

Emmy Noether-Programm

der Deutschen Forschungsgemeinschaft



INHALT: | „Exzellenz-Initiative“ für den wissenschaftlichen Nachwuchs | Auf der Überholspur
| Winzlinge mit Wirkung | Beziehungsanalyse in Datenbergen | Stöberer im Sternenstaub |
Wenn Arbeit unter die Haut geht | Vom Labor ans Krankenbett | Des Tropfens
Kern | Der Flaschenhals-Effekt | Wie sicher ist sicher? | Nachwuchsförderung

DFG

„Exzellenz-Initiative“ für den wissenschaftlichen Nachwuchs

Von Ernst-Ludwig Winnacker

Mit dem Emmy Noether-Programm (ENP) fördert die DFG seit 1999 besonders qualifizierte junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Ziel des Programms ist es, den Geförderten frühe wissenschaftliche Selbstständigkeit und die zügige Qualifizierung für wissenschaftliche Leitungspositionen in Deutschland zu ermöglichen. Seit Einführung des ENP leiteten insgesamt 330 Geförderte für bis zu fünf Jahre eine Nachwuchsgruppe an einer deutschen Hochschule ihrer Wahl. Damit stellt das Emmy Noether-Programm eine attraktive Alternative sowohl zur gängigen Qualifizierung über eine Mitarbeiter- oder Assistentenstelle als auch zur Juniorprofessur dar.

Für die große Akzeptanz des noch jungen Programms und die hohe Qualität der Teilnehmerinnen und Teilnehmer spricht, dass mittlerweile schon rund 70 von ihnen einen oder mehrere Rufe auf eine Professur erhalten haben, viele davon ohne Habilitation (Stand Herbst 2005). Dass knapp 40 der Geförderten Angebote aus dem Ausland erhielten,

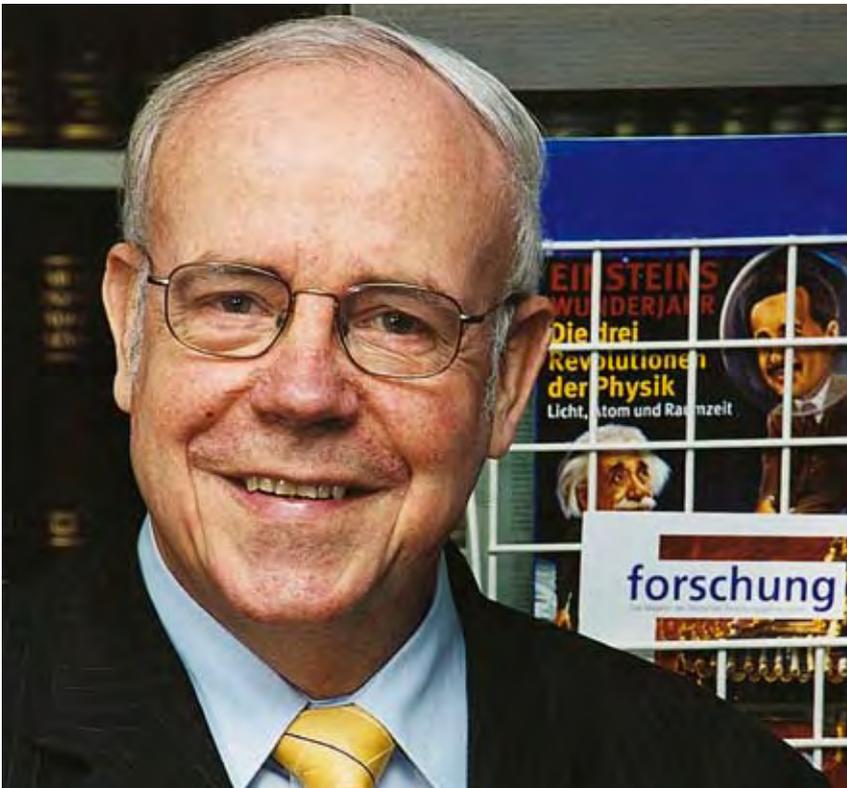
zeigt darüber hinaus die hohe Anerkennung des Emmy Noether-Programms auch außerhalb Deutschlands und die Notwendigkeit, diesen exzellenten Forschern in Deutschland eine viel versprechende Berufsperspektive zu geben. Immerhin etwa die Hälfte lehnten den Ruf ins Ausland zugunsten einer Position in Deutschland ab.

Im Austausch mit den Geförderten weiterentwickelt

Die Einführung des Emmy Noether-Programms war Teil einer Runderneuerung unserer Nachwuchsstrategie Ende der 1990er Jahre, die ein zentrales Anliegen hatte: den Strom der besten Talente in die USA umzukehren und eine wissenschaftliche Karriere in Deutschland auch im Wettbewerb mit anderen interessanten Berufsfeldern attraktiv zu machen. Mit Anreizen wie früher wissenschaftlicher Selbstständigkeit, der freien Wahl des Forschungsthemas und des Standorts möchten wir

junge Wissenschaftler gewinnen, eine entscheidende Phase ihrer Karriere in Deutschland zu verbringen. Die DFG verfolgt damit zugleich das Ziel, zur Entwicklung flexibler und „nachwuchsfreundlicher“ Strukturen innerhalb des deutschen Wissenschaftssystems beizutragen. Der 2003 erstmals ausgeschriebene European Young Investigator (EURYI) Award, der nach dem Vorbild des ENP von den Chefs europäischer Forschungsförderorganisationen (EUROHORCs) geschaffen wurde, überträgt diesen Gedanken auf die europäische Ebene.

Bewerber verfügen in der Regel über zwei bis vier Jahre Forschungserfahrung nach der Promotion und über substantielle internationale Forschungserfahrung, die etwa durch einen zweijährigen Auslandsaufenthalt während der Postdoktorandenzeit oder durch gleichwertige wissenschaftliche Kooperationen mit Forschern im Ausland erworben werden kann. Gegenstand der Förderung im Emmy Noether-Programm ist die Leitung einer Nachwuchsgruppe, deren



maximale Förderdauer fünf Jahre beträgt. Dies soll den Forschern ermöglichen, ihre umfangreichen Projekte tatsächlich abzuschließen und die Ergebnisse international sichtbar zu publizieren. In Ausnahmefällen kann – insbesondere für besonders komplexe experimentelle Projekte – sogar ein sechstes Jahr beantragt werden. Um den unterschiedlichen wissenschaftlichen Werdegängen noch besser gerecht zu werden, haben wir neben der schriftlichen Begutachtung persönliche Auswahlgespräche eingeführt.

Fachliche und persönliche Vernetzung

Die DFG hat von Anfang an die Vernetzung unter den „Emmys“ gefördert. Seit 2002 veranstalten wir nun schon traditionell im Sommer in Potsdam das Emmy Noether-Jahrestreffen, an dem regelmäßig bis zu 200 Geförderte und Ehemalige teilnehmen. Diese Treffen sind für die DFG ein wichtiges Forum, um Rückmeldungen zum Programm zu erhalten. Den Nachwuchswissenschaft-

lern bieten sie eine gern genutzte Gelegenheit, sich untereinander auszutauschen und Kontakte zu schmieden. In fachlichen und themenorientierten Workshops sowie bei den so wichtigen Gesprächen am Rande diskutieren die Nachwuchsgruppenleiter über spezifische Probleme und Chancen im eigenen Fach, über ihre weitere Karriereplanung und aktuelle forschungspolitische Entwicklungen in Deutschland und Europa. In Workshops werden eine Reihe konkreter Themen behandelt, wie etwa das Hochschulrecht und Fragen zur Mitarbeiterführung, zur Qualitätssicherung und zum Übergang von der Emmy Noether-Phase zur Professur. Nicht nur bei den Frauen, auch bei den anwesenden Männern ist außerdem die Vereinbarkeit von Familie und Beruf ein wichtiges Thema. Zum Programm der Jahrestreffen gehört auch stets der Politische Abend, der jeweils unter einem bestimmten Thema steht, etwa „Wissenschaftliche Elite in Deutschland – Entwicklung der Nachwuchskette“ (2004) oder „Forschung – Freiheit – Föderalismus“ (2005).

