauer der Förderung von zwölf Jahren.

Und was geschieht danach? Ein Sonderforschungsbereich prägt das **Profil der Hochschule**: er kann einen bereits vorhandenen Schwerpunkt stärken oder er kann einen neuen Fokus schaffen. In jedem Fall wird an den beteiligten Instituten die Personalpolitik auf das gemeinsame Projekt abgestimmt und wertvolle Forschungsgeräte werden zum gemeinsamen Nutzen angeschafft. Damit werden die knappen Ressourcen effektiv eingesetzt, besonders gute Resultate in der Forschung erreicht und gleichzeitig Strukturen der Kooperation geschaffen, die auch über die Förderdauer hinaus Wirkung zeigen. Zu den besonderen Stärken von Sonderforschungsbereichen gehört auch die Förderung des **wissenschaftlichen Nachwuchses**. Junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler finden dort hervorragende Forschungsbedingungen, Freiraum für die Realisierung von Ideen, ein Klima von Dialog und Kooperation sowie Unterstützung, Rat und Vorbild bei erfahreneren Kolleginnen und Kollegen. Durch die Leitung von Teilprojekten kann und soll der Nachwuchs eigene Verantwortung übernehmen. Mit Nachwuchsgruppen in Sonderforschungsbereichen wird die Förderung der frühen Selbstständigkeit durch die DFG besonders sichtbar.

Die **Gleichstellung von Männern und Frauen in der Wissenschaft** ist ein zentrales Anliegen in der DFG-Forschungsförderung. Der Anteil von Frauen in der Forschung ist in Deutschland besonders niedrig, stark abnehmend von Studium über Promotion bis zur Hochschul-lehrerin. Um Wissenschaftlerinnen besonders zu fördern, hat die DFG das Thema Gleichstellung auch in den Sonderforschungsbereichen verankert. Bei jeder Begutachtung

wird die Beteiligung von Frauen sehr genau geprüft. Die Hochschulen und Projektverantwortlichen müssen ihre Maßnahmen zur Verbesserung der Gleichstellung vorstellen und erhalten von der DFG dabei Unterstützung. Familie und Beruf sollen in der Forschung vereinbar werden, und dazu gehört zum Beispiel eine auf die Bedürfnisse der Forschung abgestimmte Kinderbetreuung außerhalb der gewohnten zeitlichen Muster.

Die Grundlagenforschung bildet den Kern des Programms Sonderforschungsbereiche. Doch auch der Blick auf Anwendung der Ergebnisse ist wichtig und bereichernd. Am häufigsten in den Ingenieurwissenschaften, aber auch in den Lebenswissenschaften und den

„Die Grundlagenforschung ist Kern des SFB-Programms, aber auch der Blick auf die Anwendung ist wichtig.“

Naturwissenschaften sichern die Forscher im Sonderforschungsbereich ihr geistiges Eigentum durch Patente. Resultate werden in Kooperation mit der Industrie weiterentwickelt, und gelegentlich entstehen auf der Basis besonders viel versprechender Ideen neue kleine Firmen. Die DFG unterstützt dies ausdrücklich. Mit der Programmkomponente **Transferprojekte** fördert sie systematisch den Übergang in die Anwendung. Gemeinsam mit einem oder mehreren Industriepartnern werden noch während der Laufzeit des Sonderforschungsbereichs die Ergebnisse in die Praxis überführt. Die Industriepartner bringen die Finanzierung ihres Anteils selbst ein. Der Umgang mit dem geistigen Eigentum und der Publikationsfreiheit der Wissenschaft sind vertraglich geregelt. Optimal spielen Sonderforschungsbereich und Transferprojekt zusammen, wenn Impulse aus der Anwendung auch in den Sonderforschungsbereich zurückfließen und dort die Forschung bereichern. Der wichtigste Transfer aber bleibt der „Transfer über

Köpfe“: im Sonderforschungsbereich hervorragend ausgebildete Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen ihr Wissen und ihre Fertigkeiten in ihre spätere berufliche Tätigkeit mit.

Auch **internationale Zusammenarbeit** wird im Sonderforschungsbereich groß geschrieben. Das Wissenschaftlerteam ist international besetzt. Kein Sonderforschungsbereich kommt ohne internationales Gästeprogramm aus. Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse auf internationalen Kongressen ist selbstverständlich. Mit Forschungsaufenthalten von mehreren Wochen oder Monaten im Ausland werden vertiefte Kontakte aufgebaut. Gerade der wissenschaftliche Nachwuchs kann dabei inspirierende Erfahrungen mit anderen Arbeitsweisen in der Forschung, aber auch mit Persönlichkeiten und Kulturkreisen gewinnen. Wissenschaftliche Partner aus dem Ausland können mit eigenen Vorhaben in den Verbund integriert werden, wenn sie Expertise einbringen, die am Ort des Sonderforschungsbereichs nicht verfügbar ist.

Die Information über neue wissenschaftliche Methoden und Ergebnisse innerhalb der Fachwelt ist eine Selbstverständlichkeit. Genauso wichtig, aber vielleicht schwieriger ist die Darstellung der Forschungsarbeit in der breiten Öffentlichkeit. Die DFG unterstützt die Sonderforschungsbereiche auch dabei und stellt Mittel für die **Öffentlichkeitsarbeit** bereit. Zielgruppen können zum Beispiel Schüler, Eltern und Lehrer sein, oder Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung. Beispiele für solche Initiativen sind Laborschnupperwochen und „Kinderuniversität“, Filme und Ausstellungen oder Messteilnahmen.

Eine Liste der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereiche finden Sie auf unserer Webseite (www.dfg.de). Wenn Sie sich dort umschauchen, werden Sie bestimmt an den Hochschulen Ihrer Region fündig, oder auf einem Forschungsgebiet, das Sie besonders interessiert!

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

Die Bewährungsprobe

Hamburg ist im Fußballfieber. Heute Nachmittag wird im Volksparkstadion das Vorrundenspiel Italien gegen Tschechien ausgetragen werden. Doch in der Bundesstraße, im Zentrum für Marine und Atmosphärische Wissenschaften, hat im Moment niemand so recht einen Sinn für die Fußballweltmeisterschaft. Für die Wissenschaftler des SFB 512 „Tiefdruckgebiete und Klimasystem des Nordatlantiks“ geht es um ihre eigene Finalrunde: SFB-Sprecher Burghard Brümmer und vier seiner Kollegen werden gleich den sieben ehrenamtlichen Gutachtern ihre Forschungsergebnisse und ihr vorgesehene Programm präsentieren, mit dem sie sich um eine vierte Förderperiode bewerben.

Den SFB 512 gibt es seit 1998. Wie auch heute üblich, waren die beteiligten Hamburger Forscher vor ihrem Erstantrag zu einem informellen Beratungsgespräch mit Fachkollegen und Vertretern der DFG zusammengekommen, um ihr Konzept vorzustellen. „Damals signalisierten unsere Gesprächspartner, dass unser Forschungsfeld das Potenzial für einen SFB habe,“ erinnert sich Brümmer. Die nach Antragstellung folgende offizielle Begutachtung in Hamburg mündete dann in einer Empfehlung. Der Bewilligungsausschuss der DFG entschied positiv, der Startschuss für den SFB 512 war gefallen.

Mittlerweile haben die Hamburger Forscher drei solcher Begutachtungen erfolgreich hinter sich gebracht. Routine aber stellt sich nicht ein. Selbst der Aufwand für die Antragstellung, so Brümmer, mindere sich nicht, denn auch in der nun beantragten letzten Förderperiode müssen jedes Teilprojekt, jede Doktorandenstelle und jedes neue Gerät gut begründet

sein. Sonst können, wie bei der letzten Begutachtung geschehen, vorgesehene Teilprojekte durchfallen.

Das soll nun nicht noch einmal passieren. In vielen internen Sitzungen haben alle Beteiligten ausgiebig diskutiert, worauf es ankommt: welche Ergebnisse sie in gemeinsamer Forschung anstreben wollen, welcher Zeitplan dafür realistisch ist, welche Modifizierungen der bisherigen Struktur notwendig werden, welche Lücken aufzufüllen sind und nicht zuletzt, ob alle Teilprojekte wirklich wichtige Steine im Gebäude des Ganzen sind. „Genau darin erweist sich ja der Mehrwert eines SFB“, sagt später Dieter Etling, einer der Gutachter, der Theoretische Meteorologie an der Universität Hannover lehrt. Ebenso wichtig sei, ob die zu erwartende Qualität der Projekte schon ausreichend durch Publikationen der beteiligten Wissenschaftler

„Alle Teilprojekte müssen wichtige Steine im Gebäude des Ganzen sein.“

nachgewiesen ist. Das weiß auch Burghard Brümmer: „Wer in einem Antrag viel verspricht und bisher wenig gehalten hat, ist unglücklich.“ Im Laufe eines knappen Jahres entstanden Bericht und Fortführungsantrag – ein Buch von mehr als 400 Seiten, das DFG und Gutachtern vorgelegt wurde. „Wenn das Projekt plausibel und verständlich beschrieben ist, sind schon einige Pluspunkte gewonnen“, sagt Etling.

An diesem Donnerstagmorgen haben sich in Raum 22 auch die Wissenschaftlichen Mitarbeiter des SFB versammelt. Viele der Jüngeren erleben so etwas zum ersten Mal, und ihre Gesichter sind ernst; schließlich geht es hier unmittelbar auch um ihre eigene wissenschaftliche Zukunft. Burghard Brümmer und seine Mitstreiter stellen sich der Bewährungsprobe professio-

nell: kollegiales Händeschütteln mit den Gutachtern.

Dass man sich kennt, bedeutet indes keineswegs den Vorteil eines Heimspiels. Die Fachreferenten der DFG suchen die sachverständigen Wissenschaftler sorgfältig aus; dabei schauen sie nicht nur auf deren ausgewiesene fachliche Kompetenz, sondern achten auch nach bestem Wissen und Gewissen darauf, dass keine Form von Befangenheit das Urteilsvermögen trübt: So darf in diesem Fall kein Gutachter der Hamburger Universität angehören. Auch möchte man ausschließen, dass jemand etwa durch ein negatives Urteil einen wissenschaftlichen Konkurrenten schädigen kann oder, umgekehrt, durch bloße Sympathie für das Forschungsgebiet mögliche Schwächen in Teilprojekten übersieht. Je interdisziplinärer eine Wissenschaftlergruppe ist, desto bunter gemischt ist auch die Gutachtergruppe; doch sollte am Ende nicht eine bloße Addition von Einzelurteilen herauskommen, sondern ein abgestimmtes Votum über das gesamte Forschungsziel. Als Kontrollinstanz treten ein fachnaher und ein fachferner Berichterstat-ter der DFG auf: Ihre Aufgabe ist es, auf Fairness und Transparenz zu achten und dem Bewilligungsausschuss der DFG, der am Ende über eine Förderung entscheidet, zu berichten.

Burghard Brümmer beginnt seinen Vortrag: „Der Nordatlantik liegt vor der Haustür Europas und beeinflusst das Klima hier unmittelbar.“ Ob heiße Sommer oder stürmische Winter – das milde, aber auch wechselhafte europäische Wetter hängt direkt vom nordatlantischen Klimasystem ab. Die Projektleiter referieren im Anschluss, wie sie die komplexen Wechselwirkungen innerhalb und zwischen Ozean, Atmosphäre, Meereis und Landoberfläche untersuchen; diese sind Ursache für Wetterschwankungen: von Tag

zu Tag oder Jahr zu Jahr bis hin zu Auswirkungen über Dekaden.

Wie all diese Prozesse – auch in ihrer globalen Einbindung – zusammenhängen und die Klimaschwankungen verursachen, wissen die Forscher noch nicht genau. Mit Modellrechnungen und Feldexperimenten wollen die Hamburger Wissenschaftler weitere Erkenntnisse gewinnen. Die elf wissenschaftlichen Teilprojekte des SFB haben ein gemeinsames Ziel: die Abläufe und ihre wahrscheinlichen Auswirkungen vorherzusagen, sobald das Muster erkannt ist. Als Vorbild dient die heute schon recht gute Prognose des El-Niño-Phänomens im Pazifischen Ozean.

Um die Gutachter zu überzeugen, bringt Brümmer noch weitere Argumente ins Spiel: Neue Szenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change der Vereinten Nationen, IPCC, sollen ebenso Eingang in die geplanten Modellrechnungen finden wie neue Satellitendaten. Auch in das Internationale Polarjahr 2007 werde sich die Hamburger Meereis-Erforschung mit wichtigen Impulsen einbringen können.

An der Relevanz des Forschungsthemas an sich scheinen die Gutachter keine Zweifel zu haben, denn wenn sie kritisch im Gespräch mit den Antragstellern nachhaken, geht es um die vorgestellten organisatorischen, methodischen und inhaltlichen Details. So wollen sie etwa wissen, auf welche Hypothesen sich die geplanten Feldstudien stützen und ob der abschließende Förderzeitraum von

drei Jahren ausreicht, um die dabei gewonnenen Daten auszuwerten. Oder sie bohren nach, was genau mit Vorhersagen gemeint sei, wie etwa die Auswirkung kleinräumiger Effekte durch Aerosole auf großräumige Dimensionen berechnet werden könnte. Und immer wieder schwebt die Frage im Raum, wie sicher gestellt werden könne, dass die im SFB gewonnenen Daten auch nach dessen Ende der Forschungsgemeinschaft zu Verfügung stünden. Ist dies ein gutes Zeichen?

Bei den Diskussionen argumentieren auch die Teilprojektleiter lebhaft mit. Und in den anschließenden Gruppengesprächen müssen selbst die Doktoranden Rede und Antwort stehen. Sie waren von Anfang an in die Vorbereitung eingebunden und haben die Poster mitgestaltet, auf denen jedes Teilprojekt in Bild und Text erläutert ist. Hier ist sichtbar jeder Einzelne ein Teil des Ganzen.

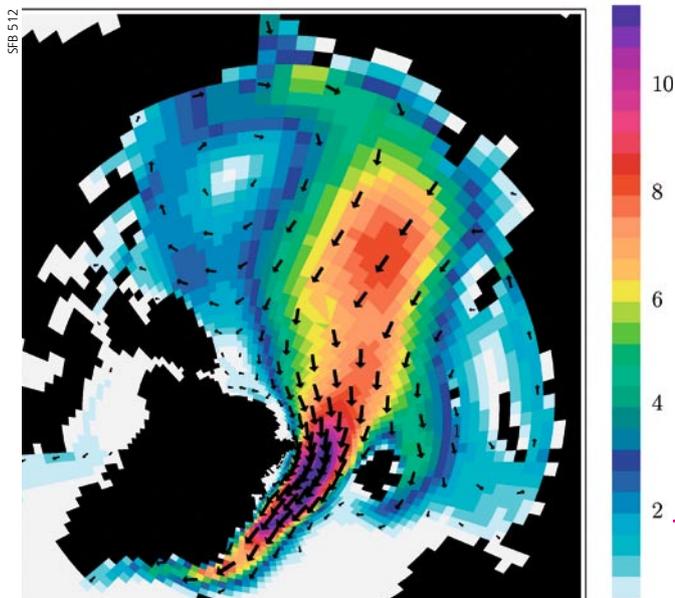
Nachdem sich die Gutachter am Nachmittag in einer ersten Klausursitzung beraten haben, geht es am nächsten Morgen in die zweite Halbzeit. Universitäts-Präsident Jürgen Lühje referiert über die Bedeutung des SFB 512 für den Hochschulstandort: Die Klima- und Meeresforschung habe sich an der Hamburger Universität zu einem Schwerpunkt entwickelt, der international sichtbar sei. Dieser SFB habe dazu beigetragen, die auf diesem Gebiet vorhandenen Kompetenzen zu bündeln: „Wir haben das Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität und das Max-Planck-Institut für Meteorolo-

gie vor drei Jahren zum Zentrum für Marine und Atmosphärische Wissenschaften zusammenführen können“, sagt Lühje und zählt auf, dass weiterhin das in Hamburg ansässige Deutsche Klimarechenzentrum in den SFB 512 eingebunden sei, ebenfalls das GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht und das Alfred-Wegener-Institut für Meeresforschung in Bremerhaven. Leuchtturm in der Nachwuchsförderung bilde zudem die Max Planck International Research School, in der auch der SFB-Nachwuchs aktiv sei.