Die Vernetzungsbestrebungen gehen auch außerhalb der Jahrestreffen weiter. Die Chemiker treffen sich beispielsweise einmal im Jahr, um sich gemeinsam auf einen wichtigen Kongress vorzubereiten. Die Ehemaligen sind dabei, neben einem Alumni-club ein Mentoring-Programm zu organisieren, um ihre Erfahrungen an die „Neulinge“ weiterzugeben und ihnen Karrierehilfe zu leisten. Das jüngst eingerichtete geschlossene Emmy Noether-Forum auf der DFG-Website ist eine weitere Plattform für den Austausch. Um die Geförderten optimal zu unterstützen, bietet die DFG ihnen zusätzlich Weiterbildungsmöglichkeiten zu den Themen Personal-, Projekt- und Finanzmanagement sowie Kommunikation an.

Auf dem richtigen Weg

Die Stimmen zum Emmy Noether-Programm zeigen der DFG, dass sie offensichtlich auf dem richtigen Weg ist: Beim Emmy Noether-Jahrestreffen 2003 bezeichnete die ehemalige Forschungsministerin Bulmahn das Programm als einen

wichtigen Baustein, um ein nachwuchsfreundliches Klima zu schaffen, da es auf einzigartige Weise Exzellenzförderung mit früher Selbstständigkeit verbinde. Auch die in Potsdam versammelten Nachwuchswissenschaftler äußern sich durchweg positiv bis enthusiastisch über das Programm. Sie bezeichnen es als das Beste, was ihnen passieren konnte, als Karrierebeschleuniger oder auch als „Ferrari unter den Forschungsprogrammen“. Besonders schätzen sie die frühe Selbstständigkeit, die das Programm charakterisiert. Für viele von ihnen war es der wesentliche Grund für ihre Rückkehr nach Deutschland oder die einzige Alternative zu einer Forschungstätigkeit in den USA.

Während die Geförderten der DFG bescheinigen, mit dem Programm ihrer Zeit voraus zu sein,

sind die Strukturen an den Hochschulen oft noch nicht so weit. In vielen Fällen ist der Status der Emmy Noether-Geförderten noch unregelt, es fehlen eindeutig definierte Rechte und Pflichten. Im Gespräch mit den Universitäten wirkt die DFG darauf hin, klare Bedingungen zu schaffen: So sollen die Nachwuchsgruppenleiter das Recht erhalten, ihre Doktoranden zur Promotion zu führen und Lehraufgaben wahrzunehmen. Auf der DFG-Website steht ein Mustervertrag für die Geförderten bereit, der sie mit Juniorprofessoren gleichstellt. Rückmeldungen der Geförderten zeigen, dass weiterhin einige Institutionen diese Anerkennung verweigern. Dadurch wird die Selbstständigkeit dieser handverlesenen Wissenschaftler ganz entscheidend eingeschränkt. Die

DFG arbeitet daran, gemeinsam mit ihren Mitgliedseinrichtungen hier schnellstmöglich zu Lösungen zu kommen.

Die jungen Forscher fordern neben der Anerkennung ihres Status ein transparentes Berufungsverfahren sowie die Einführung eines verlässlichen Karrierewegs, orientiert am amerikanischen Tenure-Track-System. Das Thema Tenure Track, also die Option auf eine Festanstellung nach der Leitung der Nachwuchsgruppe, durchzog bisher die Workshops und Diskussionen auf den Jahrestreffen wie ein roter Faden. Mit der bevorstehenden Einführung von Heisenberg-Professuren werden wir in dieser Hinsicht künftig neue Wege ebnen.

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

Wer war Emmy Noether?

Der Mathematikerin Emmy Noether (1882 – 1935) verdanken wir grundlegende Arbeiten zur abstrakten Algebra und Invariantentheorie. Von großer Bedeutung für die mathematische Physik sind die Noether-Theoreme, welche die Erhaltungssätze für Energie, Impuls und Drehimpuls beschreiben.

Emmy Noether immatrikulierte sich 1904/05 in Erlangen für Mathematik; nur an bayerischen Universitäten durften seit 1903 Frauen mit Abitur regulär studieren. Ihre Promotion mit einem Thema aus der Invariantentheorie schloss sie 1907 mit summa cum laude ab. Bereits ein Jahr später wurde sie zum Mitglied des Circolo matematico di Palermo gewählt und 1909 in die angesehene Deutsche Mathematikervereinigung aufgenommen. 1915 siedelte sie nach Göttingen um. Sie war eine der ersten deutschen Wissenschaftlerinnen, denen es gestattet war, sich zu habilitieren. Doch hatte es dreier Anträge auf das Habilitationsverfahren bedurft und des warmherzigen Einsatzes ihrer Göttinger Kollegen Felix Klein und David Hilbert. Nach dem Ersten Weltkrieg änderte sich das politische Klima, und Frauen wurden mehr Rechte zugestanden; schon ein Jahr vor dem offiziellen

Erlass vom Februar 1920 wurde ihr die Lehrbefugnis, die *venia legendi*, erteilt.

Auch Albert Einstein, der Emmy Noether durch ihre Zusammenarbeit mit Hilbert und Klein kennen gelernt hatte, unterstützte sie. 1918 schrieb er in einem Brief an David Hilbert: „Gestern erhielt ich von Fr. Noether eine sehr interessante Arbeit über Invariantenbildung. Es imponiert mir, dass man diese Dinge von so allgemeinem Standpunkt übersehen kann. Es hätte den Göttinger Feldgrauen nichts geschadet, wenn sie zu Fr. Noether in die Schule geschickt worden wären. Sie scheint ihr Handwerk zu verstehen.“ Als sie schließlich Lehrveranstaltungen in ihrem eigenen Namen durchführen durfte, musste sie dies ohne Besoldung tun. Erst ab 1923 bekam sie eine geringfügige Vergütung. Emmy Noether begründete als erste deutsche Mathematikerin eine wissenschaftliche Schule. Zahlreiche ihrer Schüler schlugen die wissenschaftliche Laufbahn ein und trugen dazu bei, eine Noether-Enkelgeneration heranzuziehen.

Wegen ihrer jüdischen Abstammung wurde Emmy Noether 1933 die Lehrerlaubnis entzogen, und sie emigrierte in



die USA. Sie bekam am Women's College Bryn Mawr, Pennsylvania, eine Gastprofessur und hielt in Princeton, New Jersey, Vorlesungen. Dort verband sie eine Freundschaft mit Albert Einstein. Nach einer Operation starb sie im Frühjahr 1935. In einem Leserbrief an die New York Times schrieb Einstein, dass „Fräulein Noether, das kreativste mathematische Genie, das seit Beginn der höheren Erziehung für Mädchen geboren worden ist“, nicht mehr am Leben sei.