Nach einer weiteren Fragerunde an die SFB-Wissenschaftler und einer zweiten Klausursitzung der Gutachter schlägt gegen 13 Uhr die Stunde der Wahrheit. Als der Berichterstatter dem Sprecher Burghard Brümmer verkündet, dass die Gutachter eine positive Empfehlung ausgesprochen haben, wogt eine spürbare Welle der Erleichterung durch den Raum. Abstriche soll es nur wenige bei Sachmitteln und einzelnen Doktoranden-Stellen geben.

Begründet wird die Empfehlung vor allem damit, dass der SFB seine Forschungstätigkeit auch perspektivisch auf eine Zukunft nach der Förderzeit angelegt habe, statt die laufenden Arbeiten einfach in drei Jahren abzuwickeln. „Die Kollegen haben Schwächen ausgeräumt, schlüssig für drei neue Teilprojekte argumentiert und plausibel gemacht, wie sie die Ernte erfolgreicher wissenschaftlicher Arbeit einfahren und weiterentwickeln wollen“, gibt Dieter Etling später seinen Eindruck wieder.

Burghard Brümmer aber drängt es zu seinen Mitarbeitern, um ihnen die gute Nachricht zu überbringen. Zwar fallen die Würfel endgültig erst mit dem Entscheid des Bewilligungsausschusses im November, aber die Empfehlung der Gutachter gibt ihnen heute schon guten Grund zu feiern – und sie brauchen dazu nicht einmal die Fußball-WM. *Marion Kälke*



Der Meereistransport aus dem Arktischen Ozean, vor allem durch die Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen, bestimmt zu einem Großteil die Süßwasserbilanz des Nordatlantiks.

Unruhe am Meeresgrund

Wenn das deutsche Forschungsschiff „Meteor“ vor Costa Rica und Nicaragua die Wellen pflügt, brodeln, rumpelt und kracht es tief unter der Wasseroberfläche unaufhörlich. Die Folge: Beben erschüttern den Meeresboden sowie das Land, wie jenes 1972 in Managua, das 250000 Menschen obdachlos machte und 6000 Todesopfer forderte. 1992 löste ein Seebeben einen Tsunami aus, Wellen von 10 Meter Höhe rollten auf die Küste zu. Ein ganzer Gürtel von Vulkanen überzieht Nicaragua, darunter drei hochexplosive Feuerberge in der Nähe Managuas, die in den letzten paar tausend Jahren aktiv waren. Immer wieder stechen Forscher des SFB 574 „Volatile und Fluide in Subduktionszonen – Klimarückkopplungen und Auslösemechanismen für Naturkatastrophen“, der an der Universität Kiel und am Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEO-MAR) angesiedelt ist, in See, um zu ergründen, was unten am und unter dem Meeresgrund vor sich geht. In dem üppig bebilderten Buch „Expedition Tiefsee“, das der

SFB herausgebracht hat, ist eine solche Fahrt beschrieben.

Die Forschungsregion ist eine Subduktionszone: Die Schale der Erde besteht aus Platten, die wie Schollen auf dem zähflüssigen Erdmantel treiben. Hier an der Westküste Mittelamerikas kollidiert die ozeanische Cocos-Platte mit der Karibik-Platte und schiebt sich aufgrund ihrer höheren Dichte darunter: sie subduziert. Es ist leicht sich vorzustellen, welche Dramen sich an dieser Nahtstelle abspielen: Gewaltige Massen an Gestein werden gedrückt, gequetscht, geschmolzen, umgewandelt und gebrochen, Sedimentrutschungen am Hang wühlen den Meeresboden auf, eine ungeheure seismische Energie entlädt sich in Erdbeben und verursacht Tsunamis, und explosive Vulkanausbrüche bedrohen die Menschen an Land.

„Ein Schlüssel für diese Prozesse ist Wasser“, erklärt Klaus Wallmann, Fachmann für marine Biogeochemie. Damit meint er nicht den Ozean, sondern die mindestens ebenso große Menge an Wasser, die in die Tiefe eingedrungen ist. Es ist chemisch gebunden im Mantelgestein sowie in den Sedimenten, die sich auf dem Meeresboden abgelagert haben. Die ozeanische Platte transportiert dieses Wasser während ihres Vorrückens gegen den Kontinentalsockel mit, und dann wird es eng: Es wird ausgepresst, die subduzierende Cocos-Platte wird fortlaufend entwässert. Die austretenden Fluide, mit flüchtigen Gasen wie Methan und Kohlendioxid (Volatilen) angereicherte Flüssigkeiten, setzen komplizierte Prozesse in Gang.

Ein Vulkan haucht Wasserdampf und andere Gase über Fumarolen (Entgasungskanäle) aus. Proben geben der SFB-Forscherin Kristin Garofalo Aufschluss über die Zusammensetzung.

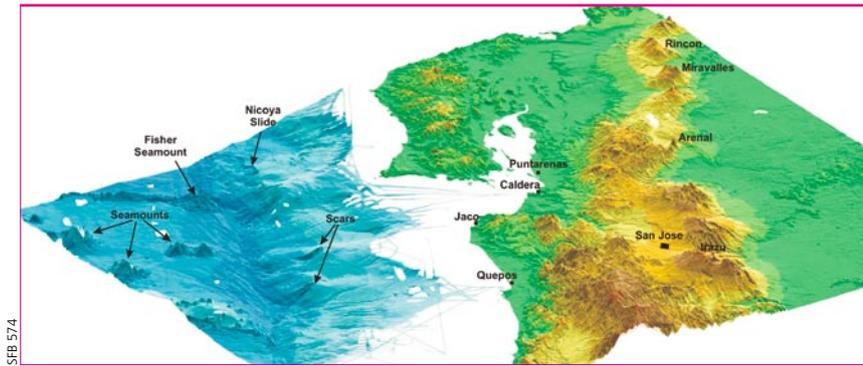
Eine Spezialität des SFB sind Schlammhügel, „Mounds“. Sie entstehen im Hangbereich an Störungen in den Sedimentschichten. Der Druck der Karibik-Platte auf die abtauchende Ozeanplatte und eine Temperatur von um die 100 Grad verändern die Struktur der wasserreichen Tonminerale und pressen das Wasser aus den Poren, dieses steigt durch die Kruste des Kontinentalhangs aufwärts, verflüssigt das überlagernde Sediment und gibt ihm gewaltigen Auftrieb: Gasgeladener Schlamm schießt an die Oberfläche, wo sich dann die Mounds aufwölben.

An der Reibungsfläche zwischen den Platten wirkt das aus den Tonmineralen frei werdende Wasser wie ein Schmiermittel und verhindert so das Auftreten größerer Erdbeben. Weiter unten entlang der Plattengrenze, wo die Tonminerale schon entwässert sind, fehlt dieses Schmiermittel jedoch. Dadurch kann sich Spannung aufbauen, und es finden Erdbeben statt. „Wir haben die Theorie, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen Erdbeben und der Entwässerung der Tonminerale gibt“, sagt der Brite Timothy Reston, zuständig für marine Geodynamik. Die Fluidaustritte ereignen sich alle zwischen den Erdbebenherden und dem Schnittpunkt der ozeanischen und kontinentalen Platte, dem Tiefseegraben. Die Hypothese, dass Erdbeben unmittelbar auf die Entwässerung folgen, gibt es schon länger. „Aber wir haben durch unsere Bestimmung der austretenden Wassermengen zum ersten Mal einen handfesten Beleg dafür gefunden, dass es so ist.“

Schlammvulkane sind Hauptquelle für Tiefenwasser, aber auch alte, nicht mehr aktive Unterseevulkane leisten ihren Beitrag. „Diese ‚Seamounts‘ vor der Küste Mittelamerikas sind ehemalige Vulkane aus dem Galapagos-Archipel“, sagt der Amerikaner und SFB-Sprecher Kaj Hoernle, dessen Forschungsgebiet Vulkana-



SFB 574



SFB 574

Die Subduktionszone vor Costa Rica: Deutlich zu sehen sind mehrere Seamounts und auf der anderen Seite des Tiefseegrabens Scars (Narben), die solche Untersee-Vulkane beim Abtauchen der Cocos-Platte hinterlassen haben.

nismus ist. „Sie sind mit der Platte hierher gewandert und auf dem Weg aberodiert.“ Wenn sie sich bei der Subduktion mit unter den Kontinentalrand schieben, stauen sie den Hang, und er wird zu steil, um stabil zu bleiben: Verwerfungen, Bruchzonen und Rutschungen, verbunden mit Beben, sind die Folge. Genau an diesen Schwachstellen treten ebenfalls Fluide und Gase aus.

Das wichtigste Gas ist Methan. Gebildet wird es in den Sedimenten, wo Mikroorganismen organisches Material zersetzen, aber auch in Tiefen von mehreren Kilometern bei hohen Temperaturen. Methan ist ein starkes Treibhausgas, das pro Molekül etwa 25 Mal mehr zum Klimawandel beiträgt als Kohlendioxid. Im natürlichen Kreislauf des Ozeans wirken Bakterien und Archeen wie ein Filter, der verhindert, dass dieses Methan in die Atmosphäre gelangt. Sie nutzen das in den Fluiden gelöste Gas für ihren Stoffwechsel und versorgen wiederum Muscheln und Röhrenwürmer mit Nährstoffen. Noch ein anderer Mechanismus hält das Methan in Schach. Am Meeresboden, wo es kalt ist und ein hoher Druck herrscht, gefriert das Wasser und schließt die Gasmoleküle in winzige Eiskäfige ein. Solche Gashydrate sind vor allem an den Kontinentalhängen und in Dauerfrostregionen zu finden. Wenn jedoch Fluide ausquellen, erwärmen sie die Umgebung und tauen die Gashydrate auf. Auch das auf diese Weise entweichende Methan dient den Mikroorganismen als Lebensgrundlage.

An besonders sensiblen Stellen können destabilisierte Gashydrate

auch Rutschungen und in Folge Tsunamis auslösen. „Es spielt sich nicht so ab, wie Frank Schätzing es in seinem Roman ‚Der Schwarm‘ beschrieben hat“, sagt Wallmann wahrscheinlich zum hundertsten Mal und lacht. Immerhin habe der Thriller die Kieler Forscher berühmt gemacht und sogar vieles gut erklärt. „Die Würmer, die im Buch die Katastrophe auslösen, hat Schätzing erfunden.“ Und der Geologe Warner Brückmann ergänzt: „Der Mensch allerdings könnte langfristig durch den Klimawandel die Gashydrate angreifen.“ Um drei Grad wärmeres Bodenwasser würde etwa 80 Prozent der Gashydrate schmelzen. Nicht nur Naturkatastrophen wären die Folge, das frei werdende Methan würde auch die globale Temperatur weiter in die Höhe treiben.

Seit 15 Jahren vermessen, kartieren, beproben, analysieren und modellieren die Kieler nun schon Mittelamerikas Küste. „Es ist aber vor allem der Einrichtung dieses SFB im Jahr 2001 zu verdanken, dass wir unsere Arbeiten so gut im Team integrieren konnten“, erklärt Wallmann. Dass die Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen und aus vielen Ländern in einem Boot sitzen, ist im Gespräch offensichtlich. In dieser Kombination seien sie führend, sagt Hoernle. Auch habe der SFB der internationalen Forschung Anstöße gegeben – unter anderem dem neuen Ozeanbohrprogramm.

Eine ganzheitliche Betrachtung richtet sich natürlich auch auf die ganze Strecke, bis hin zum Vulkangürtel auf dem Festland. Ihn erforscht Armin Freundt. An Art, Alter und Größe der Ablagerungen

liest er ab, wie sich ein Vulkan in der Vergangenheit verhalten hat, um daraus auf mögliche künftige Ausbrüche und deren Gefährlichkeit zu schließen. Wie bei Erdbeben und Tsunamis können auch bei Eruptionen nur Frühwarnungen Leben retten.

Vulkane entstehen aus Magma, im Erdmantel und in der Erdkruste aufgeschmolzenem Gestein, das als Lava oder explosiv als Mischung von Lava und Gasen austritt. Gestein im Erdmantel schmilzt bei extremem hohem Druck und Temperaturen von über 1100 Grad; der Mantelkeil über der subduzierten Platte liegt zwar tief, aber dafür nicht tief genug. Da kommt Wasser ins Spiel: „Wasser senkt den Schmelzpunkt. Das ist so, als würde man Salz auf Eis streuen“, erläutert Freundt. Ursache ist wieder die Entwässerung von Mineralen, in diesem Fall von Serpentin, wasserhaltigem Olivin. Das Fluid wird in über 100 Kilometer Tiefe freigesetzt, wenn die ozeanische Platte in den Mantel abtaucht und sich dabei erwärmt. Was sich unten zusammenbraut, kommt oben heraus. Mit den Magmen spucken die Feuerberge Wasser aus, aber auch das Treibhausgas Kohlendioxid sowie Schwefeldioxid, das einen abkühlenden Effekt in der Atmosphäre hat, weil es über Wolkenbildung Sonnenstrahlen zurück in den Weltraum reflektiert. Die Explosivität der Magmen hängt davon ab, wie viel und welche Volatile darin gelöst sind.

Es gibt noch viel zu tun: „Wir wissen noch nicht, warum Erdbeben vor Nicaragua Tsunamis auslösen und vor Costa Rica nicht“, sagt Ernst Flüh, Spezialist auf diesem Gebiet. Auch wollen die Kieler die Forschungsregion auf die chilenische Küste ausweiten. Anders als in Mittelamerika, wo die Cocos-Platte die Karibikplatte von unten annagt, findet man in Chile auch einen so genannten Akkretionskeil, der entsteht, wenn die subduzierende Platte Sedimente vor sich herschiebt und anhäuft. „Da wir vor Chile einen Übergang von einer zur anderen Variante auf engem Raum vorfinden, können wir das gesamte System besser studieren“, so Flüh. *Marion Kälke*

Ein Kosmos im Kleinsten

Nanotechnologie und –wissenschaft beginnen allenthalben, unseren Alltag zu durchdringen. Neue Erkenntnisse bringen nun schon fast täglich neue Produktideen hervor, und kreative Wissenschaftler und Ingenieure in Forschungsinstituten und Unternehmen treiben die Technologieentwicklung voran. „In diesem Umfeld hat sich die Universität Duisburg-Essen in den letzten Jahren durch eine strategisch ausgerichtete und geschickte Berufungspolitik zu einem wichtigen Nano-Standort entwickelt“, sagt der Physiker Axel Lorke, der vor sechs Jahren von München nach Duisburg wechselte, wo er sich über „phantastische Arbeitsbedingungen“ freut und inzwischen als Sprecher den SFB 445 vertritt. Unter dem Dach des Themas „Nanopartikel aus der Gasphase – Entstehung, Struktur, Eigenschaften“ arbeitet eine außergewöhnlich bunt gemischte Wissenschaftlergemeinschaft aus Physikern, Elektroingenieuren, Maschinenbauern und Chemikern Hand in Hand zusammen.

„Aus der Gasphase“ – bereits darin liegt der interdisziplinäre Ansatz der gemeinsamen For-

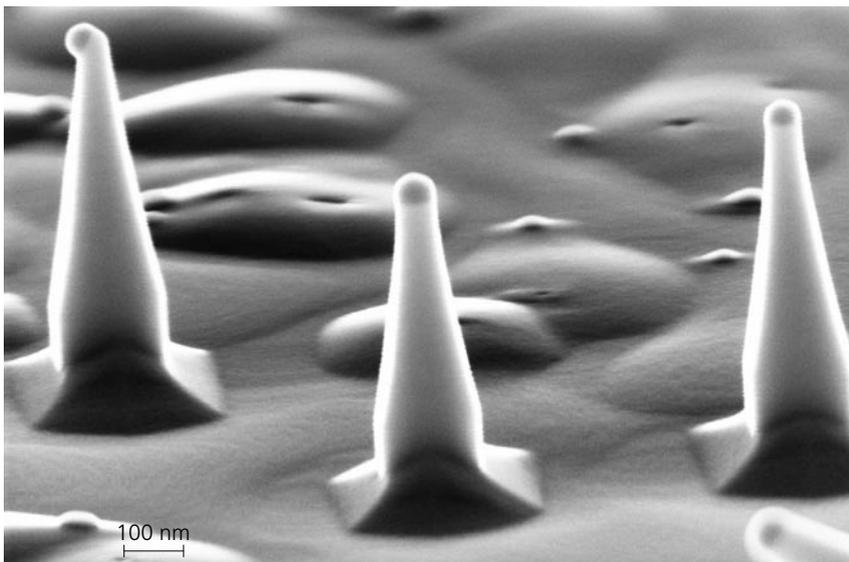
schung, sagt Lorke: Die Gründung des SFB geht zurück auf die Weitsicht der Maschinenbauingenieure, die erkannten, dass die in Verbrennungsvorgängen als unerwünschte Nebenprodukte entstehenden sehr kleinen Partikel – feinsten Feinstaub – etwas Gemeinsames haben mit den Strukturen, die ihre Kollegen in

„Forschungs- und Entwicklungsketten stehen bei uns Kopf.“

den Naturwissenschaften auf ihre mehr oder weniger exotischen Eigenschaften untersuchen: die Dimension nämlich, ihre Abmessungen auf der Nanometer-Skala. Und nachdem die Forscher erst einmal herausgefunden hatten, dass man nicht nur kollegial, sondern auch fachlich etwas miteinander zu besprechen hatte, war man sich schnell einig, hier im „Niemandland“ traditionell ausgerichteter Forschungsarbeiten Neues finden zu wollen. Weitere Partner und Mitstreiter wurden gefunden, der SFB beantragt und nach positiver

Begutachtung und Bewilligung 1999 in Duisburg eingerichtet.

In insgesamt 16 Teilprojekten verfolgt der SFB 445 das Ziel, die Entstehungsvorgänge von Nanopartikeln aus der Gasphase im Experiment, in Computersimulationen und in Modellrechnungen zu untersuchen, sie hinsichtlich ihrer Morphologie und ihres physikalischen und chemischen Verhaltens zu charakterisieren und schließlich die Beziehungen zwischen Partikelstruktur und Partikeleigenschaft aufzuklären. „In mancher Hinsicht stellen wir dabei in unserem SFB die traditionelle Entwicklungskette von den Naturwissenschaften in die Ingenieurwissenschaften auf den Kopf“, sagt Axel Lorke. „Bei uns stehen die Partikel am Anfang. Erst wenn die Ingenieure die Nanoteilchen produziert haben – bei uns im SFB ist das der Projektbereich A –, können die Physiker und Chemiker im Projektbereich B sie charakterisieren und auf neue, oft überraschende Eigenschaften untersuchen.“ Beispiele dafür sind leuchtende Partikel aus Silizium, einem Material, auf dem die gesamte moderne Computerindustrie basiert, das bisher jedoch für optoelektronische Anwendungen ungeeignet war. Oder magnetische Teilchen, die sich – wie von Geisterhand – durch Selbstorganisation zu Ketten oder geordneten Schichten zusammenlagern. Schließlich hat im SFB 445 aber alles wieder seine Richtigkeit, wenn wiederum Ingenieure im Projektbereich C neue Eigenschaften in neue Anwendungen umsetzen.



Unterhalb der katalytisch wirkenden Nanopartikel aus Gold – unter dem Rasterelektronenmikroskop die kleinen Kügelchen an den Spitzen der Whisker – wachsen Nanodrähte aus Verbindungshalbleitermaterial auf einem Siliziumsubstrat auf.

Nanopartikel weisen reduzierte Abmessungen in allen drei Dimensionen auf. Die Wissenschaftler sprechen deshalb gern von ihrer „Quasi-Dimensionslosigkeit“ und ihrem sehr großen Oberflächen- zu Volumenverhältnis. Physikalisch bedeutet dies, dass anders als bei „normalen“ Festkörpern Grenzflächeneffekte dominieren und Quantenphänomene auftreten,

„Eigentlich unmögliche Materialkombinationen werden möglich.“

die sich technisch zum Beispiel in elektrischen, magnetischen oder optischen Bauelementen mit völlig neuartigen oder maßgeschneiderten Eigenschaften nutzen lassen. Dieses „Maßschneidern“ wird im SFB 445 beispielsweise genutzt, um höchstempfindliche Gassensoren auf der Basis von Zinnoxid Nanopartikeln zu entwickeln.

2004 stieß der Festkörperphysiker Franz-Josef Tegude zum Forscherteam, um aus den im SFB produzierten Nanopartikeln innovative Bauelementkonzepte für die Mikroelektronik zu kreieren. „Wir versuchen zum Beispiel, typische Transistorfunktionen mit Nanoteilchen herauszubilden“, sagt er und holt ein unter dem Rasterelektronenmikroskop entstandenes Bild hervor, das drei feine Spitzen auf einer mehr oder weniger ebenen Grundfläche zeigt. Bei genauem Hinsehen, entdeckt man auf jeder Spitze ein kleines rundes Hütchen. „Das sind Nanopartikel aus Gold“, erklärt Tegude, „und das Tolle ist, dass diese Goldpunkte als Katalysatoren dafür sorgen, dass bei dem von uns genutzten Standardverfahren der metallorganischen Gasphasenepitaxie genau unter ihnen – und wirklich nur dort – schon bei einer relativ niedrigen Arbeitstemperatur festes Material aus den gasförmig vorhandenen Halbleiter-Quellenmaterialien in der Umgebung geordnet aufwächst.“ Das Mikroskopbild zeigt deutlich, wie sich im Zwergensland längliche Strukturen mit dem

Nano-Gold obenauf senkrecht zur Substratoberfläche emporrecken. „Sogenannte Whisker“, sagt Tegude, die sich zu teilweise viele 100 Nanometer langen Drähten von nur 10 Nanometer Durchmesser auswachsen: „Sie bilden sich offensichtlich in einem Selbstorganisationsprozess heraus, den wir hier im SFB nach und nach zu verstehen lernen.“

Die superfeinen Drähte bestehen aus Indiumarsenid (InAs) oder Indiumantimonid (InSb) und wachsen auf einem Silizium-Grundmaterial auf – eine für Fachleute eigentlich unmögliche Materialkombination, denn die Kristalle unterscheiden sich in den Gitterkonstanten, dem Abstand der Atomplätze, und das hat fatale Folgen: Werden die Materialien großflächig abgeschieden, treten mechanische Spannungen auf, die über kurz oder lang den aufgewachsenen Film abreißen lassen: „Ein Grund, warum die Verbindungshalbleiter bislang noch keine so große Rolle in der Mikroelektronik spielen konnten“, kommentiert Tegude: „Da unsere Whisker nur punktuell aufwachsen, umgehen wir dieses Problem und erobern übrigens ganz nebenbei die dritte Dimension für den Aufbau von Bauelementen.“

„Die Nanodrähte sind ein gutes Beispiel aus unserer facettenreichen Arbeit, das verständlich macht, warum bei uns Aufbruchstimmung herrscht“, kommentiert Sprecher Lorke das Arbeitsklima im SFB. Natürlich ist es nicht einfach, zwischen den vielen beteiligten Fachrichtungen eine gemeinsame Sprache zu finden; Denkweisen und Termini der jeweils anderen Disziplinen wollen nachvollzogen und gelernt sein. Dafür gibt es im SFB informelle, aber auch regelmäßig geplante Treffen, wie zum Beispiel die wöchentlichen Besprechungen im Büro von Theoretiker Dietrich Wolf. Hier geht es unter anderem darum, zu verstehen, welchen elektrischen Widerstand eine dünne Schicht aus Nanopartikeln hat. Eine nur scheinbar einfache Frage. Denn die Lehrbuch-Formeln aus der makroskopischen Physik versagen auf der Nanoskala, auf der der

Strom kein gleichmäßiger Fluss mehr ist. Stattdessen wird er durch einzelne Elektronen getragen, die sich zum einen wie wild gewundene Pingpongbälle, zum anderen aber auch wie rätselhafte Quantenobjekte verhalten. Ein anregendes Thema für experimentelle und theoretische Diskussionen, an denen auch die Postdocs und Doktoranden im SFB und ebenso selbstverständlich Diplomanden teilnehmen.

„Der wissenschaftliche Nachwuchs soll bei uns lernen, wie wichtig es ist, über den eigenen Fachtellerrand hinauszuschauen.“ Das sagen die Teilprojektleiter nicht nur so dahin. So hat der SFB beispielsweise eine Zusammenarbeit mit dem IGERT-Programm (Integrative Graduate Education and Research Trainee-

„Die Lehrbuch-Formeln aus der makroskopischen Physik versagen auf der Nanoskala.“

ship) der University of Minnesota Twin Cities aufgebaut und ermöglicht auf diese Weise seinen Nachwuchswissenschaftlern, zum Ergebnis- und Erfahrungsaustausch zu den Kollegen nach Minneapolis zu reisen und die Forschungslandschaft in den USA kennen zu lernen.

Eine wichtige Rolle spielt auch die einwöchige Klausurtagung, für die die gesamte SFB-Mannschaft alljährlich zu einer einsamen Berghütte aufbricht. Die Professoren und Wissenschaftlichen Mitarbeiter tragen dann aus den Teilprojekten vor, aber auch die Studenten, die in den SFB-Projekten ihre Diplomarbeiten schreiben: „Da fühlen wir uns dann abgeschieden von aller Welt und hochkonzentriert gegenseitig auf den Zahn – ohne uns gegenseitig vorzuführen“, sagt Lorke, „ein gutes Training für die Kommunikationsfähigkeit, besonders auch für die Jüngeren. Und manchmal kommt es auch vor, dass abends beim Bier Ideen für neue interdisziplinäre Projekte entstehen.“

Dieter Beste

Die biologische Werkstatt

Ein aufgeschlagenes Knie ist nicht schlimm: Die Wunde verheilt in ein paar Tagen. Eine geschädigte Leber regeneriert innerhalb von Wochen einen Teil ihrer Funktion. Und eine Blutspende ist kein Problem, denn für Nachschub ist schnell gesorgt. Unsere körpereigene Fähigkeit, Schäden zu reparieren, ist jedoch begrenzt. Niemand kann einen verlorenen Arm nachwachsen lassen. Der Axolotl kann so etwas. Dieser mexikanische Salamander bildet zum Beispiel seinen abgeschnittenen Schwanz voll und ganz nach – inklusive Rückgrat, Nerven, Muskeln und Blutgefäßen.

„Der Axolotl ist ein Weltmeister der Regeneration, und daraus können wir lernen“, sagt Gerhard Ehninger, Sprecher des SFB 655 „Von Zellen zu Geweben: Determination und Interaktion von Stammzellen und Vorläuferzellen bei der Gewebekonstruktion“ der Technischen Universität Dresden. Die Quellen der Gewebekonstruktion sind Stammzellen, die in zwei Formen für die biomedizinische Forschung interessant sind. Alleskönner sind die „pluripotenten“ embryonalen Stammzellen, die sich noch nicht entschieden haben, was sie werden sollen. Sie bilden sich etwa am vierten Tag nach der Befruchtung der Eizelle in der inneren Zellmasse der Blastozyste, der Keimblase, und können sich danach zu allen Zelltypen, die ein Organismus braucht, „differenzieren“. Aber auch der erwachsene Körper verfügt noch über ein Reservoir an Stammzellen etwa in der Haut, im

Darm, im Knochenmark oder im Gehirn. Diese adulten Stammzellen sind auf bestimmte Gewebe fixiert. Ihre Fähigkeit, sich zu reifen Zellen zu entwickeln, ist jedoch – je nach Organ – mehr oder weniger beschränkt. Und wenn sie es tun, nimmt zudem die Menge an Stammzellen ab, weil sie sich nicht beliebig selbst erneuern können.

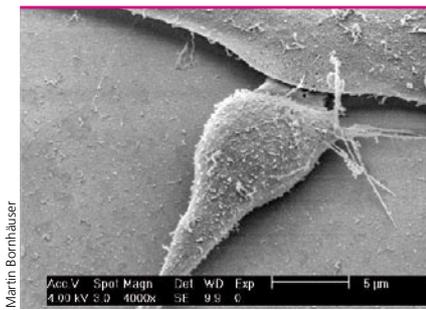
„Gliedermaßen oder komplexe Organe zu züchten ist Science Fiction“, sagt Ehninger. Doch hoffen die SFB-Forscher, der biologischen Werkstatt später einmal auf die Sprünge zu helfen. „Wie können wir Stammzellen im Körper oder außerhalb so dressieren, dass sie Schäden besser beheben oder fehlendes Gewebe ersetzen?“ Um diese Frage zu beantworten, gilt es zunächst zu verstehen, was eine Stammzelle veranlasst, eine bestimmte Körperzelle zu werden und sich im Zielgewebe nützlich und freundlich zu verhalten. Weil sich in Dresden, auch im Zuge der Biotechnologie-Initiative des Landes Sachsen, eine beachtliche Gruppe international renommierter Forscher niedergelassen hat, lag es nahe, diese Kompetenzen in einem SFB zusammenzuführen. Seit dem vorigen Jahr versuchen Experten aus der Molekular- und Zellbiologie, der Biotechnologie und der Medizin nun gemeinsam, die Gewebekonstruktion zu enträtseln. Im Fokus sind das hämatopoetische System, das sind die Stammzellen in Knochenmark und Blut, und das Nervensystem – bis hin zu den Inselzellen der Bauchspeicheldrüse, die das Insulin produzieren.

Während in der Krippe des Dresdener Klinikums ihr Kind betreut wird, kann sich Elly Tanaka ganz auf den Axolotl konzentrieren. Die Amerikanerin, die beim SFB-Partner, dem Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik, arbeitet, will wissen, wie der Salamander es schafft, sein komplettes Rückenmark zu erneuern. Warum können Säugetiere das nicht? Schließlich verfügen auch sie über neurale Stammzellen. Die SFB-Projektleiter Wieland Huttner und der Kanadier Denis Corbeil konnten neurale Stammzellen der Maus isolieren, auf deren Oberfläche sie einen Prominin genannten Marker entdeckt hatten. Wie embryonale Stammzellen haben sie, so Huttners Hypothese, offenbar die Fähigkeit zur asymmetrischen Teilung: Sie können sich einerseits vermehren und andererseits zu Nervenzellen spezialisieren – allerdings nur im Reagenzglas. Anstatt die Stammzellen zur Differenzierung anzustiften, wählt das Gehirn lieber einen weniger effektiven Weg: Es kompensiert einen Schaden, indem es neue Verbindungen zwischen intakten Nervenzellen knüpft. Bei ihrer Spurensuche am Axolotl fand Elly Tanaka bereits heraus, dass die Nachbarschaft anderer Zellen mit entscheidet, ob eine neurale Stammzelle sich differenziert. Eine solche Wechselwirkung zwischen Zellen wird im Rückenmark von Säugern aber offenbar durch bestimmte Signalmoleküle blockiert. Nun will sie neurale Stammzellen der Maus in den verletzten Schwanz des Axolotls implantieren, um herauszufinden, ob sich die Säugerzellen von den Selbstheilungsstrategien des Salamanders anstecken lassen.