Bildquelle: Reid, C.: Richard Courant 1888-1972, Foto S.87.



Auf der Überholspur

Michael Rübhausen, Jahrgang 1971, ist seit 2004 C4-Professor am Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg. Nach dem Physikstudium in Kiel, Hamburg und London, das er am Imperial College mit einem internationalen Diplom, in Hamburg mit dem Diplom und der Promotion abschloss, forschte er als Postdoc an der Chalmers Universität in Göteborg, Schweden, sowie an der Universität von Illinois in Urbana-Champaign, USA. Danach kehrte er nach Hamburg zurück, um die Emmy Noether-Nachwuchsgruppe „Optische Spektroskopie an Systemen mit kurzen Kohärenzlängen“ zu leiten. Er ist Sprecher des Helmholtz-Forschungszentrums „Nanostrukturforschung an funktionalen Materialien mit kurzen Kohärenzlängen am VUV-FEL“ sowie Leiter des BMBF-Projekts „Aufbau eines hochauflösenden Doppel-Monochromators für Raman-Streuung im VUV“. Seit kurzem ist er Mitglied des Science Advisory Committee für das Direktorium CCLRC Rutherford Appleton Laboratory in Großbritannien für die ISIS-Anlage. Einen Ruf in die USA lehnte er zugunsten der C4-Professur in Hamburg ab.

? *Sie haben Universitäten in England, Schweden und den USA kennen gelernt. Wie unterscheidet sich die Forschung dort vom deutschen Wissenschaftssystem?*

! Die Systeme dort sind flexibler. In den USA etwa gelten für unterschiedliche Disziplinen auch unterschiedliche Regelungen. Die einzelnen Projekte und ihre Erfolgsaussichten stehen im Vordergrund, und die Forschung wird nicht in die starren Korsetts gezwängt, die wir hier kennen. Jede Disziplin benötigt doch Autonomie, um ihre Stärken entfalten zu können. Woanders zählt auch Leistung mehr als bei uns. Zudem ist die Organisation besser, das

Wissenschaftsmanagement ist professioneller. Mein größter Wunsch für Deutschland wäre, den wissenschaftlichen Nachwuchs noch mehr zu stärken. Unser Problem ist ja, dass die Fachbereiche überaltern und junge exzellente Forscher kaum eine Chance haben nachzurücken.

? *Warum sind Sie nach Deutschland zurückgekehrt?*

! Ohne das Emmy Noether-Programm wäre ich wahrscheinlich in den USA geblieben. Mit dieser Förderung aber konnte ich eigenständig forschen und eine eigene Gruppe aufbauen – und das in Hamburg! Für mein Fachgebiet gibt es zurzeit weltweit keinen besseren Standort: Die Universität zusammen mit der Großforschungseinrichtung DESY, dem Deutschen Elektronen-Synchrotron, bietet ein so exzellentes Umfeld, dass es ein Physiker nicht ausschlagen kann. Und die Entscheidung der Bundesregierung, hier den „Freielektronen-Laser“ und Petra III aufzubauen, die leistungsstärksten Quellen für Synchrotronstrahlung, macht Hamburg jetzt noch zusätzlich zu einem einzigartigen, zukunftssträchtigen Standort.

? *Dann würden Sie das Emmy Noether-Programm jedem ambitionierten und begabten Nachwuchswissenschaftler empfehlen?*

! Unbedingt! Für meine Karriere war das Programm ein ganz zentraler Baustein, ohne den ich mich nicht in die Weiterentwicklung des Forschungsstandorts Hamburg hätte einbringen können. Die Förderung durch ein solches Exzellenzprogramm der DFG hat auch die Basis geschaffen, mir internationales Ansehen zu erwerben, denn ich konnte unabhängig forschen und mich damit international durchsetzen.

Entscheidend für eine wissenschaftliche Karriere ist ja internationale Sichtbarkeit. Jüngeren Wissenschaftlern sage ich immer, wie wichtig schon frühzeitig mindestens zwei Auslandsaufenthalte an fachlich herausragenden Orten sind. Einziger Nachteil des Emmy Noether-Programms ist die naturgemäß fehlende Tenure-Track-Option, welche die für Berufungen zuständigen Universitäten bei guter Leistung eigentlich bieten müssten.

? *Auch die Universität Hamburg hat Ihnen nicht sofort das Angebot gemacht zu bleiben. Musste dafür erst ein Ruf aus den USA kommen?*

! Ohne diesen Ruf wäre ich hier nicht C4-Professor geworden. Das Angebot aus den USA war sehr attraktiv, denn es lockten nicht nur eine hervorragende Universität und ein National Laboratory, sondern auch eine deutlich bessere Besoldung. Für Hamburg sprach aber die exzellente Synchrotronforschung; auf diesem Gebiet wird Amerika nicht so bald nachziehen können. Deshalb bin ich froh, dass die Universität Hamburg so flexibel war und so rasch mit einem Gegenangebot reagierte.

? *Wäre eine Habilitation nicht üblich gewesen?*

! Das hängt sicher vom Fachbereich ab. Für mich persönlich gilt, dass ich dafür ein zu unabhängiger Mensch bin. Warum sollte ich mich als ehemaliger Emmy Noether-Gruppenleiter mit einem Ruf nach Amerika noch habilitieren? Für mich war die fehlende Habilitation kein Nachteil. Ich halte sie in der Physik für ein überaltertes Verfahren.

Mit Michael Rübhausen sprachen Marion Kälke und Dieter Beste

Winzlinge mit Wirkung

Zu seinen ohnehin zahlreichen Problemen hat Bangladesh ein weiteres dazubekommen: Schätzungsweise 70 Millionen Menschen müssen täglich arsenhaltiges Wasser trinken. Experten befürchten, dass Arsen dort bald die häufigste Todesursache werden könnte. Es mutet wie eine traurige Ironie an, dass der Grund hierfür ausgerechnet in der Beseitigung einer anderen tödlichen Plage zu finden ist. Vor gut 30 Jahren lebte die Bevölkerung noch von Oberflächenwasser, das mit Kolibakterien verseucht war, und die Todesfälle, vor allem unter Kindern, nahmen dramatisch zu. Die Weltgesundheitsorganisation WHO und die UNICEF unterstützten daraufhin den Bau von Brunnen, um eine Versorgung mit sauberem Grundwasser zu gewährleisten. Zunächst mit Erfolg. Weil jedoch die Bauern mit dem Grundwasser auch die Felder bewässerten, veränderte sich der Untergrund: Sauerstoff und organisches Material drangen in die Tiefe. So gedieh ein nahrhaftes Umfeld für Bakterien, die Arsen ins Grundwasser gelangen ließen, indem sie über ihren Stoffwechsel Eisenminerale veränderten.

Wie aber geht das vor sich? Dieser Frage widmen sich Andreas Kappler und seine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe „Mikrobielle Bildung reaktiver Eisen- und Huminstoffphasen“ an der Universität Tübingen. Der studierte Chemiker stellt sich heute stets als Geomikrobiologe vor: „Ich fühle mich sehr wohl zwischen den Disziplinen“, sagt er. „Die Geologen schauen sich die Gesteine an, die Mikrobiologen machen ihre Untersuchungen in wässrigen Systemen. Wir bilden die Brücke und möchten verstehen, welche Rolle Bakte-

rien bei der Bildung und Auflösung von Gesteinen spielen.“ Die Wissenschaftler und Studenten seines Teams sind bunt gemischt: Mikrobiologen, Geochemiker, Geologen, Umweltchemiker aus aller Welt arbeiten Hand in Hand. Ihre Spezialität sind „Eisenbakterien“.