Das Merkwürdige sei, so Ehninger, dass man die Zellbiologie neuraler Stammzellen schon recht



Vorbild Axolotl: Der Salamander ist ein Weltmeister der Regeneration.



Die Elektronenmikroskop-Aufnahme zeigt Blutstammzellen, die sieben Tage auf ihren Entwicklungshelfern, den mesenchymalen Stammzellen, gewachsen sind.

gut kenne, aber dieses Wissen noch nicht in die Medizin einbringen könne. Umgekehrt sei es bei den hämatopoetischen Zellen: Das Wissen über die Zellbiologie ist bescheiden, und dennoch werden seit Jahrzehnten zum Beispiel Leukämie-Patienten, deren eigenes, entartetes Knochenmark durch Chemotherapie zerstört werden muss, erfolgreich durch Blutstammzell-Transplantation behandelt. In Dresden befindet sich hierfür eines der größten Zentren Europas. Um die spärliche Menge an Stammzellen im Knochenmark oder Blut überhaupt zu erkennen, bedient sich Ehninger ebenfalls des Marker-Moleküls Prominin, das auf der Membran von Blutstammzellen genauso zu finden ist wie auf der neuraler Stammzellen. Weil sie nun erheblich besser aufgereinigt werden können als früher, sinkt auch die Gefahr einer Abwehrreaktion im Körper des Empfängers.

Wenig versteht man bisher, wie implantierte Blutstammzellen in ihrer „Nische“ im Knochenmark sesshaft werden, wie sie sich dort vervielfachen, differenzieren und überleben. Bis heute, so Ehninger, sei es nicht gelungen, Blutstammzellen außerhalb des Körpers zu vermehren. Genaueres Wissen würde die Transplantationsmedizin erheblich verbessern. Ein Schlüssel könnten die ebenfalls im Knochenmark angesiedelten so genannten mesenchymalen Stammzellen sein. Sie stimulieren offenbar die Selbsterneuerung der Blutstammzellen und unterstützen sie bei ihrer Aufgabe, rote und weiße Blutkörperchen sowie Blutplättchen zu bilden. Die Verständigung beider Zelltypen, so die Theorie von Corbeil, ermöglichen bestimmte Oberflächenproteine, darunter das Prominin, und entsprechende Rezeptoren. Wie mesenchymale und Prominin-Blut-

stammzellen kooperieren, wollen die Forscher ergründen, indem sie ihre natürliche Knochenmark-Nische nachbauen. Zusammen mit Materialwissenschaftlern des Leibniz-Instituts für Polymerforschung kultiviert Martin Bornhäuser die Zellen auf einer Kunststoff-Matrix, deren Oberfläche mit körpereigenen Eiweißen bedeckt ist.

Ehninger hat das Ziel seines Projektes besonders hoch gesteckt. Nach Transplantationen stellte sich heraus, dass Abkömmlinge besonders reiner Blutstammzelllinien auch in anderen Geweben auftauchten. Wenn sie nicht – wie vielfach befürchtet – einfach nur mit Körperzellen fusionierten, könnte dies ein Hinweis sein, dass Prominin-Blutstammzellen sich auch in andere Gewebearten differenzieren können, also „multipotent“ sind. Ehninger will sie kultivieren und der Maus implantieren, um zu untersuchen, ob sie tatsächlich außer Blutkörperchen auch Muskel-, Nieren- oder Nervenzellen bilden.

„Um die Möglichkeiten adulter Stammzellen einschätzen zu können, muss man auch embryonale Stammzellen studieren“, sagt Ehninger. „Sie sind ja die Bauplanvorlage für die gesamte Gewebebildung.“ Der Australier Francis Stewart arbeitet mit denen der Maus. „Sie haben zwei bemerkenswerte Eigenschaften“, sagt er. „Zum einen teilen sie sich unbegrenzt und sehr schnell. Zum anderen kann die Maus als einziges Säugetier unter Stress die Embryonalentwicklung im Stadium der Blastozyste stoppen.“ Um ihre Differenzierung sowie die Funktion bestimmter Gene studieren zu können, entwickelt er auf dieser Grundlage Verfahren, mit denen er sie besser kultivieren und ihre Pluripotenz erhalten kann. Undifferenzierte Stammzellen unterscheiden sich von reiferen

dadurch, dass sie noch nicht epigenetisch markiert sind. Das Epigenom ist eine Art übergeordnete Regie außerhalb der DNA: „Die epigenetischen Marker sind in der Zell-Entwicklung wie Schlösser, die jede einzelne Entscheidung für eine Richtung während der Spezialisierung endgültig festlegen und den Weg zurück versperren“, sagt Stewart. Sie zu erforschen, brächte nicht nur Erkenntnisse über die Schritte bei der Differenzierung von Stammzellen. Knackte man die Schlösser, könnte man auch adulte Zellen gezielt auf Neustart reprogrammieren.

Aber ob embryonale Stammzellen der Maus denen des Menschen ähneln, weiß noch niemand. In einem Projekt außerhalb des SFB hat Stewart nun die Erlaubnis bekommen, auch humane embryonale Stammzellen zu erforschen. Derzeit müssen die Blastozysten, die bei künstlichen Befruchtungen übrig geblieben sind, nach deutschem Gesetz vor dem 1. Januar 2002 im Ausland entstanden sein. Irgendwann, so glaubt Stewart, könnte man auch die ethischen Bedenken ausräumen: „Wenn embryonale Stammzellen alles können, dann können sie auch Eizellen werden.“ Neue Embryonen würden dann nicht mehr gebraucht. Bis dahin wäre es aber für die Qualität der Forschung wichtig, so Ehninger, mit jüngeren Zellen arbeiten zu dürfen, gerade alt genug, um sicherzustellen, dass sie nicht gezielt für diesen Zweck hergestellt wurden.

„Das Rennen zwischen adulten und embryonalen Stammzellen ist offen“, sagt Ehninger. „Aber wir haben uns vorgenommen, nach den möglichen 12 Jahren Förderzeit zumindest auf einem unserer Gebiete eine neue Therapie so weit zu haben, dass wir Patienten heilen können.“ *Marion Kälke*

Lernen und vergessen

Neue Kommunikationstechnologien fördern, vermittelt über das Internet, einen Prozess, in dem Wirtschaftsunternehmen mehr und mehr ortlos werden. War vor wenigen Jahren noch die industrielle Produktion von Gütern verbunden mit der Konzentration von vielen Arbeitern und Angestellten an einem Ort, so verschwimmen heute die Grenzen der Fabrik. Die Teile eines Automobils etwa kommen inzwischen aus aller Herren Länder und werden von unsichtbarer, lenkender Hand an Standorten zusammengefügt, die morgen schon wieder ganz woanders liegen können. Und mit Notebook-Computer und PDA, dem Personal Digital Assistant, bestückt, öffnet die moderne Info-Elite zu jeder Zeit an jedem Ort ihr Büro.

„Das hat Konsequenzen, die weit über diese Erscheinungsbilder hinausgehen“, sagt Otthein Herzog, Sprecher des SFB 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen: „Die internen und externen unternehmensübergreifenden logistischen Prozesse werden zunehmend komplexer, und die Märkte dynamisieren diesen Prozess noch, indem sie sich von Verkäufermärkten – also Märkten,

die im wesentlichen von zentralen Versorgungsschienen aufrechterhalten werden – zu so genannten Käufermärkten wandeln, in denen sich eine sehr breit gefächerte individuelle Nachfrage ansammelt, immer neue Warenströme hervorzulocken.“

Der Logistik steht deshalb ein Paradigmenwechsel ins Haus. „Von der Fremd- zur Selbststeuerung“, das Wort von Herzog umschreibt ganz gut den Prozess: Bislang nutzen die Unternehmen der Logistik-Branche in der Regel hierarchisch organisierte Informations- und Kommunikationsstrukturen. Um aber vor dem Hinter-

„Der Container aus China soll selbst entscheiden, wie er nach Hamburg kommt.“

grund hochdynamischer Märkte und zunehmender Komplexität logistischer Netzwerke auch künftig dafür sorgen zu können, dass die richtige Ware zur richtigen Zeit am richtigen Ort ist, wird es nicht mehr genügen, zentral zu disponieren – die Verteilprozesse werden automatisch ablaufen, und zwar mehr und mehr autonom und dezentral gesteuert. „Der Container aus China auf dem Schiff nach Hamburg wird so intelligent sein, dass er weiß, was er an Bord hat, wie vergänglich die Ware ist, wo er sich gerade befindet und über welche Umladestationen er sein Ziel wohl am besten erreichen wird.“

Im SFB 637 arbeiten seit Anfang 2004 Wissenschaftler so unterschiedlicher Disziplinen wie Wirt-

schaftswissenschaft, Produktionstechnik, Elektrotechnik, Informatik und Mathematik Hand in Hand zusammen. Es geht ihnen darum herauszufinden, wie weit logistische Systeme in sich selbst steuernde Prozesse „entlassen“ werden können. Noch haben sie Fragen über Fragen: Es klingt so einfach – aber was sind eigentlich selbststeuernde logistische Prozesse genau und wie unterscheiden sie sich von fremdgesteuerten? Wie ändert sich die Auftragsabwicklung durch die Selbststeuerung? Wie können sie modelliert werden und welche Methoden eignen sich in welcher Weise? Oder: Wie kann man selbststeuernde Prozesse messen und evaluieren?

„Das Forschungsthema Logistik an der Universität Bremen korrespondiert mit einer traditionellen Kernkompetenz der Wirtschaft in Bremen“, sagt Herzog und weist darauf hin, dass es schon seit längerem an der Universität einen Forschungsverbund Logistik gab. Die zündende Idee zum SFB brachte der Ingenieur Bernd Scholz-Reiter aus Cottbus mit, der 2000 eine Professur am Fachbereich Produktionstechnik in Bremen annahm. Er hatte erkannt, welches breites wissenschaftliches Potenzial an dieser Universität vorhanden war, um sich den Fragen zur Selbststeuerung in der Logistik über Fachgrenzen hinweg aus unterschiedlicher Perspektive und in gemeinsamer Arbeit zu nähern. „Natürlich war es eine unserer ersten Aufgaben, für begriffliche Klarheit zu sorgen“, sagt er und stellt die Arbeitsdefinition des SFB vor: Selbststeuerung beschreibt demnach Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen, also neben-, nicht übergeordneten Strukturen. Sie setzt voraus, dass interagierende Elemente in nicht-deterministischen Systemen die Fähigkeit und Möglichkeit zum autonomen Treffen von Entscheidungen besitzen, und ihr Ziel ist es, „eine höhere



Zwei Demonstratoren veranschaulichen im Labor die Arbeiten des SFB 637 zur Selbststeuerung der Prozesse in der Automobillogistik.

Robustheit und positive Emergenz des Gesamtsystems durch eine verteilte, flexible Bewältigung von Dynamik und Komplexität“ zu erreichen. Positive Emergenz? „Ein Begriff aus der Systemtheorie“, sagt Scholz-Reiter, „komplexe, sich selbst steuernde Systeme können Eigenschaften entwickeln, die sich aus der Summe ihrer Einzelkomponenten nicht erklären lassen, Emergenz ist eine typische Eigenschaft biologischer Systeme.“

Neben den modernen Informations- und Kommunikationstechniken inspirierten auch neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertechnologie die Bremer Forscher: Bald wird es möglich sein, Waren aller Art nicht nur mit passiven Barcodes auszuzeichnen, sondern sie auch mit aktiv kommunizierenden Radio Frequency Identification Chips auszurüsten. Das Kürzel RFID regt deshalb nicht nur die Phantasie der Forscher, sondern auch der Praktiker in der Logistikwirtschaft an. Zusammen mit drahtlosen Kommunikationsnetzen, Satelliten gestützten Ortungssystemen, moderner Sensortechnik und einer sich ständig erweiternden Rechenleistung und Datenspeicherung auf kleinstem Raum, rücken sie die Vision einer Autonomie der Entscheidung intelligenter logistischer Objekte, die sich fast wie Reisende selbstständig ihren Weg suchen, während sie Informationen aus ihrem Umfeld aufnehmen und verarbeiten „in greifbare Nähe“, wie Michael Freitag kommentiert.

Freitag, ebenfalls Ingenieur, leitet als Geschäftsführer den SFB 637. Er organisiert im Zwei-Wochen-Rhythmus Vortragsveranstaltungen, zu denen immer auch Gastredner von anderen Universitäten und aus Unternehmen eingeladen werden. Zur internen und externen Kommunikation veröffentlicht er zwei Mal jährlich einen achtseitigen Newsletter, in dem sich besonders auch Interessierte aus der Wirtschaft und die interessierte Öffentlichkeit mit den SFB-Arbeiten vertraut machen können. Während der Hannover-Messe im Frühjahr dieses Jahres hat der SFB einen „schlau“ Container ausgestellt, der von den Wissenschaft-

lern so hergerichtet worden war, dass er als Demonstrationsplattform im Maßstab 1:16 verkleinert zeigen konnte, was die Zukunft birgt: Das Szenario sah vor, frischen Fisch von Bremerhaven nach Frankfurt zu transportieren, wobei ein elektronischer Frachtbrief durch Software-Agenten, die über eine Wissensbasis verfügen, jederzeit und an jedem beliebigen Standort abgefragt werden konnte. „Im Laufe dieses Szenarios kommt es zu unterschiedlichen internen und externen Störungen wie Staus

„Viele Technologien für die Selbststeuerung sind entwickelt oder bald verfügbar.“

auf der Autobahn und Ausfall der Kommunikation oder des Kühlgregats“, erklärt Freitag, „die nun unser Container erkennen kann und damit Entscheidungsprozesse in und zwischen den Software-Agenten auslöst.“

Von Anfang an hat sich der SFB an dem Ziel orientiert, die Ergebnisse der Grundlagenforschung schon während der Laufzeit in wirtschaftliche Praxis umzusetzen. Gleich im ersten Jahr wurde deshalb ein Industriekolloquium organisiert, an dem rund 80 Teilnehmer aus der Logistikpraxis, aus kleinen und größeren Unternehmen, teilnahmen. „In diesen Gesprächen haben wir unsere Fragestellungen schärfen können“, sagen unisono Otthein Herzog und Bernd Scholz-Reiter. In insgesamt 13 Teilprojekten untersuchen die Bremer Wissenschaftler die Grundlagen der Modellierung von selbststeuernden logistischen Prozessen, entwickeln Methoden und Werkzeuge, identifizieren potenzielle Anwendungsfelder und bereiten sich schon in der ersten SFB-Laufzeit darauf vor, ab 2008 verstärkt Anwendungen zu entwickeln.

Aber noch ist es nicht soweit, in den ersten beiden Jahre hat sich wieder einmal die landläufige Wahrheit bewahrheitet, dass der „Teufel im Detail“ steckt: „Viele nützliche Technologien, die wir für die Selbststeuerung brauchen,

sind entwickelt oder in naher Zukunft verfügbar“, sagt Scholz-Reiter. „Aber das Nadelöhr, das wir in unserer Forschung erfolgreich durchschreiten müssen, ist die Organisation des Ganzen.“ Klar, die Wirtschaftswissenschaften verfügten über organisations-theoretische Modelle, aber die müssten an die Aufgabe der Selbststeuerung angepasst werden. Die verschiedenen Technologien müssten zu einem gedeihlichen Zusammenwirken integriert werden, und „für all das die Algorithmen zu entwickeln, bedeutet für uns noch ein hartes Stück Arbeit, denn wir haben es mit Systemen zu tun, die sich nichtlinear-dynamisch verhalten, und dafür gibt es noch keine analytischen Beschreibungsmethoden.“

„Auf der Simulationsebene können wir zwar schon zeigen, wie Selbststeuerung funktioniert“, sagt Herzog, „aber der Paradigmenwechsel, den wir im Namen unseres SFB anführen, ist längst noch nicht ausgelotet.“ Wenn logistische Objekte autonom Entscheidungen treffen sollen, müssen sie – wie wir Menschen – unter anderem über eine Wissensbasis verfügen. Mit diesen Fragen setzt sich zum Beispiel das Teilprojekt Wissensmanagement auseinander. Und wie möglicherweise verteilt vorhandenes Wissen den technischen Objekten so zugänglich wird, dass sie das richtige nutzen, fragen sich etwa die Forscher im Teilprojekt Risikomanagement. Nach zwei Jahren Laufzeit wissen sie schon, dass es neben der Ausarbeitung einer Wissensbasis für die interagierenden Software-Agenten, den so genannten Multiagentensystemen, auch auf etwas ankommt, das uns Menschen nur allzu vertraut ist, nämlich das Vergessen: „Lernen und vergessen von Wissen – das ist total ungelöst“, sagt Herzog. Der RFID-Chip an einem logistischen Objekt müsse vergessen können, weil schlicht seine Speicherkapazität begrenzt sei – „und auch ein Container, der sich schon mehrfach in einander ähnelnden Situationen für eine Routenvariante entscheiden musste, sollte sich nur an die richtigen Wege erinnern dürfen.“

Dieter Beste

Tückische Verwandlungskünstler

Malaria lässt sich im Prinzip mit einfachen Mitteln zurückdrängen“, sagt Olaf Müller, der im SFB 544 „Kontrolle tropischer Infektionskrankheiten“ der Universität Heidelberg die Arbeitsgruppe Malaria-Bekämpfung leitet. „Und das sind mit Insektiziden getränkte Bettnetze.“ Der Clou dabei ist das für den Menschen gut verträgliche Insektizid Pyrethroid: Die Moskitos der Gattung *Anopheles*, die den Erreger der Malaria auf den Menschen übertragen, können die Substanz nicht riechen, und so suchen sie das Weite. Und sollten sie doch einmal in Kontakt mit dem Mittel kommen, ist das ihr Todesurteil. „Wenn in allen Haushalten solche Netze hängen, nimmt die Anzahl der Mücken drastisch ab“, erklärt Müller. In den 90er Jahren bewiesen Feldstudien, an denen auch Müller beteiligt war, wie erfolgreich die Bettnetze kleine Kinder und schwangere Frauen schützen.

Dennoch zögerten viele Wissenschaftler, imprägnierte Netze zu empfehlen: Lange hielt sich die Hypothese, dass Kinder, die nicht von Moskitos gestochen wurden,

auch keine Immunität entwickeln könnten. Man befürchtete, dass sie daher später in ihrem Leben um so heftiger an Malaria erkrankten. Viele Kinder, die – wie in Afrika – durch Hunderte von Mückenstichen unterschiedliche Varianten des Parasiten in ihr Blut aufnehmen, bilden allmählich Abwehrkräfte, die sie zwar nicht 100prozentig vor einer Erkrankung schützen, aber zumindest vor dem Schlimmsten.

Diese Immunität ist jedoch kein Grund aufzuatmen: In Afrika rafft das Tropenfieber jährlich ein bis zwei Millionen Menschen dahin. Dass in Burkina Faso 20 Prozent der Kinder sterben, bevor sie fünf Jahre alt sind, und davon ein Viertel an Malaria, veranlasste Olaf Müller, in der dortigen Region Nouna eine Studie durchzuführen. Sie bewies, dass die Kindersterblichkeit sich durch Moskitonetze nicht einfach auf ein höheres Lebensalter verschiebt, ja dass die Kinder, die mit Netz schliefen, sogar gesundheitlich robuster waren als die anderen. Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat diese Malaria-Prävention als eine der wichtigsten Strategien in ihr Programm aufgenommen. Jetzt will

Müller sicher stellen, dass in jedem Dorf auch genügend Netze hängen. „Genau daran hapert es noch.“ In einer neuen Studie will er untersuchen, welche Maßnahme sich am besten eignet, damit die Bevölkerung die Netze auch annimmt.

Seit vielen Jahren ist das Centre de Recherche en Santé de Nouna in Burkina Faso, ein Forschungszentrum des dortigen Gesundheitsministeriums, Partner des SFB. Deswegen reicht also weit über das Labor hinaus: Die Wissenschaftler aus Heidelberg und Nouna führen epidemiologische und demographische Untersuchungen durch, machen Medikamenten- und Impfstofftests oder forschen an der Gesundheitssystementwicklung, die unter anderem dafür sorgen will, dass die Menschen krankenversichert sind. Die Universität Heidelberg ist die einzige deutsche Institution, die so eng und interdisziplinär mit einer afrikanischen Forschungsstation kooperiert. „Es ist wichtig, dass unsere Arbeit den Menschen hilft, die es am nötigsten brauchen“, sagt Hans-Georg Kräusslich, der Sprecher des SFB. Ein Drittel aller Todesfälle pro Jahr sind durch Infektionskrankheiten bedingt, und Afrika südlich der Sahara hält dabei den traurigen Rekord.

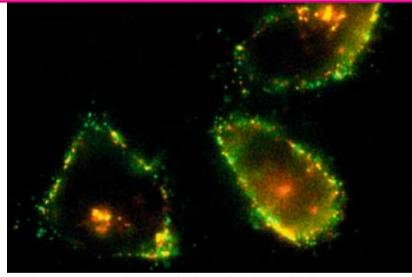
Die Malaria ist Thema der meisten SFB-Projekte, weitere befassen sich mit dem Aids-Erreger HIV und mit den Trypanosomatiden, die unter anderem für die Schlafkrankheit verantwortlich sind. Den größten und entscheidenden Teil der SFB-Arbeiten leisten die Wissenschaftler in Heidelberg: in der biomedizinischen Forschung, an neuen Therapien und Medikamenten und klinischen Studien. „Diesen Bogen im SFB überbrücken zu müssen, sorgt auch

SFB 544



Kampf gegen Malaria: In einer Patienten-Studie in Burkina Faso testeten Ärzte das Kombinations-Präparat BlueCQ.

Um dem Aids-Erreger auf die Schliche zu kommen, ist es wichtig, die Wechselwirkungen zwischen Virus und befallener Zelle zu beobachten: Mit einem Fluoreszenz-Protein werden HIV-Partikel markiert, die an die Zellen binden.



Marko Lampe, Abteilung Virologie, Universität Heidelberg

dafür, dass alle mehr miteinander reden," so Kräusslich. Beteiligt ist ein außergewöhnlich hoher Anteil an jungen Wissenschaftlern; sechs von ihnen sind bereits Projektleiter. Auch eine SFB-Nachwuchsgruppe gehört dazu. Über dieses Förderinstrument können junge Wissenschaftler in den Verbund integriert werden. Sie erhalten – entsprechend den Emmy Noether Nachwuchsgruppen der DFG – eine besonders gute finanzielle Unterstützung.

So verschieden der Parasit *Plasmodium falciparum*, der die tödliche Malaria tropica auslöst, und das Aids-Virus auch sind – gemeinsam haben sie die erschreckende Fähigkeit, sich ständig zu verändern und so unempfindlich gegen Medikamente zu werden. Sie sind der Grund dafür, dass sich die Forscher niemals auf Erfolge ausruhen können. Kräusslich setzt sich mit HIV bereits seit 18 Jahren auseinander, in denen er unter anderem die ausgeklügelten Resistenzmechanismen studiert hat. Alle heute verfügbaren Medikamente führen dazu, dass sich das Virus im infizierten Patienten schlecht oder gar nicht vermehren kann. Doch immer wieder und in einem atemberaubenden Tempo verändert es durch Mutationen seine Struktur und entwischt so seinen Angreifern.

Heute behandelt man HIV-Infizierte daher mit einer Kombination von Medikamenten; bleibt eines wirkungslos, haben andere noch die Chance, die Vermehrung des Erregers aufzuhalten. Handelt es sich jedoch um denselben Angriffspunkt, besteht die Gefahr von Kreuzresistenzen: Wenn das Virus bereits gegen fünf verschiedene Hemmer resistent ist, wird ihm möglicherweise auch ein sechster nichts anhaben können. „Deshalb und auch wegen der Nebenwirkungen sind nicht nur neue Wirkstoffe notwendig, son-

dern neue Wirkstoffklassen," sagt Kräusslich. Es gilt, immer wieder andere Mechanismen zu finden, um in verschiedenen Stadien der Virusentwicklung einzugreifen.

Kräusslichs eigenes Projekt hat die Viruspartikel selbst im Visier, die sich im letzten Schritt beim Verlassen der befallenen Zelle bilden. Ein mögliches Ziel für antivirale Medikamente könnte der Prozess des Zusammenbaus, Assembly genannt, sein. „Man kann sich das wie einen Bau aus Legosteinen vorstellen“, erklärt der Virologe. „Wenn wir es schaffen, irgendwo einen Stein einzusetzen, der nicht passt, kann kein Haus beziehungsweise Virus entstehen.“ Einen solchen Stein, ein kurzes Eiweißbruchstück, haben die Forscher schon hergestellt. „Es ist uns im Reagenzglas gelungen, aber noch nicht im kompletten Virus“, sagt Kräusslich. „Der Weg bis zu einer pharmakologischen Weiterentwicklung ist sehr lang. Wir wollen zuerst einmal beweisen, dass Assembly-Hemmung überhaupt funktioniert.“

Manchmal helfen auch ungewöhnliche Pfade. Der Biochemiker Heiner Schirmer, der im SFB Malaria-Medikamente erforscht, hatte die Idee, einen uralten, längst vergessenen Wirkstoff auszugraben, um die Resistenz-Fähigkeit des Plasmodium-Parasiten auszutricksen: Methylenblau. Mit ihm behandelte erstmals Paul Ehrlich Ende des 19. Jahrhunderts erfolgreich Malaria-Patienten. Schirmer wollte ihn mit dem gängigen Medikament Chloroquin kombinieren, das allmählich seine Wirkung gegen Plasmodien verliert. Methylenblau hat nämlich eine doppelt effektive Eigenschaft: Es hemmt die Glutathion-Reduktase, ein Enzym, das den Parasiten einmal vor Angriffen unseres Immunsystems bewahrt und ihn zugleich gegen Chloroquin wappnet. Für eine Patientenstudie mit der Kombination „BlueCQ“

erhielt er daraufhin 2002 den Dream Action Award des niederländischen Chemiekonzerns DSM.

„Schirmer hatte keine Erfahrung mit klinischen Studien“, erinnert sich Olaf Müller, „und so kam er innerhalb des SFB zu mir.“ Sie stellten ein multidisziplinäres Team zusammen, das begann, in Burkina Faso BlueCQ an Patienten zu testen. Enttäuscht mussten die Wissenschaftler jedoch am Ende einen Rückschlag hinnehmen: Die Synergie zwischen beiden Wirkstoffen reichte nicht aus. Heute aber haben sie schon wieder Grund zur Zuversicht: Laborversuche zeigten, dass Methylenblau und die neue Wirkstoffgruppe der Artemisinine, die aus einem chinesischen Beifußgewächs gewonnen werden, gut harmonisieren. 180 Patienten einer Pilotstudie hoffen nun, dass sie mit diesem Cocktail gesund werden.

„Die beste Waffe wäre allerdings ein Impfstoff“, sagt Müller. Immerhin hat SFB-Projektleiter Hermann Bujard ein Protein des Plasmodium-Parasiten identifiziert, das als Kandidat für eine Vakzine gilt und, so Müller, „Anlass für vorsichtigen Optimismus“ gibt. Ein Ansatz für eine HIV-Schutzimpfung hingegen ist derzeit nicht in Sicht. Das Erschreckende sei, so Kräusslich, dass es ja eigentlich einen ganz einfachen Weg gäbe sich zu schützen, „zu verhindern, dass man sich ansteckt.“ Aufklärung bleibe daher die wichtigste Aufgabe. Auch sonst muss der Krieg an allen Fronten weitergehen. Eine davon führt auch den Grundlagenforscher Kräusslich näher an den Alltag der Betroffenen in Burkina Faso heran. Ziel eines Projekts ist es zu verhindern, dass HIV-positive Mütter – während der Geburt oder später über die Muttermilch – das Virus auf ihr Kind übertragen. Um Mutter und Kind wirksam behandeln zu können, untersucht er die Immunantwort und prüft das Patientenvirus auf Resistenz. „Speziell dieses Projekt wurde durch den Wunsch der Kollegen in Nouna ins Leben gerufen, da bis dahin in der ganzen Region keine Programme zur Beratung oder Behandlung von HIV bestanden“, sagt Kräusslich. „Ohne den SFB wäre es nie entstanden.“

Marion Kälke

Aufbruch in die Zwischenwelt

Wenn Experimentalphysiker auf theoretische Physiker treffen, sich der Nanophysiker mit dem Quantenoptiker, der Festkörperphysiker mit dem Quanteninformatiker unterhalten will, dann müssen schnell einmal Tafel und Kreide her – zu babylonisch ist ihnen das Sprachgewirr der Begrifflichkeiten; erst die Formel an der Wand sorgt für Eindeutigkeit: „Die Qualität eines Resonators heißt zum Beispiel bei uns in der Halbleiterphysik Gütefaktor oder quality factor“, sagt Reinhold Kleiner, „bei den Optikern hingegen finess.“ An diesem Freitag fand das Kolloquium des SFB/TRR 21 – TRR steht für Transregio – in Tübingen statt, und Reinhold Kleiner, einer der stellvertretenden Sprecher und Festkörperforscher an der Universität Tübingen, war diesmal wieder Gastgeber der Runde von rund zwei Dutzend Köpfen.

Man trifft sich im zweiwöchigen Rhythmus reihum, denn am Transregio-SFB sind auch Physiker der Universitäten Ulm und Stuttgart sowie des Stuttgarter Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung beteiligt. Mitte 2005 haben sich die Forscher gemeinsam auf den Weg gemacht, Quantenmaterie zu kontrollieren. Zudem trug sie die Hoffnung, neue Zustände der Materie zu entdecken, die sie irgendwo in der Zwischenwelt von mesoskopischen Systemen – dem Arbeitsbereich der Festkörperphysik – und Quantengasen – dem Forschungsfeld der Quantenphysiker – vermuteten. Letzteres Thema erfuhr einen grandiosen Aufschwung, seit es 1995 erstmals gelang, in der Nähe des absoluten Nullpunkts die so genannte „Bose-Einstein-Kondensation“ von ultrakalten atomaren Gasen zu realisieren. 2001 bekamen dafür die Amerikaner Eric Cornell und Carl

Wieman sowie der in den USA forschende Deutsche Wolfgang Ketterle den Physik-Nobelpreis.

„Wir waren in Europa 1997 die Ersten, die Bose-Einstein-Kondensate hergestellt haben“, sagt Wolfgang Peter Schleich, Quantenphysiker an der Universität Ulm. Wir, damit meint er die seinerzeit von der DFG geförderte Forschergruppe, die sich schon Mitte der 90er Jahre zu gemeinsamer Arbeit zusammenfand und deren Initiative letztlich in die Beantragung des SFB/TRR 21 mündete.