Wir atmen Sauerstoff, und viele Mikroorganismen tun das auch. Andere nutzen Licht zur Energiegewinnung, manche sogar anorganische Verbindungen wie Schwefelwasserstoff oder Eisen. Wenn Bakterien Eisen verwerten, verändern sie dieses. Eisen kommt in der Natur in zweierlei Form vor: als reduziertes Eisen, Fe(II), und als oxidiertes Eisen, Fe(III). So beschreibt man den Redoxzustand, der besagt, wie viele oder wenige Elektronen das Eisen enthält. Eisen III hat am wenigsten Elektronen. Wenn es eines dazu bekommt, wird es zu Eisen II reduziert. Umgekehrt wird Eisen II zu Eisen III oxidiert, wenn es Elektronen abgibt. Diesen Elektronentransfer, Redoxreaktion genannt, können Bakterien katalysieren und zur Energiegewinnung nutzen.

Die beiden Eisensorten unterscheiden sich gravierend: Bei neutralem pH-Wert und bei Abwesenheit von Sauerstoff ist Eisen II löslich, Eisen III hingegen ein nicht lösliches Mineral. Diese Tatsache lässt Geologen zum Beispiel rätseln, wie Eisenablagerungen in der frühen Erdgeschichte entstanden sein können. Hunderte

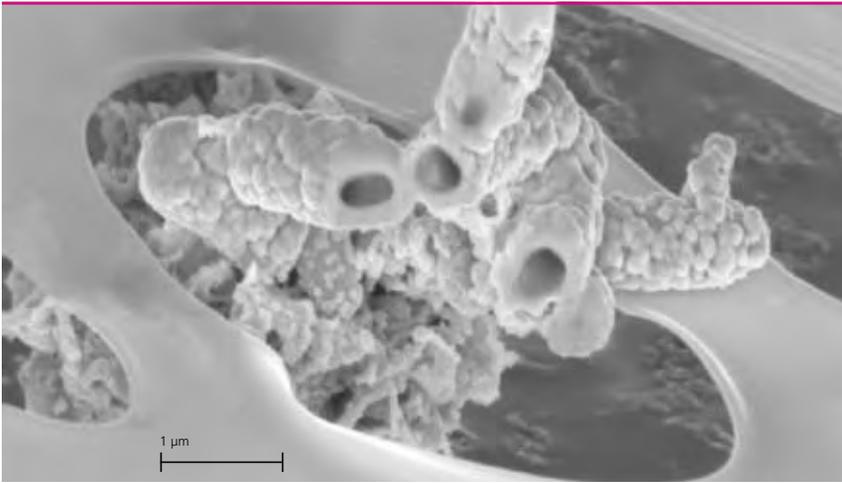
von Metern dicke Schichten, so genannte gebänderte Eisenerze, die bis zu 3,8 Milliarden Jahre alt sind, erstrecken sich etwa in Südafrika über eine Fläche von 100.000 Quadratkilometern. Auf der jungen Erde konnte Eisen jedoch nur in reduzierter, gelöster Form im Ozean existieren, denn es gab vermutlich nicht genug Sauerstoff, um es zu Eisenerz zu oxidieren. Wie aber wurde dann das gelöste Eisen II zu Eisen III ausgefällt? „Wir wollen beweisen, dass Eisenbakterien, die das Eisen II mit Hilfe von Licht zu Eisen III oxidieren, dafür verantwortlich waren.“ Andreas Kappler hat von einer Exkursion nach Südafrika Gesteinsproben mitgebracht, die er nun im Labor untersucht. Bestimmte Mikroorganismen leben ganz bescheiden nur von Licht, gelöstem Eisen und Kohlendioxid – alles ausreichend im frühen Ozean vorhanden. Und bei diesem Stoffwechselprozess, so die Hypothese, wandelten sie in einem frühen Ozean das gelöste Eisen in Eisenminerale um.

Die Geomikrobiologie ist noch ein recht junges Feld und fasst erst allmählich in Deutschland Fuß. In den USA ist sie schon länger etabliert. Andreas Kappler weiß es zu schätzen, dass er schon bei zwei Aufenthalten am Marine Biological Laboratory in Woods Hole, Massachusetts, erste internationale Erfahrungen sammeln konnte. An der EAWAG, einem Wasserforschungsinstitut der ETH



Andreas Kappler

In Südafrika entnimmt Andreas Kappler Proben aus präkambrischen Eisenformationen.



Auf dem elektronenmikroskopischen Schnittbild zeigen die Hohlräume an, dass in einem Eisenmineral-Aggregat Eisen oxidierende Bakterien aktiv waren.

Zürich, hat er zudem zwei Jahre lang als Postdoc seine Kenntnisse in Umweltchemie vertieft, zwei weitere Jahre forschte er in einem Team von Geomikrobiologen am California Institute of Technology (Caltech) in Kalifornien. „Dort habe ich gelernt, wie toll es ist, interdisziplinäre Forschung auf hohem Niveau zu betreiben. Heute bin ich glücklich, hier in Tübingen die Geomikrobiologie vertreten zu dürfen.“ Erst in den letzten Jahren konnten Wissenschaftler bestätigen, dass die Bildung und Auflösung von Mineralen nicht ein rein chemischer, sondern in vielen Fällen ein mikrobiell katalysierter Vorgang ist. „Es ist schön, die Grundlagen dieses mikrobiellen Metabolismus zu erforschen“, überlegt er. „Aber noch schöner ist es, wenn unsere Arbeit die Menschen direkt berührt.“ Deshalb konzentriert er sich besonders auf Umweltprobleme wie die Freisetzung von Arsen ins Trinkwasser.

Arsen war schon lange in den Sedimenten von Bangladesch vorhanden, doch stabil an Eisenminerale gebunden und damit harmlos. Das Unheil brachten Bakterien, die Eisen III zu Eisen II reduzieren, es also auflösen und damit das Arsen freisetzen. Allerdings, und das macht die Sache noch komplizierter, kann auch Arsen – wie Eisen – verschiedene Oxidationsstufen haben. So gibt es Arsen III und Arsen V. Das dreiwertige Arsen ist nicht nur deutlich toxischer als Arsen V, es ist auch mobiler, das heißt es adsorbiert weniger gut an Minerale. Wenn daher Arsen V zu Arsen III reduziert wird, kann ein gewaltiges Umweltproblem entste-

hen. Ob solche Redoxvorgänge an Eisenoberflächen ablaufen, wollen Andreas Kappler und sein Team herausfinden. Freigesetztes Eisen II bindet nämlich – wie das Arsen – ebenfalls gerne an Eisen-III-Minerale. „Man weiß, dass diese gebundene Eisen-II-Sorte Metallionen reduzieren kann. Wir wollen untersuchen, ob sie auch Arsen V in Arsen III umwandeln kann und es dadurch toxischer und mobiler macht“.