Tatsächlich favorisiert eine Initiative häufig die transregionale Form eines SFB, wenn sie die notwendige Expertise für das gewählte Forschungsgebiet nicht an einer Universität allein, sondern nur in Kooperation mit anderen Hochschulen findet. Gleichzeitig ist die

Messlatte, die bei Transregios an die Wahl der Partner und die wissenschaftliche Quali-

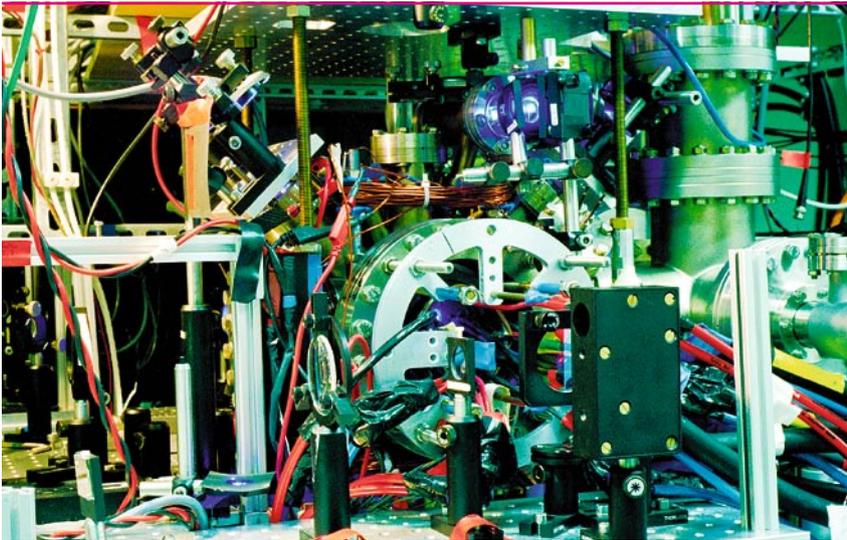
„Wir schlagen die Brücke zwischen Atom- und Festkörperphysik“

tät gelegt wird, besonders hoch; bei der Begutachtung gelten sehr scharfe Kriterien: Die Arbeitspakete, die von den verschiedenen Universitäten eingebracht werden, sollten sich optimal ergänzen, und es sollten sich nur die Besten der Besten unter den Wissenschaftlern verbunden haben. Zudem muss an jeder Hochschule die Schwerpunktbildung zur Thematik des SFB/TRR gewährleistet sein.

Eine wichtige Triebfeder im Gründungsprozess des SFB/TRR 21 war von Anbeginn an Tilman Pfau, der 2000 von der Universität Konstanz in die Leitung des 5. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart wechselte. Pfau ist Sprecher des SFB/TRR 21. „In der damaligen Forschergruppe „Quantengase“ hatten wir allerdings nur ein Teilgebiet des heutigen Sonderforschungsbereichs im Blick“, sagt er, „nämlich die Physik der kalten Atome.“

Tilman Pfau befasst sich auch im SFB/TRR 21 mit den Bose-Einstein-Kondensaten. Weltweit erstmals ist es seiner Arbeitsgruppe an der Universität Stuttgart im letzten Jahr gelungen, bei 700 Nanokelvin Chrom-Gas zu kondensieren – aus mehr als 50 000 Chrom-Atomen, aus denen inzwischen schon 100 000 wurden. Wenn auch Albert Einstein den Phasenübergang von „normaler“ Materie zum Bose-Einstein-Kondensat schon 1925 vorausgesagt hatte, musste die experimentelle Darstellung noch viele Jahrzehnte auf sich warten lassen. Erst mit der Laserkühlung (dafür wurde der Nobelpreis 1997 verliehen) gelang es, Atome in der Gasphase auf etwa 10 bis 100 Mikrokelvin abzukühlen. Auf diesem Niveau schon ziemlich bewegungslos – die Geschwindigkeit der Atome in der Gaswolke beträgt nur noch einige Zentimeter pro Sekunde – können die Physiker sie trickreich mit magnetischen oder optischen Fallen einzeln einsammeln und mittels einer so genannten Verdampfungskühlung auf wenige 100 Nanokelvin weiter herunterkühlen.

Dann, ganz nahe am absoluten Nullpunkt, passiert es: Die Atome verlieren ihre Eigenständigkeit und verhalten sich wie ein einziges quantenmechanisches Objekt. Ihr klassischer Charakter, nämlich einzelne, unterscheidbare Teilchen zu sein, schlägt urplötzlich in einen neuen Aggregatzustand kollektiven quantenmechanischen Wellenverhaltens um: Im Bose-Einstein-Kondensat werden die Atome ununterscheidbar. Charakteristisch ist die Kohärenz des Wellenverhaltens, also die einheitliche Wellenlänge über die gesamte Ausdehnung des Kondensats hinweg, verbunden mit der Ausbildung völlig neuer Materialeigenschaften. Schon seit längerem vermuteten die Physiker, dass dieser fundamentale Unterschied zu „normaler“ Materie die Grundlage für makroskopische Quanten-



Versuchsaufbau am 5. Physikalischen Institut der Universität Stuttgart, mit dem es der Gruppe von Tilman Pfau gelingt, rund 100.000 Chrom-Atome in ein Bose-Einstein-Kondensat zu überführen. Rechts oben im Bild ist zu sehen, wie der Laserstrahl zur Kühlung in die Vakuumkammer eingespiegelt wird.

phänomene wie Supraleitung oder Superfluidität sei. „Unsere Bose-Einstein-Kondensate aus Chrom-Atomen zeigten zum Beispiel ferromagnetische Eigenschaften“, berichtet Pfau und deutet an, dass Chrom-Kondensate vielleicht einmal in der Nanotechnologie als Quelle so genannter Atom-Laser dienen könnten, um einzelne Atome mit hoher Auflösung auf Oberflächen zu deponieren.

Ultrakalte Atome, Quantengase, Bose-Einstein-Kondensate – das ist der eine Ausgangspunkt von insgesamt 14 Teilprojekten im SFB/TRR 21. „Wir nähern uns hier sozusagen der gemeinsamen Mitte einer Brücke, die wir Atomphysiker zu den Festkörperphysikern schlagen und umgekehrt“, sagt Tilman Pfau. Denn als man erst einmal miteinander ins Gespräch gekommen war, wurde schnell deutlich, dass „die Physik der Atome und der ebenfalls von Quanteneffekten beherrschten mesoskopischen Systeme mit Objektgrößen von 10 bis 100 Nanometern ziemlich ähnlich ist“.

Gemeinsames Ziel der unterschiedlichen Physik-Disziplinen im SFB/TRR 21 ist es nun, die teilweise komplementären Kontrollmöglichkeiten einzusetzen, um Vielteilchenquantenkorrelationen gezielt zu steuern und die Gemeinsamkeiten von mesoskopischen Systemen und Quantengasen dazu zu nutzen, neue Zustände der Materie zu entdecken, neue dynamische Quantenzustände zu erzeugen, das Verständnis des Skalierungsverhaltens von wenigen zu vielen gekoppelten Systemen zu

entwickeln, Dekohärenzeffekte zu manipulieren und zu untersuchen sowie Licht-Materie-Zustände zu kontrollieren.

Tatsächlich ist es in den letzten Jahren vielfach schon gelungen, Quantengase als wechselwirkende Quantenmaterie in sehr gut definierten Geometrien und bei ultrakalten Temperaturen zu kontrollieren. „Auch können wir mit unserem Superrechner an der Universität Stuttgart das Zusammenwirken der Teilchen simulieren“, sagt Alejandro Muramatsu von der Universität Stuttgart, ebenfalls stellvertretender Sprecher des SFB/TRR 21. Allerdings zeigt Muramatsu auch die Grenzen der theoretisch-virtuellen Analyse von Quantenmaterie auf: „Unser Rechner war vor einem Jahr, als er installiert wurde, der schnellste Rechner Deutschlands und in seiner Eigenschaft als Vektorrechner schnellster Supercomputer Europas – aber er schafft es nur, das Verhalten von 36 Teilchen abzubilden.“

Die SFB/TRR-Forscher sind sicher, dass es ihnen mit den Techniken und Verfahrensweisen aus der Festkörperphysik gelingen wird, Quantenmaterie wie in einem Legosystem zusammensetzen zu können. „Ich bin schon sehr gespannt, wie sich dann das experimentelle Ergebnis mit dem errechneten zur Deckung wird bringen lassen“, sagt Wolfgang Peter Schleich: „Wie wird sich das bei 30 Teilchen darstellen, stimmen Experiment und Rechnung bei 35 Teilchen überein? Und dann träume ich natürlich von experi-

mentellem Neuland: 40 Teilchen, 50 Teilchen, 100 gar.“

Der Optimismus, bald im „Niemandland“ zwischen Mikro- und Mesokosmos fündig zu werden und Neues zu entdecken, schöpft sich aus der Erkenntnis, „dass wir nach unseren ersten Gesprächen über die innerwissenschaftliche Kulturgrenze hinweg schnell merkten, dass wir das Rüstzeug dafür schon längst in Händen hielten“, sagt Reinhold Kleiner, „das festzustellen, hat uns etwas Zeit gekostet, aber dann natürlich elektrisiert.“ „Es ist ja so, dass jede Community eine bestimmte Geschichte hat und im Laufe der Zeit ein gemeinsames Verständnis der zugrundeliegenden Physik entwickelt“, erläutert Pfau, „wenn wir nun zusammen lernen, wie der jeweils andere die Dinge versteht, dann profitieren wir alle – und das ist ein Mehrwert, der in diesem transregionalen Sonderforschungsbereich entstehen wird.“ „Und es geht ja nicht nur ums gegenseitige Verstehen – auch unsere Techniken sind unterschiedlich, jede Community hat ihre Verfahren“, fügt Kleiner hinzu.

Tilman Pfau hat zusammen mit seinen Kollegen daraus den Schluss gezogen, innerhalb des SFB/TRR 21 keine Mühen zu scheuen, hier für eine neue Verständigungsbasis innerhalb der Physik zu sorgen. So sind zum Beispiel die Doktoranden in den Projekten dazu verpflichtet, jeweils für mindestens eine Woche in ein Projekt der anderen Community zu gehen, dort mitzuarbeiten, andere Denkweisen und Techniken kennen zu lernen und schließlich hierüber einen Vortrag zu halten. „Wir erhoffen uns, dass auch auf der Ebene der Doktoranden dieser euphorisierende Prozess stattfindet, den wir in der Runde der Teilprojektleiter durchlaufen“, sagt Pfau. *Dieter Beste*

Archäologie des Gedächtnisses

Einer der schönsten Auslöser einer Erinnerung in der Literatur ist ein in Tee getunktes Kuchenstück, eine Madeleine. Die Tante reichte sie dem Erzähler, als er noch klein war. In Marcel Prousts Roman „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“ (1913) wiederholt sich dieses Erlebnis viele Jahre später, und mit einem Mal „stiegen jetzt alle Blumen unseres Gartens und ... all die Leute aus dem Dorf und ihre kleinen Häuser und die Kirche ... aus meiner Tasse Tee“.

Menschen verlassen sich nicht gern allein auf die Gedächtnisleistung, ebenso wenig indes auf Zufälle, wie sie dem Romanhelden widerfahren. Sie schaffen sich Eselsbrücken: im Fotoalbum, im zum kommerziellen Massenprodukt gewordenen Reiseandenken oder in der geerbten Taschenuhr. Eine Ausstellung über das – recht breit interpretierte – „Souvenir“ widmet sich bis zum 29. Oktober diesem Thema; das Museum für Angewandte Kunst in Frankfurt am Main hat sie zusammen mit dem SFB 434 „Erinnerungskulturen“ der Universität Gießen organisiert. Das individuelle wie kollektive Bemühen, der Vergesslichkeit ein Schnippchen zu schlagen, zeigt die Schau in all ihren ernsten, banalen, kitschigen, nostalgischen und skurrilen Formen. Schon die Pilger des Mittelalters trugen Reliquien als Andenken nach Hause. Im 18. und 19. Jahrhundert wurden Locken als Gedenken an die verstorbene Geliebte kunstvoll geflochten, geklöppelt und eingefasst. Symbole politischer Umbrüche sind um 1800 entstandene Modelle der Bastille, deren Erstürmung die Französische Revolution begründete, oder Steine der Berliner Mauer, die nach der Wende auf der Straße zu erstehen waren.

Historiker sind schon per Definition professionelle Erinnerung, Chronisten vergangener Ereignisse. Und auch die Kunst- und Literaturgeschichte richtet den Blick zurück.

„In den 90er Jahren hat es in den Geisteswissenschaften einen Wandel gegeben“, berichtet der Historiker Jürgen Reulecke, Sprecher des SFB. „Es gab einerseits die Geschichte, wie sie in den Lehrbüchern steht. Nun galt das Interesse plötzlich aber den Erfahrungen von Menschen in ihrer jeweiligen Zeithemat.“ Als der SFB 1997 entstand, entwickelte er sich zu einer „Lokomotive“ dieses Trends.

Die Wissenschaftler widmen sich der Frage, wer sich an was auf welche Weise erinnert, und schlagen einen Bogen von der Antike bis heute. Zwar ist Erinnerung zunächst etwas Subjektives, das intim im Kopf des Einzelnen stattfindet. Jedoch „entsteht sie niemals im luftleeren Raum“, sagt die Anglistin Birgit Neumann, die zusammen mit Reulecke den SFB koordiniert. Erinnerungen sind eingebunden in soziale, religiöse, kulturelle, ethnische, generationen- und geschlechtsspezifische Bezüge. „Und damit sie überhaupt wirksam und über Generationen hinweg transportiert werden können, bedarf es der Vermittlung durch Medien.“ Dazu gehören nicht nur „Dinge“, wie sie die Frankfurter Ausstellung benennt, sondern auch mündliche und schriftliche Sprache, Bild und Ton, Rituale, Zeremonien und Inszenierungen. Mit den technischen Revolutionen veränderten die Vermittlungsmedien auch die Art der Erinnerung. Sie sind Thema der Arbeitsgruppen, die sehr von Nachwuchsforschern geprägt werden und in denen die Vertreter der 20 Teilprojekte sich verständigen.

Erinnerungen üben sogar dort Einfluss aus, wo man es nicht erwartet. Der Soziologe Andreas Langenohl beschäftigt sich mit einer

Zunft, deren Anliegen es eigentlich ist, Zukunft zu antizipieren: der Börse. Er befragte Analysten und Fondsmanager nach der Bedeutung von Vergangenheit und Erinnerung in ihrer alltäglichen Arbeit. Selbstverständlich beziehen sie die Charttechniken, mit denen auf mathematischer Grundlage Kursverläufe berechnet werden, in ihre Strategien ein. Ebenso betrachten sie die Geschichte einzelner Firmen und ihrer Aktienkurse, da sie ihre Empfehlungen und Entscheidungen den Anlegern gegenüber legitimieren müssen. „Jeder Börsianer hat aber auch die ersten geplatzten Spekulationsblasen im Kopf: die Tulpenzwiebel-Hausse 1636 und den Londoner Südsee-Crash von 1720.“ Und erst recht präsent sind jüngste Ereignisse, die die Aktienmärkte bewegten: der erste Irakkrieg, die Boomphase der 90er Jahre, das Platzen des New-Economy-Hypes 2000. Merkwürdig sei, so Langenohl, dass professionelle Anleger ganz nach dem Prinzip des Börsenweisen André

*Inszenierte Tradition:
Der frühere Präsident Kenias Kenyatta
in der Tracht der Kikuyu.*



In Stammbüchern verewigten sich wie in den heutigen Poesiealben gute Freunde mit Widmungen. Das abgebildete von 1792 gehörte einem gewissen Johann Gottlieb Krantz.



Axel Schneider/MAK Frankfurt

Kostolany an ein realwirtschaftlich begründetes, langfristiges Kurswachstum glauben; auf dem Parkett jedoch gehe es ihnen stets um unmittelbares Reagieren, um schnelles Kaufen oder Verkaufen. Weil sie vermuten, dass die anderen Anleger sich ebenso von Erfahrungen mit Krisen, Gerüchten oder Erfolgsgeschichten leiten lassen, richten sie ihre Entscheidungen danach aus.