Bisher gibt es nur eine relativ teure Möglichkeit, die Arsen-Gefahr zu bannen: Man macht die mikrobielle Auflösung von Eisen III gewissermaßen rückgängig, indem man das Trinkwasser mit Eisenmineralen filtriert, um das Arsen an diese zu binden. „Wir beginnen gerade eine Zusammenarbeit mit einer Forschergruppe in China, um herauszufinden, ob wir Bakterien gezielt für die Bildung dieser Eisenminerale einsetzen können“, sagt Andreas Kappler. Es freut ihn, wenn seine Forschung konkret dazu beiträgt, die Umwelt zu sanieren. Bedeutsam könnten dabei Huminstoffe sein, eine chemisch uneinheitliche Stoffklasse aus organischen Verbindungen, die etwa bei der Zersetzung von Pflanzen entstehen. Auf sie war man gestoßen durch die Frage, wie Bakterien überhaupt Eisenminerale atmen können. „Sauerstoff diffundiert einfach in die Zelle, aber bei Eisenmineralen ist das offensichtlich nicht so leicht,“ erklärt Andreas Kappler. Zumindest für manche Bakterien fand er eine Antwort: Sie reduzieren Eisen nicht direkt, sondern benutzen dazu dieses natürliche organische

Material als Elektronenfähre. Die Mikroorganismen übertragen dem Huminstoff Elektronen, reduzieren ihn also. Weil dieser nun die erworbenen Elektronen unbedingt wieder abgeben will, reagiert er mit Eisen III – aber auch mit Schadstoffen. „Wir vermuten, dass reduzierte Huminstoffe vielleicht Arsen V in die giftigere Form umwandeln“, erläutert Andreas Kappler. Beweisen indes konnte er bereits einen positiven Effekt: Sie bauen Schadstoffe wie zum Beispiel chlorierte Lösemittel ab.

Die Expertise von Andreas Kappler und seinem Team ist schon direkt vor der Haustür gefragt. Den Auftrag für ein Gutachten bekamen sie zusammen mit einer anderen Forschergruppe der Universität Tübingen vom Umweltministerium Baden-Württemberg, das derzeit ein Geothermie-Projekt unterstützt. Bei der Nutzung der oberflächennahen Erdwärme wird eine Lösung, die Substanzen wie Glykol enthält, in den Untergrund gepumpt, dort erwärmt und wieder an die Oberfläche gebracht, um dort Gebäude zu heizen. Was aber geschieht, wenn organische Verbindungen über ein Leck austreten und Bakterien stimulieren?

Es gibt also stets und überall Bedarf zu wissen, was Bakterien im steinigen Untergrund bewirken. Andreas Kappler hat ein klares Ziel: einen Lehrstuhl mit einer großen, internationalen Arbeitsgruppe einzurichten, die das ganze interdisziplinäre Spektrum abdeckt. „Zurzeit gibt es das noch nicht in Deutschland.“ Das Emmy Noether-Programm betrachtet er als entscheidenden Schritt auf diesem Weg. „Es hat mir alle Türen geöffnet. Junge Wissenschaftler bekommen auf diese Weise nicht nur die Mittel, um sofort eine eigene Gruppe aufzubauen und Labore einzurichten, sondern tragen damit auch früh Verantwortung. Das muss ihnen später zugute kommen!“

mk

Beziehungsanalyse in Datenbergen

Über die Frage, wie er zur Mathematik gekommen sei, muss Stefan Siegmund nicht lange nachdenken: „Die Suche nach Wahrheit und Weisheit ist definitiv die treibende Kraft in meinem Leben“, sagt er und berichtet, dass diese Suche in seiner Jugend sehr unspezifische Ausdrucksformen fand. Er testete sein Talent als Musiker in einer Band und gewann mit dieser Gruppe sogar einen Wettbewerb. Tibet faszinierte ihn sehr, und er überlegte, ob er nicht auswandern und Mönch werden sollte. Nach dem Abitur fand die Philosophie seine Zuneigung, aber Stefan Siegmund entschloss sich dann sehr bewusst für das Studium der Mathematik: „Es war das Künstlerische, das Musische und das Philosophische, das mich reizte, und dies alles finde ich in der Mathematik.“ Er erinnert an die Maler Kandinski oder Miro, die zunächst sehr konkret, später aber immer abstraktere Bilder gemalt hätten: „Farbige Flächen, geometrische Figuren, dahin zu kommen war für sie ein langer, anstrengender Prozess“, sagt er und zieht eine Parallele zur Abstraktion durch Mathematik: „Wir Mathematiker haben das Glück, dass die abstrakten Wahrheiten, die wir zu finden und zu verstehen suchen, tatsächlich die Grundlagen unseres Universums sind.“

Stefan Siegmund interessiert das Prinzipielle. Obwohl eine exakte Wissenschaft, gelinge es mit Hilfe der Mathematik dennoch häufig nicht, natürliche Prozesse vollständig quantitativ zu beschreiben, sagt er: „Das liegt zum einen daran, dass wir oft nur vereinfachte oder genäherte Modelle für solche Prozesse kennen, und zum anderen sind diese Modelle immer noch zu kompliziert, um exakte Lösungen bestimmen zu können.“ Der berühmte französische Mathematiker Henri Poincaré hat dies erkannt und bereits in seiner Dissertation 1879 die Grundlagen für eine qualitative mathematische Diskussion natürlicher Vorgänge geschaffen, und zwar „für das, was wir heute die ‚Qualitative Theorie Dynamischer Systeme‘ nennen.“ Dabei werden mit mathematischen Methoden die qualitativen Aspekte dynamischer Prozesse untersucht – unter Vernachlässigung der exakten quantitativen Größen.

Was dies konkret bedeutet? „Nun“, sagt Siegmund, „nehmen Sie zum Beispiel einmal an, dass ein vereinfachtes mathematisches Modell das Verhalten einer Waschmaschine in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit und der Wäschemenge in der Trommel beschreibt. Dann fördert eine qualitative Analyse dieses Modells etwa zu Tage, ab welcher Drehge-

windigkeit und Wäschemenge die Maschine von einer ruhigen Gangart – wir Mathematiker sprechen hier von einer stabilen Ruhelage – zu einem unerwünschten Rütteln – also mathematisch zu einem stabilen periodischen Orbit – übergeht.“

Das Beispiel zeigt, dass es gar nicht so wichtig ist, quantitativ exakt die genaue Richtung zu bestimmen, in der die Maschine rüttelt. Viel wichtiger ist das Ergebnis der qualitativen Betrachtung: Zu wissen, wann genau der qualitative Übergang von ruhiger Gangart zu dem unerwünschten Rütteln stattfindet. „Übergänge dieser Art, von einer Ruhelage zu periodischer Bewegung, kommen übrigens recht häufig in der Natur vor“, sagt Stefan Siegmund, „wir Mathematiker sprechen von der Hopf-Verzweigung, benannt nach einem der Entdecker.“

Schon nach dem Vordiplom an der Universität Augsburg hatte Siegmund ein Begabtenstipendium erhalten. Nach dem Studium folgte dann ebenfalls in Augsburg die Promotion in dem DFG-Graduiertenkolleg „Nichtlineare Probleme in Analysis, Geometrie und Physik“. Wöchentlich trafen sich die Mitglieder zu einem Vortrag eines Stipendiaten, „man erhielt Einblick in die Fragestellungen und Probleme der anderen – eine



Stefan Siegmund (zweiter von rechts) entwickelt mit seiner Nachwuchsgruppe an der Universität Frankfurt unter anderem mathematische Methoden, um Beobachtungsdaten von Wirbeln – seien es Strudel im Meer oder Winde wie Tornados oder Hurrikane – zu analysieren. Zur Zeit befasst er sich mit Vortex Merger. Damit wird der Prozess des Verschmelzens kleiner Wirbel zu einem großen bezeichnet.



Hurrikane „Emily“ (rechts über der Karibik) und „Eugene“ am 19. Juli 2005: Kommen sich zwei Wirbelstürme nahe, besteht die Gefahr, dass sie miteinander verschmelzen und einen Superhurrikan bilden.

sehr positive Erfahrung“, erinnert er sich. Er blieb anschließend in Augsburg, wo ihm der Sprecher des Graduiertenkollegs, Professor Bernd Aulbach, eine Postdoktorandenstelle angeboten hatte. Stefan Siegmund folgte dann dem Rat Aulbachs und bewarb sich bei der DFG um den Eintritt in das Emmy Noether-Programm.

In vier, jeweils sechsmonatigen Aufenthalten startete er nun seine Forscherkarriere in den USA, und zwar am Georgia Institute of Technology in Atlanta, am Institute for Mathematics and its Applications in Minneapolis, an der University of California in Berkeley und an der Boston University. Siegmund erfuhr, wie eng und verblüffend theoretische Arbeit und praktischer Nutzen beieinander liegen können: In seiner Dissertation hatte er, „einfach nur der Schönheit der Mathematik folgend“, ein Resultat Henri Poincarés verallgemeinert. Als er nun in Amerika auf einer Tagung darüber berichtete, machte ihn ein Zuhörer darauf aufmerksam, dass die alte Arbeit Poincarés Grundlage für die mathematische Behandlung der Stromübertragung von den Kraftwerken zu den Endabnehmern sei und wies ihn darauf hin, dass nun mit den Resultaten seiner Doktorarbeit dieser Transfer über die Leitungsnetze wohl weiter optimiert werden könne.

„Wir Mathematiker sind frei“, sagt Stefan Siegmund, „wir lassen uns in der reinen Mathematik von unseren Intuitionen treiben und folgen unseren Gefühlen.“

Aber so funktioniere Grundlagenforschung: „Am Anfang ist überhaupt keine Anwendung in Sicht, und dann kommt plötzlich ein Physiker oder Ingenieur, fragt nach einer speziellen mathematischen Methode, und wir stellen verblüfft fest, genau das hat ja schon einer von uns vor vielen Jahren entwickelt!“ Für Siegmund ein weiterer, motivierender Beleg dafür, dass „wir mit der Mathematik nahe an der Seele der Natur sind.“

„Wir wollen direkt aus den Beobachtungsdaten auf die Prozesse schließen.“

Nach den zwei USA-Jahren genehmigte die DFG Stefan Siegmund im Rahmen des Emmy Noether-Programms eine eigene Nachwuchsgruppe an der Universität Frankfurt. Zurück in Deutschland hat er sich nun vorgenommen, zusammen mit seinen Doktoranden und wissenschaftlichen Mitarbeitern der Frage nachzugehen, wie es gelingen kann, ohne vorherige mathematische Modellbildung direkt aus sich verändernden Daten Aussagen über das Verhalten eines physikalischen Prozesses machen zu können. „Für dynamische physikalische Systeme ist eine Modellbildung von begrenztem Nutzen“, sagt Siegmund, „denn die Dinge ändern sich mit der Zeit.“ Im Beispiel der Waschmaschine wäre

das etwa die Wassermenge in der Trommel. Mathematiker greifen deshalb zu Tricks, führen etwa Parameter ein, um mit solchen zeitlichen Veränderungen im Modell zurechtzukommen.

Aber was, wenn das einem physikalischen Prozess zugrunde liegende Modell und die entsprechenden Parameter gar nicht bekannt sind – aber Beobachtungsdaten vorliegen? „In meinem Emmy Noether-Projekt ‚Nichtautonome Dynamische Systeme‘ entwickeln wir Methoden, um diese immer größer werdenden Datenberge analysieren zu können“, sagt Stefan Siegmund. Er verweist auf die stündlich aktuellen Satellitendaten von Strömungen in den Ozeanen oder die tagtäglich auch von kleinsten Beben aufgezeichneten seismologischen Messwerte. „Wir untersuchen derzeit einen Prozess, den die Klimaforscher Vortex Merger nennen“, berichtet er und erklärt, dass es dabei um das Problem geht, möglichst frühzeitig erkennen zu können, ob zwei Wirbel – seien es Strudel im Meer oder Winde wie Tornados oder Hurrikane – sich zu einer Superstruktur verbinden werden oder getrennt bleiben.

„Wie sich ein einzelner Hurrikan entwickelt, können die Meteorologen schon ganz gut beantworten“, sagt Siegmund, „in den letzten Monaten waren wir Zeugen, wie genau sie etwa die künftigen Wanderungsbewegungen der verheerenden karibischen Wirbelstürme voraussagen konnten. Aber wäre es nicht schön“, fragt er, „wenn wir beim gleichzeitigen Auftreten von zwei Hurrikanen wissen könnten, ob sie zu einem Superhurrikan verschmelzen oder nicht?“ Siegmund hofft, dass seine mathematische Grundlagenforschung „mittelfristig“ zur Herausbildung von automatisierten Vortex-Merger-Analysemethoden beiträgt. **db**

Stöberer im Sternenstaub

Wenn Sebastian Wolf von Sternen, Staub und Planeten erzählt, gerät er schnell ins Plaudern. Dass ihn die Astronomie, die „ja nicht gerade die sicherste Disziplin für eine berufliche Karriere ist“, begeistert, muss er daher eigentlich kaum noch erklären: „Mehr als andere Gebiete der Physik hat sie noch den Reiz des Unbekannten.“ Dies versucht er auch an seine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe weiterzugeben, mit der er die Geburt und das Heranreifen von Planeten erforscht: hier oben am Max-Planck-Institut für Astronomie, das abgehoben vom irdischen Treiben am Königstuhl hoch über Heidelberg liegt.

Wie ist unser Sonnensystem entstanden? Gibt es vergleichbare Systeme in unserer Milchstraße und anderen Galaxien? Warum unterscheiden sich erdähnliche Planeten wie Merkur, Venus und Mars so sehr von den äußeren Gasgiganten Jupiter oder Saturn? Diese Fragen beschäftigen die Menschen schon seit hunderten von Jahren. Heute haben sich Vermutungen zu einer handfesten Theorie gemauert, weil zum einen Computer recht gute Vorhersagen erlauben und weil zum anderen moderne Teleskope einen schärferen Blick gewähren und die Forscher mit Daten versorgen. Entscheidende Bilder verdanken sie schon dem guten alten Hubble-Weltraumteleskop: Es schickte uns die ersten hochaufgelösten Aufnahmen von sonnenähnlichen Baby-Sternen im Sternbild Stier und im Orionnebel, und es zeigte, dass sich während ihrer Entstehung eine sie umgebende Gas- und Staubscheibe bildet – der Stoff, aus dem Planeten stammen. Den ersten ausgewach-

senen, extrasolaren Riesenplaneten konnten Forscher 1995 nachweisen; heute sind mehr als 160 solche fremden Trabanten bekannt. Diese Erkenntnisse gewannen die Planetenjäger indirekt: Weil zwischen Planet und Stern Gravitationskräfte wirken, gerät der Stern leicht ins Torkeln; durch den Dopplereffekt macht sich diese Bewegung in einer periodischen Verschiebung der Spektrallinien bemerkbar.