„Für den Namen unseres SFB haben wir bewusst den Plural des Wortes ‚Kultur‘ gewählt“, erläutert Reulecke, „darin drücken sich Wandelbarkeit, Vielfalt und Konflikte der Erinnerung aus“. So erinnern sich Finanz-Experten anders an den Irakkrieg als die Iraker, diese wiederum anders als die amerikanischen Soldaten. Und überall streiten Bevölkerungsgruppen um das, was überhaupt erinnerungswürdig sei. Tabus herrschen ebenso wie die Verdrängung. Die Verbrechen des Nazi-Regimes etwa rückten mit ganzer Kraft erst nach dem Wiederaufbau Deutschlands und mit der Jugend-Revolt der 60er Jahre ins öffentliche Bewusstsein; auch dies ist Thema eines SFB-Projektes. Wie schwer wir uns damit immer noch tun, zeigt der Bau des Holocaust-Mahnmals in Berlin, der neben allen anderen Kontroversen auch die Frage nach einer „Hierarchie der Nazi-Opfer“ – wie es „Der Spiegel“ formulierte – ausgelöst hat. „Opfer sind natürlich zuerst die Juden, die Sinti und Roma, die Bevölkerung in den besetzten Gebieten und die Verfolgten gewesen“, so Reulecke. Bis heute vergessen geblieben seien hingegen zum Beispiel die Menschen, die den Zweiten Weltkrieg als Kinder erlebt haben und die, anders etwa als die Vertriebenen, keine Lobby haben. Im vorigen

Jahr war der SFB Mitveranstalter eines Kongresses zum Thema „Die Generation der Kriegskinder“, und ein SFB-Projekt untersucht die traumatischen Erfahrungen dieser „Kinder ohne Väter“.

Es sind gerade die radikalen Umwälzungen der letzten hundert Jahre, die Erinnerungen mit Konflikten beladen. In Zusammenarbeit mit der Hebrew University in Jerusalem geht Reulecke in einem weiteren Projekt zum Beispiel dem Kulturschock nach, den junge deutsche Juden mit der Emigration nach Palästina erlebten. Als Teil der Jugendbewegung in der Weimarer Republik sind sie „ganz selbstverständlich in Wandervogel-Gruppen durch die deutschen Wälder marschiert“. Die Wissenschaftler erforschen, welche Vorstellungen sie in die fremde Welt mitgenommen haben.

Eine andere Konfrontation zweier Kulturen beschäftigt den Historiker Winfried Speitkamp; er untersucht, wie Menschen ihre Lebensgeschichte im Ostafrika der kolonialen und nachkolonialen Zeit reflektierten und wie in ihren Erinnerungen die von den Kolonialherren hineingetragenen Werte, Normen und Haltungen mit den eigenen verschmolzen. Die Begegnung prägte auch ihre Vorstellungen von Tradition, denn zwischen dem Erleben der Kindheit und der Erinnerung daran liegt ja immer eine lange Zeit voller neuer Eindrücke. Dazu gehörte, so Speitkamp, interessanterweise auch der Einfluss, den die westliche Zivilisationskritik im frühen 20. Jahrhundert auf die Afrikaner ausübte: Sie konstruierten selbst ein mythisiertes Bild von ihren Wurzeln. In der Kolonialzeit wurde Tradition zudem zu einem Instrument, mit dem Politiker den Kampf für

nationale Unabhängigkeit führten. Der frühere kenianische Präsident Jomo Kenyatta (ca. 1892 – 1978) etwa schrieb in London 1938 seine Magisterarbeit über das Volk der Kikuyu. Das Cover-Foto des später veröffentlichten Buches „Facing Mount Kenya“ zeigt ihn in traditioneller Kleidung. „Im alltäglichen Leben aber trug er selbstverständlich einen Anzug.“

Speitkamps Quellen sind vor allem Autobiografien. Obadiah Kariuki etwa, ein Bischof der anglikanischen Kirche in Kenia, erzählt in seinen Memoiren (1985), wie er vom Ziegenhirten zum geachteten Kirchenvorstand aufstieg. Darin setzt er sich mit den Werten der westlichen und der traditionellen Religion und Kultur auseinander und findet in einer Synthese beider am Ende seine eigene Position im heutigen Afrika. „Wie er haben auch andere ihre Lebensgeschichte entworfen, die für sie sinn- und identitätsstiftend wirkte“, sagt Speitkamp.

Bald wird der SFB sich an seine eigene Geschichte erinnern können. Wenn 2008 seine 12jährige Förderungszeit endet, schauen die Wissenschaftler auf einen Korb voller Früchte: eine Palette von Büchern, darunter eine eigene, jetzt schon 27 Bände umfassende Reihe, dazu unzählige Ringvorlesungen mit Gastrednern vor dem Gießener Bildungspublikum, eine intensive Zusammenarbeit mit Jerusalem, der Cornell University in Ithaca, New York, und europäischen Einrichtungen. „Das Spannende ist“, so Reulecke, „dass mit dem Ende des SFB das Thema nicht abgeschlossen ist.“ Die Generation der Nachwuchswissenschaftler, so ist er überzeugt, wird weiter den Spuren der Erinnerung folgen. *Marion Kälke*

Geheimnis der Eigenschaften

Ihre Anzahl ist Legion: Allein 2288 Stahlsorten weist die Europäische Stahlregistratur gegenwärtig aus, dabei sind Werkssondermarken und Stähle nach außereuropäischen Regelwerken noch nicht einmal berücksichtigt. Die Anzahl der Sorten spiegelt das Spektrum an Eigenschaften, das dieser Werkstoff aufweisen kann, seine Unterschiede in Härte, Zähigkeit oder etwa Schmiedbarkeit, seiner Duktilität. „Ist es nicht verwunderlich, dass alle diese unterschiedlichen Eigenschaften bei fast gleicher chemischer Zusammensetzung in Erscheinung treten?“, fragt Günter Gottstein vom Institut und Lehrstuhl für Metallkunde und Metallphysik der RWTH Aachen, und gibt gleich selbst die Antwort: „Es ist nicht die Chemie, sondern die Physik, die für die Eigenschaften von Stahl steht – die Mikrostruktur, die räumliche Verteilung der Elemente, die Kristallstruktur oder auch die Defekte in den Kristallgittern.“

Günter Gottstein ist Sprecher des Transferprojektes 63 „Praxisrelevante Modellierungswerkzeuge“, das Anfang 2006 mit Ende der Laufzeit des SFB 370 „Integrative Werkstoffmodellierung“ seine Arbeit an der RWTH Aachen für drei Jahre aufgenommen hat, um in gemeinsamen Projekten mit Industrieunternehmen die Ergebnisse der Grundlagenforschung in die Praxis einzubringen, ihre prinzipielle Realisierbarkeit zu überprüfen und auch neue beziehungsweise weitergehende Fragestellungen in die Forschung der Universität zurückzukoppeln. Gegenstand der Forschung im SFB war über zwölf Jahre hinweg das Unterfangen, „eine prozessdurchgängige Werkstoffsimulation“ zu entwickeln.

Stahl zum Beispiel ist eine Legierung von Eisen und Kohlenstoff, hinzu kommen mehr oder weniger anteilig Elemente wie Nickel oder Chrom, Mangan oder Titan. Das Vertrackte daran: „Aus der Zusammensetzung lassen sich nur sehr

vage Voraussagen über die Eigenschaften des Werkstoffs ableiten“, sagt Gottstein, „dies gelingt uns nur, wenn wir die jeweilige Mikrostruktur kennen, die sich auf der atomistischen Ebene unter diesem Blickwinkel leider sehr vielfältig präsentiert. Sie ändert sich zudem andauernd entlang der Prozesskette bei der Werkstoffherstellung.“ Einerseits eröffnet die Vielfalt der Mikrostrukturzustände dem Ingenieur die Möglichkeit, durch das Einstellen geeigneter Prozessparameter ein weites Eigenschaftsspektrum ein und desselben Materials zu erreichen, andererseits ist aber genau diese empfindliche Abhängigkeit der Mikrostruktur von der individuellen Herstellungsgeschichte eines Materials geradezu ein Albtraum für die Entwickler, die, wie Gottstein es ausdrückt, „Werkstoffe maßschneidern möchten.“

„Die Idee zu unserem Sonderforschungsbereich entstand, als absehbar wurde, dass die Rechenleistungen der Computer eine sehr dynamische Entwicklung auch für die Zukunft erwarten ließen“, erinnert sich Gottstein und berichtet, dass die in den 80er und 90er Jahren aufkommende und sich

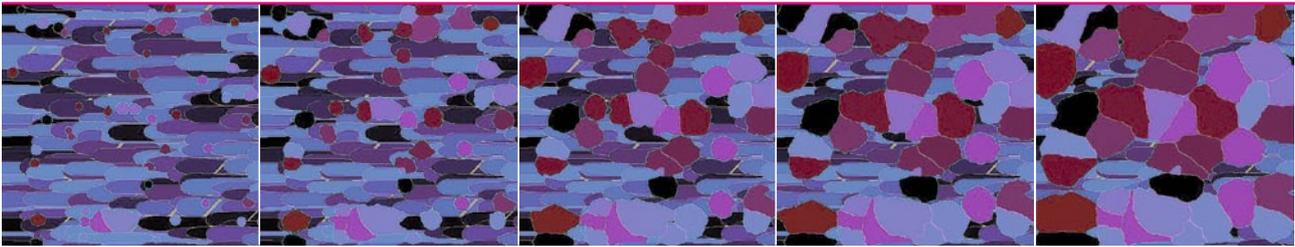
„Es gelang uns, die Veränderungen der Gefüge-Mikrostruktur in Prozessketten zu berechnen.“

manifestierende Möglichkeit, mit numerischen Methoden wissenschaftliche Modelle vollständig durchzurechnen und zu bezahlbaren Preisen Simulationen herzustellen, besonders auch in den Werkstoffwissenschaften begierig aufgegriffen wurde: „Zuvor“, sagt Gottstein, „waren wir gehalten, unsere Modelle einfach zu gestalten, um sie etwa mit einer Differenzialgleichung zu fassen.“ Aber leider hatten diese Gleichungen unter komplizierten Randbedin-

gungen wie in der Werkstoffforschung meist keine geschlossene Lösung, so dass „wir uns häufig mit Grenzwerten im ganz Großen und ganz Kleinen zufrieden geben mussten“, fügt er hinzu.

Als der SFB 370 am 1. Januar 1994 seine Arbeit aufnahm, waren die Aachener Forscher, die schon im Werkstoff-Forum der RWTH in vielfältigen Projekten zusammengearbeitet hatten, guter Dinge, nun mit Computerhilfe zu Ergebnissen zu kommen, die bis dahin als „unlösbar“ galten. Die Herausforderung war, die bislang in der Werkstoffforschung langen Entwicklungszeiten zu verkürzen: Vom Labor bis zum Produkt vergehen meist zehn oder auch 15 Jahre. Wegen der komplizierten, nichtlinearen Zusammenhänge müssen die Wissenschaftler empirische Beziehungen zwischen den Prozessbedingungen und den Werkstoffeigenschaften formulieren – „und das erfordert unendlich viele Messreihen“, weiß Gottstein, „bedeutet viele Versuche, die natürlich auch fehlschlagen können, die Entwicklung von Pilot-Fertigungsanlagen, um die Praktikabilität der Prozesse zu überprüfen, und schließlich das Bemühen, die Qualitäten des Werkstoffs für seine spezifische Anwendung zu optimieren.“

Immer kürzere Produktzyklen und Kostendruck in der Industrie waren ein weiteres Motiv für die Grundlagenforscher, nach Abhilfen zu suchen. Der Weg, wie man im SFB den langen Entwicklungszeiten zu Leibe rücken wollte, war klar vorgezeichnet: Es galt, die Mikrostrukturentwicklung entlang der Prozesskette durch die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten theoretisch zu beschreiben und die entscheidenden mikrostrukturellen Zustandsgrößen von Prozessstufe zu Prozessstufe weiterzugeben, bis schließlich die Mikrostruktur des Endproduktes vorliegt, die ja dessen Eigenschaften wesentlich bestimmt.



Screenshots: Mediakonzept

Sequenzen der Simulation eines Rekristallisationsprozesses. Online-Demonstration unter: www.imm.rwth-aachen.de/hp/institut/fg/sim/welcome.htm

In den ersten drei Jahren des SFB wurden deshalb zunächst die physikalischen Modelle formuliert und geeignete Simulationsmethoden ausgewählt. „In seiner zweiten Phase haben wir dann die Simulationsprogramme entwickelt und auf spezifische Werkstoffe und Produktlinien zugeschnitten“, berichtet Gottstein. Die dritte SFB-Phase widmeten die Aachener Forscher der Verknüpfung der Mikrostrukturmodelle untereinander und deren Kombination mit den Prozessmodellen. So galt es damals zum Beispiel, in einem bestimmten Zeitintervall beim Warmwalzen eines Aluminiumblechs die Simulationsmodule Phasenumwandlung, Rekristallisation, Kristallplastizität und Textur interaktiv miteinander zur Kommunikation zu bringen und in Finite-Elemente-Programme zu integrieren. Im letzten SFB-Arbeitsabschnitt „haben wir dann konkrete Werkstoffe und Bauteile definiert, deren Eigenschaften wir prognostizieren wollten“, berichtet Gottstein. Man wählte ein Stahlbauteil – einen Winkel aus Baustahl –, dazu ein im Tiefziehverfahren umzuformendes Aluminiumblech, eine Turbinenschaufel aus einer Nickelbasis-Superlegierung, deren Oberfläche beschichtet werden musste, sowie eine Rohrmuffe aus Polypropylen, einem Kunststoff.

„Es gelang uns, längs der Prozessketten auf Basis der Mikrostruktur die Eigenschaftsrelationen darzustellen und die Änderung der Mikrostruktur längs der Prozesskette modellhaft zu berechnen“, fasst Gottstein das SFB-Ergebnis knapp zusammen. Was dies für die Praxis der Werkstoffentwicklung bedeutet, macht die Ingenieurin Sonja Strate meier vom Institut für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen an einem Beispiel klar und berichtet von ihren Versuchen, ein im SFB entwickeltes Programm, das die Erstarrung

aus der Schmelze simuliert, auf die Erstarrungsvorgänge beim Strangguss anzuwenden. Dabei nutzt sie zur Vorhersage der Kornentwicklung der erstarrenden Stahlkristalle (hier Primäraustenit) ein halbempirisches Modell: Mit einer Versuchskokille stellt sie verschiedene Abkühlungsbedingungen ein, während sie die Einflussgrößen der Erstarrung und der Mikrostruktur rechnerisch ermittelt. Ihr Fazit: „Durch Weiterentwicklung des Simulationsprogramms und des Kornmodells können künftig Gefüge im Stranggießprozess gezielt eingestellt werden.“

Dieter G. Senk, Inhaber des Lehrstuhls für Metallurgie von Eisen und Stahl am Institut für Eisenhüttenkunde und Sprecher des RWTH-Werkstoff-Forums, in dem 56 Professoren zusammenarbeiten, beteiligt sich im Rahmen des Transferprojekts 63 an der praktischen Umsetzung der SFB-Forschungsergebnisse: „Wir arbeiten hier mit insgesamt 16 Unternehmen zusammen, die meist schon während der SFB-Laufzeit in gemeinsame Projekte eingebunden waren“, sagt Senk, „allen Werkstoffproduzenten brennen die langen Entwicklungszeiten sehr unter den Nägeln“. Meist sind es große Industriefirmen, die das wirtschaftliche Potenzial der Aachener Modellierungswerkzeuge erkannt haben und eigene personelle Ressourcen und Laborzeiten, beides verbunden mit der Investition eigener Finanzmittel, in die Transferprojekte einbringen.