Wie sich Sterne bilden, ist seit etwa 25 Jahren eines der Schlüsselthemen der Astrophysiker. Auch Sebastian Wolf hat zuerst nach den Sternen gegriffen und in seiner Doktorarbeit an der Thüringer Landessternwarte eine Simulationssoftware für den Strahlungstransport in den Staubscheiben junger Sterne entwickelt. „Planeten entstehen zusammen mit Sternen“, sagt er und skizziert im Zeitraffer, wie sich dies wahrscheinlich zuträgt. In Regionen, wo Gas und Staub besonders dicht sind, weil sie beispielsweise durch die Stoßwelle einer nahen Supernova komprimiert wurden, fällt bei tiefen Temperaturen das Material aufgrund der eigenen Schwerkraft in sich zusammen, bis sich im Zentrum ein Protostern bildet, auf den weiteres Material aus der ihn umgebenden Wolke hinabreg-

net. „Wenn dieses Gebilde auch nur eine winzige Anfangsdrehung hat, wird durch das Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses die Rotation verstärkt, und der Staub sammelt sich zu einer Scheibe, welche die Protosonne umgibt“. Nach einigen Millionen Jahren, nach der so genannten T-Tauri-Phase bei sonnenähnlichen Sternen, sind Temperatur und Druck im Kern der Protosonne so hoch, dass ihr Fusionsreaktor anlaufen kann.

In der zirkumstellaren oder protoplanetaren Scheibe aber wuseln derweil unendlich viele dunkle, mikroskopisch winzige Staubteilchen umher, und nach dem Prinzip der Brownschen Bewegung stoßen immer wieder Partikel zufällig zusammen, bleiben aneinander kleben und wachsen zu tennis- oder fußballgroßen Gebilden heran. „Den nächsten Schritt zu beschreiben, fällt den Astrophysikern noch schwer“, sagt Sebastian Wolf. Aber offenbar gibt es noch weitere Prozesse im dichteren Inneren der Scheibe, welche die Bälle zu so genannten Planetesimalen mit einem Durchmesser von ein paar Kilometern heranreifen lassen. Jetzt ist ihre Gravitation so groß, dass sie sogar kleinere Geschwister an sich ziehen kön-

Sebastian Wolf auf seinem Heimatplaneten: Der Astronom erforscht, wie Sterne und ihre Trabanten entstehen.



Sebastian Wolf

nen: Sie akkumulieren zu Protoplaneten und Planeten. Wenn sie dann aus der Scheibe Gas aufsammeln, können sich sogar riesige Gasplaneten bilden.

Der Schwerpunkt von Sebastian Wolfs Forschung lag zunächst bei der Theorie, und dabei war er außerordentlich erfolgreich. Nicht nur zeichnete ihn schon die Universität Jena mit dem Examen- und Promotionspreis aus, auch die DFG würdigte die „Originalität und das hohe Niveau“ seiner Arbeit mit dem Heinz-Maier-Leib-

*„Die Balance von
Theorie und Beobachtung
gefällt mir.“*

nitz-Preis 2005. Die Modellierung ist für ihn aber nur die Hälfte des Reizes. „Mir gefällt es, am Computer Vorhersagen zu machen. Aber ich wollte auch ans große Teleskop, nicht nur zu Hause im Garten.“ Ein Gastspiel an der Europäischen Südsternwarte ESO in Chile war ihm daher kurz nach der Promotionsphase willkommen. Als Postdoc hat er dann am Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA in Pasadena sowie am dortigen California Institute of Technology (Caltech) geforscht. „Dort hatte ich Glück: Die Leute waren so sehr in ihre Satellitenmissionen involviert, dass sie es mir überließen, die Beobachtungsdaten auszuwerten.“

Am Caltech, das gerade das Spitzer-Infrarot-Weltraumteleskop auf den Weg brachte, untersuchte er die Trümmerscheiben, die entstehen, wenn Planetesimale kollidieren und dabei Brocken weg-schleudern. Vergleichbare Szenarien finden wir auch in unserem Sonnensystem: im Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter und am äußeren Rand, im Kuipergürtel. Dem ursprünglichen Sternenstaub widmete er sich am JPL: Dort nahm er sich den „Butterfly-Star“ im Taurus vor. Der nebulöse Staub, an dem sich das Sternenlicht streut, erscheint auf einer Hubble-Aufnahme wie Schmetterlingsflügel, die zirkumstellare Scheibe, von der Seite fotografiert, wie ein langer

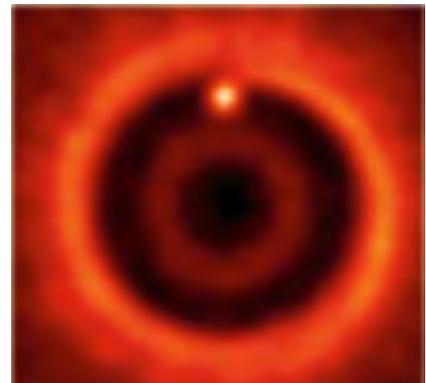
schwarzer Körper, der die Flügel trennt. Weil die Dichte des Staubnebels nach außen hin abnimmt, vermutete man den Geburtsort der Planeten im inneren Milieu. „Am Butterfly-Star konnten wir tatsächlich zeigen, dass im Inneren der Akkretionsscheibe Staubkörner anwachsen, im äußeren Bereich hingegen nicht.“

Heute, am Max-Planck-Institut für Astronomie, führt er seine Arbeiten fort. „Kalifornien war sehr schön“, sagt er. „Aber im Vergleich mit dem Emmy Noether-Programm war eine Postdoc-Stelle in Amerika keine Alternative mehr.“ Er schätzt die personelle und die wissenschaftliche Verantwortung, die er nun tragen darf. „Es ist sehr attraktiv, nicht erst nach einer Berufung lernen zu müssen, mit einem größeren Team selbstständig zu arbeiten.“ Dies ist nicht selbstverständlich im deutschen Wissenschaftssystem, weil, so Sebastian Wolf, der Mittelbau in der Forschungshierarchie zu sehr vernachlässigt werde. „Es ist absurd, dass Deutschland riesige Summen in Großprojekte der ESA oder ESO investiert, aber zulässt, dass die wissenschaftlichen Arbeiten woanders veröffentlicht werden.“

In Heidelberg sucht er nun mit seinem Team die Balance zwischen neuesten Beobachtungstechniken und Computermodellierung. Aus gutem Grund warten sie gespannt auf die kommenden Jahre. Ein optisches Teleskop wie Hubble, das nur bis in den nahen Infrarot-Bereich sieht, kann heißen Staub registrieren, der vom Stern angestrahlt wird. „Bei längeren Wellenlängen aber, wie sie etwa der Hubble-Nachfolger, das James-Webb-Weltraumteleskop, nutzen wird, können wir auch den kälteren Staub wahrnehmen, ja irgendwann die ganze Scheibe.“ Aus der Form des Spektrums, den Emissions- und Absorptionsbanden, lassen sich Rückschlüsse auf Beschaffenheit und Größe des Staubmaterials ziehen. Noch tiefere Einsichten aber soll eine Anlage gewähren, in der geplante 64 Radioteleskope zu einem Interferometer zusammengeschaltet sein werden: das Atacama Large Millimeter Array ALMA in Chile.