„Bei dem Transfer der SFB-Forschung am Beispiel der beschichteten Turbinenschaufel sind auch kleinere Unternehmen mit an Bord, aber es zeigt sich, dass es kleinen Firmen doch häufig nicht leicht fällt, Personal für diese Aufgabe abzustellen“, berichtet Senk, „zudem sind die Modellierungs-

werkzeuge, die wir unseren Partnern über das Internet zur Verfügung stellen, nicht leicht zu bedienen. Im Moment vergeht noch viel Zeit damit, dass sich Mitarbeiter unserer Partnerfirmen einarbeiten.“ „Man muss ja auch erst einmal verstehen, was die Werkzeuge eigentlich machen“, ergänzt Gottstein. „Und deshalb treffen wir uns zurzeit in kurzen Abständen“, sagt Senk, „uns geht es auch darum, die Gesprächspartner aus der Industrie besser kennen zu lernen, denn in der experimentellen Arbeit müssen wir zusammenarbeiten, und das bedeutet natürlich, dass es keine Verständigungsschwierigkeiten zwischen unseren Wissenschaftlern und den Entwicklern in der Industrie geben darf.“

„Zu Beginn der Arbeiten im Transferprojekt haben wir sehr genau überlegt, welche praktischen Probleme der Industrie wir angehen können“, sagt Günter Gottstein. Zusammen mit sieben Industrieunternehmen befassen sich die Aachener Wissenschaftler zum Beispiel mit der kniffligen Vorhersage lokaler mechanischer Eigenschaften in Schweißnähten. Oder: Zusammen mit einem großen Aluminiumhersteller haben sie sich vorgenommen, die Eigenschaften von bestimmten Legierungen durchgängig über viele Stufen hinweg – Warmwalzen, Kaltwalzen, mehrstufiges Glühen – zu simulieren. „Wir wollen ja die Leistungsfähigkeit unserer Modellierungswerkzeuge testen, und da ist es natürlich spannend, nicht solche Eigenschaften vorherzusagen, die man aus Erfahrung heraus schon weiß, sondern empfindliche Punkte zu bearbeiten, an denen sich die Eigenschaften eines Werkstoffs schlagartig ändern. Dass unsere Werkzeuge hier erfolgreich sind, das wollen wir zeigen.“

Dieter Beste



Interview

Ein Sonderforschungsbereich schweißt zusammen

Ursula Gather ist Sprecherin des SFB 475 „Komplexitätsreduktion in multivariaten Datenstrukturen“ der Universität Dortmund. In ihm arbeiten seit neun Jahren Wissenschaftler der Statistik zusammen mit Informatikern, Mathematikern, Medizinern, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaftlern überwiegend der Universität Dortmund, dem Institut für Arbeitsphysiologie und der Chirurgischen Klinik, beide Dortmund, sowie dem Institut für Wirtschaftsforschung, Essen. Ziel ist die Entwicklung und Umsetzung neuer Methoden der Statistik, um komplexe Daten zu analysieren und schwierige Ursache-Wirkungsbeziehungen zu modellieren. Wie kann man etwa aus den zahlreichen Datenreihen, die ein Alarmsystem am Intensivbett online liefert, die überlebenswichtige Information in Echtzeit extrahieren?

? *Wie haben sich die einzelnen Projektgruppen vor neun Jahren gefunden?*

! Natürlich aus einer wissenschaftlichen Zielsetzung heraus: Am Anfang stand die Feststellung, dass die klassischen Methoden der Datenanalyse und statistischen Modellbildung nicht mehr adäquat waren für die komplexen Fragen in den Anwendungswissenschaften. Weil viele datenanalytische Probleme in den Lebens-, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften aber von gleicher Struktur sind, wollten wir diese unter dem Dach der Statistik zusammenführen und so einen neuen Typus statistischer Methodik und Verfahren schaffen. Die konkreten Projekte sind dabei auch entstanden, weil es gerade auf diesen Gebieten in der Region Dortmund exzellente Forscher gab. Gestartet sind wir mit einer kleinen kooperationserprobten Kerngruppe, die wir dann schrittweise erweitert haben.

? *War es schwierig, alle Beteiligten aus den unterschiedlichen Wissenschaftskulturen miteinander ins Gespräch zu bringen?*

! Das Förderinstrument SFB erfordert bereits die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Es macht sich eine Gruppe von Forschern auf, Durchbrüche im eigenen Fach wie auch fachübergreifend zu erzielen, die einzeln kaum möglich wären. Wenn alle sich auf eine Begutachtung vorbereiten, schweißt das zusammen. Man kommt nur gemeinsam an.

Aber wir haben auch Strukturen eingezogen, die Zusammenarbeit und Kommunikation erzwingen: Jedes Projekt hat zwei Leiter aus unterschiedlichen Disziplinen, und jeder Methodenwissenschaftler leitet auch ein Anwendungsprojekt. So steht niemand allein, und jedes Gebiet hat mehrere Kümmerer. Außerdem haben wir zu Beginn den ständigen Austausch gefördert. Dazu haben wir regelmäßige Klausurtagungen veranstaltet, und oft kamen hier gute Ideen beim gemeinsamen Abendessen. Unsere jungen Wissenschaftler haben Themenzirkel organisiert. Zum SFB finden in Dortmund zudem spannende Veranstaltungen wie Workshops, Gastvorträge oder Kolloquien statt. Auf diese Weise haben alle Spaß daran, über die eigenen Fachgrenzen hinwegzuschauen: So haben wir verhindert, dass sich Inseln bilden.

Die Vorgehensweisen bezüglich Mittelverteilung, Zeitplanung, Zuständigkeiten, Dokumentation wurden offen und gemeinsam abgestimmt, so dass im Forschungsalltag wenig Reibereien entstanden. Die Wissenschaftler spüren, dass sie ihre eigene Position und das Projekt stärken, wenn sie im Verbund arbeiten.

? *Wie haben sich personelle Veränderungen, die sich im*

Laufe der Jahre ja notgedrungen ergeben, ausgewirkt?

! Naja, nur was sich ändert, bleibt bestehen. In jeder Förderphase haben wir uns neuen Herausforderungen angepasst: Neue Projekte aufgenommen, etwa zur Analyse von Genexpressionsdaten, oder der Tatsache Rechnung getragen, dass Gebiete an den Rändern zusammenwachsen, Nachwuchswissenschaftler zu Projektleitern gemacht, neue Kollegen mit interessanten Arbeitsgebieten eingebunden und frühzeitig auf anstehende Emeritierungen reagiert. Schade und gleichzeitig ehrenvoll ist es, wenn Kollegen wegberufen werden – meist konnten wir aber erfolgreiche Bleibeverhandlungen führen. Und bei jungen Wissenschaftlern erkennt man so den SFB als Sprungbrett zum Erfolg – oft auch im Ausland.

? *Und wie wird es nach Ablauf des SFB 2009 weitergehen?*

! Wir möchten selbstverständlich auf unseren Ergebnissen Neues aufbauen – bereits jetzt gibt es zwei Transferprojekte im SFB, in denen wir unsere Resultate mit Industriepartnern in die Praxis umsetzen. Das werden wir fortführen. Außerdem bleiben viele grundsätzliche Probleme in der Statistik bestehen. Wir sind zum Beispiel weiter mit dem „Fluch der hohen Dimension“ konfrontiert, der mit sich bringt, dass für hochdimensionale Datenstrukturen sämtliche klassische Methoden versagen. Diese Schwierigkeit können wir nicht prinzipiell überwinden, sondern müssen sie je nach Datenstruktur mit speziellen und neuen Ansätzen angreifen. Hier ist Stoff für viele zukünftige spannende Projekte.

Interview: Dieter Beste und Marion Kälke.

Round-Table

Sonderforschungsbereiche – essenziell für Grundlagenforschung und Transfer



Bernd Huber, Rektor der Ludwig-Maximilians-Universität München (im Foto links), und Burkhard Rauhut, Rektor der RWTH Aachen, gehen der Frage nach, wie zeitgemäß Sonderforschungsbereiche sind und skizzieren aktuelle Herausforderungen.

Huber: Sonderforschungsbereiche sind das zentrale Instrument, um Grundlagenforschung an der Universität umzusetzen, zu bündeln und damit immer wieder neue Themen fokussieren zu können. Darüber hinaus sind die SFB ein ganz zentrales Instrument, um die Exzellenz einer Universität zu stärken. Letztlich ist auch die Einwerbung von SFB aufgrund der knappen staatlichen Finanzen die einzige Möglichkeit, sich als Hochschule im internationalen Forschert Wettbewerb zu aktivieren. Hinzu kommen weitere Aspekte: Nachwuchsförderung oder die interdisziplinäre Zusammenführung von Wissenschaftlern, um auch alle jene Potenziale einzusammeln, die an den Grenzen zwischen den Disziplinen zu finden sind.

Rauhut: Dem kann ich nur zustimmen: Für die Grundlagenforschung sind SFB ein unverzichtbares Instrument. Das gilt in besonderem Maße auch für die technischen Fächer, denn in der Grundlagenforschung bekommen wir kaum Unterstützung aus der Industrie. Aber wir brauchen die Grundlagenforschung, damit etwas in die sprichwörtliche Pipeline hineingeht; etwas, das in 15 oder 20 Jahren zu einer praxisrelevanten Innovation werden kann.

Huber: Ich glaube, es ist unstrittig und schon seit langem bekannt, dass wir in Deutschland, und das gilt wohl für ganz Europa, Defizite darin haben, Ergebnisse der Forschung relativ zeitnah in wirtschaftliche Aktivität und

Produkte umzusetzen. Allerdings darf das meines Erachtens nicht zu einer verkürzten Sichtweise führen: Man werfe oben in den Automaten – sprich SFB – Geld hinein, und unten kommt das fertige Produkt zur Vermarktung durch Unternehmen heraus.

Rauhut: Natürlich sind das kompliziertere Ketten. Aber insgesamt können die SFB ja über zwölf Jahre laufen. Ich denke – auch wenn der Fokus auf der Grundlagenforschung liegt – aus ihrer Investition in Forschung will die Gesellschaft zu Recht Nutzen ziehen. Aus meiner Sicht war es ein konsequenter Schritt der DFG, parallel zur Grundlagenforschung in den SFB auch den Transfer der Ergebnisse in die Praxis zu fördern. Also in Transferbereichen zusammen mit Unternehmen etwa die entwickelten Technologien zur Anwendung zu bringen. Dieser Forderung der Gesellschaft nach Transfer der erarbeiteten Ergebnisse dürfen sich auch die geisteswissenschaftlichen SFB nicht verschließen.

Huber: Aber man muss dennoch, glaube ich, verstehen, dass Wissenschaftler zunächst einmal primär Wissenschaft machen wollen und nicht unmittelbar daran interessiert sind, über die Nutzenanwendung nachzudenken. Auch ich finde den Transfergedanken wichtig und richtig – aber er darf natürlich nicht den Blick verstellen: Im Zentrum der SFB sollten die Stärkung der wissenschaftlichen Exzellenz stehen und die Hoffnung auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse, die zunächst einmal zweckfrei sind.

Rauhut: Ich finde es gut, wenn die Neugier der Wissenschaftler auch durch die Förderung ihrer Forschungszusammenarbeit in SFB immer wieder aufs Neue

angefacht wird. Insofern liegt auch ein guter Schuss Weisheit darin, dass ein SFB spätestens nach zwölf Jahren beendet wird. Wir Wissenschaftler wollen und sollen immer wieder neue Themen anfangen. So weit so gut: Die derzeit laufende Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder zeigt ja auch, wie ergiebig die Ideenquellen sprudeln. Aber das bedeutet für unsere Universitäten auch, dass die von der DFG geförderten SFB zusätzliche Finanzmittel der Universität binden. Und je erfolgreicher die Wissenschaftler einer Universität SFB einwerben, um so mehr werden eigene Geldmittel zweckgebunden.

Huber: Mehr SFB sind wünschenswert. Aber damit die Universitäten handlungsfähig bleiben, braucht die DFG dafür künftig mehr Mittel.

Rauhut: Deshalb wollen wir Bund und Länder auffordern, der DFG mehr Geld für die SFB-Förderung zur Verfügung zu stellen – und zwar kurzfristig, nicht erst in vier oder fünf Jahren. Darin sind wir uns in der Hochschulrektorenkonferenz einig.

Huber: Viele sehr gute Anträge, die im Rahmen der Exzellenzinitiative zur Förderung beispielsweise von Exzellenzclustern und Graduiertenschulen gestellt und hier möglicherweise abgelehnt werden müssen, eignen sich nämlich auch dazu, Ausgangspunkte für SFB zu werden.

Rauhut: Kurzum: Wir brauchen in Deutschland mehr Geld für die gute Forschung an unseren Hochschulen – nicht zuletzt, um all die guten Ideen aufzufangen, die jetzt in der Exzellenzinitiative entstanden sind und noch entstehen.

Moderation: Dieter Beste

Sonderforschungsbereiche Daten und Fakten

Sonderforschungsbereiche sind langfristig angelegte Forschungseinrichtungen der Hochschulen, in denen Wissenschaftler im Rahmen eines fächerübergreifenden Forschungsprogramms zusammenarbeiten. Neben der Förderung exzellenter Wissenschaft im Verbund ist die Schwerpunktbildung in Hochschulen ein wichtiges Strukturziel des Programms.

Im Rahmen des SFB-Programms werden die verschiedenen **Programmvarianten** Sonderforschungsbereiche (SFB), Kulturwissenschaftliche Forschungskollegs (SFB/FKO) und Transregio (SFB/TRR) sowie die Programmergänzungen Transferprojekte (TFP) und Nachwuchsgruppen gefördert. In allen Programmvarianten werden internationale Kooperationen unterstützt.

SFB gesamt	276
davon Varianten:	
SFB/FKO	5
SFB/TRR	30
Programmergänzungen:	
TFP	30
SFB-NWG	28

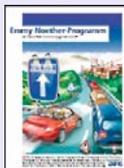
Anzahl aktuell geförderter SFB/Varianten/
Ergänzungen

Bisher in Spektrum der Wissenschaft erschienen:



Graduiertenkollegs der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Spektrum der Wissenschaft, Juli 2005

Emmy Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Spektrum der Wissenschaft, Januar 2006



Land	Anzahl SFB	% aller SFB	Anzahl Hochschulen mit SFB
Baden Württemberg	49	17,8	9
Bayern	44	15,9	7
Berlin, Ost	17	6,2	1
Berlin, West	10	3,6	2
Brandenburg	1	0,4	1
Bremen	5	1,8	1
Hamburg	6	2,2	1
Hessen	19	6,9	5
Mecklenburg-Vorpommern	3	1,1	2
Niedersachsen	21	7,6	7
Nordrhein-Westfalen	64	23,2	11
Rheinland-Pfalz	8	2,9	2
Saarland	3	1,1	1
Sachsen	12	4,4	3
Sachsen-Anhalt	3	1,1	1
Schleswig-Holstein	5	1,8	2
Thüringen	6	2,2	2

Seit Beginn des Förderprogramms im Oktober 1968 wurden bis heute insgesamt 709 SFB gefördert. Derzeit erhalten 276 SFB, darunter 42 in den neuen Bundesländern, insgesamt 419,5 Mio. € Fördermittel für Personal, Verbrauchsmittel und Geräte.



Verteilung der derzeit geförderter SFB auf die verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen

Die **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)** ist die zentrale Selbstverwaltungseinrichtung der Wissenschaft zur Förderung der Forschung an Hochschulen und öffentlich finanzierten Forschungsinstitutionen in Deutschland. Sie fördert Forschungsvorhaben in allen Wissenschaftsgebieten. Wissenschaftliche Exzellenz, Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, Gleichstellung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Interdisziplinarität und Internationalität gehören zu den Eckpunkten der DFG-Förderung. Der Gesamtetat der DFG betrug im Jahr 2005 1,35 Mrd. €.

www.dfg.de