„Das Verrückte ist, dass Planetesimale oder Protoplaneten sehr viel schwerer zu beobachten sind als der Staub“, sagt Sebastian Wolf. Zur Veranschaulichung bedient er sich eines Vergleichs: „Ein Kohlebrikett in einem Kilometer Entfernung ist nicht zu erkennen; zertrümmern wir es aber, dann sehen wir die große schwarze Staubwolke sehr wohl.“

Ein Trick kann aber beim Aufspüren von großen Körpern behilflich sein. Nimmt man die Infrarot-Strahlung der Staubpartikel über große Wellenlängen auf, so lässt sich die Ausdehnung der Scheibe ermitteln, und in ihr werden Lücken erkennbar, die ein junger Riesen-trabant in die Scheibe gerissen hat. „Wir müssen also nur nach einer solchen Lücke fahnden, um indirekt den Körper nachzuweisen.“ Er hat eine Vorhersage berechnet, wie der pubertierende Planet, während er die Lücke in die Scheibe fräst, noch Material aufsammelt. Bevor



Die Simulation zeigt einen fast ausgewachsenen Riesenplaneten in einer Scheibe um einen jungen, sonnenähnlichen Stern. ALMA, ein Arrangement aus 64 Radioteleskopen, könnte bald Bilder aus dieser Phase zeigen.

dieses auf den Körper trudelt, wird es sehr heiß. „Mit ALMA hoffen wir, in ein paar Jahren die warme Umgebung des Trabanten selbst in der Lücke registrieren zu können. Ein junger Planet, der noch Material einsammelt, wird dann als heller Punkt in einem dunklen Ring zu sehen sein – ganz so, wie wir es simuliert haben.“ **mk**

Wenn Arbeit unter die Haut geht

Jeder meint zu wissen, was Stress ist. Doch Stress hat viele Gesichter. „Es gibt eine Unmenge von Definitionen“, sagt Brigitte Kudielka, „und je schärfer man das Phänomen zu betrachten sucht, umso undeutlicher wird es.“ So zeigen sich Stresssymptome möglicherweise bei psychologisch-medizinischen Tests anders, als die Menschen selbst empfinden. Die Psychologin berichtet, dass Hans Selye, ein kanadischer Mediziner ungarischer Herkunft, den Begriff 1936 aus der Materialwissenschaft entlehnte, in der mit Stress die auf einen Werkstoff einwirkende Zug- oder Druckspannung umschrieben wurde. Selye führte das Wort in die Medizin und Psychologie ein, indem er damit zunächst das Verhalten von Tieren in lebensbedrohlichen Situationen umschrieb und später Stress als eine „unspezifische Reaktion des Körpers auf jede Art von Stressor“ definierte. Seither hat sich die Wissenschaft dem Phänomen auf vielfältige Weise genähert und in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts erkannt, dass die endokrine Reaktion des Körpers auf Stress je nach Erleben einer Situation – anders als Selye annahm – durchaus spezifisch ausfällt.

Ein inzwischen vielfach aufgegriffenes Modell zu Belastungen am Arbeitsplatz stammt aus den 90er

„Warum empfinden manche Stress, andere hingegen nicht?“

Jahren: Robert Karasek, University of Massachusetts in Lowell, und Tores Theorell, Karolinska-Institut Stockholm, setzten das Ausmaß an Anforderungen mit dem individuellen Grad der Kontrolle über den Prozess in Beziehung: „Nur wenn die Anforderungen hoch und die Kontrollmöglichkeiten gering sind, ist bei dieser Betrachtung Stress

gegeben“, sagt Brigitte Kudielka, „wenn hingegen die Anforderungen und auch die Kontrollmöglichkeiten hoch sind, wie etwa bei mir im Emmy Noether-Projekt, dann hat man einen sehr aktiven und befriedigenden Job.“

Brigitte Kudielka leitet an der Universität Trier eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe zum Thema „Stressbelastung und Burnout“, wobei sie arbeitspsychologische Ansätze zur Belastungsanalyse und psychobiologische Forschungsmethoden der Stressdiagnostik zu integrieren sucht. Ihr Ziel ist es, differenzierte Muster bei chronischem Arbeitsstress zu erfassen: „Psychologen suchen etwa mit Fragetechniken und Beobachtungsmethoden zu ermitteln, während Biologen und Mediziner eher körperliche Ereignisse beziehungsweise pathologische Veränderungen messen“, sagt sie. „Ich sehe mich da genau in der Mitte und möchte die Kluft zwischen beiden Disziplinen überbrücken, denn schließlich handelt es sich um denselben Forschungsgegenstand.“

Kudielka ging nach ihrer Promotion an der Universität Trier zunächst als Wissenschaftliche Mitarbeiterin an die Abteilung für Experimentelle Psychologie der Universität Düsseldorf. Es folgten Postdoc-Aufenthalte am Institute for Mind and Biology an der University of Chicago – gefördert von der DFG – sowie am Institut für Verhaltenswissenschaften der ETH Zürich. 2004 ergriff sie beherzt „die Emmy Noether-Option“ und kehrte nach Trier zurück. Für Stress, sagt sie, hat sie sich „schon immer interessiert.“ Während des Studiums dachte sie, dass die Betriebspsychologie eine Perspektive sein könnte, und qualifizierte sich nebenher an der örtlichen Industrie- und Handelskammer für das betriebliche Bildungswesen, war Trainerin am Berufsförderungswerk des Saarlandes in Saarbrücken. Schließlich überzog jedoch die Forscherneu-

gierde: Kudielka wollte ergründen, wo letztlich das Phänomen Stress in dem Spannungsfeld von Medizin, Biologie und Psychologie genau zu verorten sei.

Aus medizinisch-soziologischer Perspektive hat jüngst Johannes Siegrist, Universität Düsseldorf, den Begriff der Gratifikationskrise (Effort-Reward-Imbalance) zur Beschreibung des Phänomens Stress am Arbeitsplatz herangezogen: Eine Situation ist demnach belastend, wenn jemand meint, besonders viel einzubringen, sich aber nicht angemessen mit Lohn, Gehalt, Anerkennung, Status, Karrierechancen oder Arbeitsplatzsicherheit honoriert fühlt. Eine solche Betrachtung kann möglicherweise erklären, warum einige Menschen sich in einer bestimmten Arbeitssituation belastet fühlen, andere hingegen nicht. „Wir interessieren uns im Emmy Noether-Projekt besonders für die Berufsgruppe der Lehrer“, sagt Brigitte Kudielka. Obwohl sich in vielen Köpfen hartnäckig das Klischee vom Lehrerberuf als entspanntem Halbtagsjob halte, hätten Studien ein ganz anderes Bild ans Tageslicht gebracht: Sowohl die zeitliche als auch die physische und vor allem psychische Belastung von Lehrern sei überdurchschnittlich hoch. „An unserem aktuellen Projekt nehmen rund 200 Lehrer teil, um in einer ersten Studie die biologischen Veränderungen zu analysieren, die bei der Entstehung von psychosomatischen Beschwerden beteiligt sind“, sagt Kudielka. Eingebunden in diese Bestandsaufnahme sind sowohl Lehrer, die sich chronisch belastet fühlen, als auch solche, die ihr Berufsleben nicht übermäßig stressreich empfinden. Ziel des Projektes ist es, „Parameter zu identifizieren, die zu einer Früherkennung von Burnout-Symptomen, also Erschöpfungszuständen, herangezogen werden können.“

Kreischende Kinder auf dem Schulhof, ständige, hohe Präsenz

vor der Klasse, Schülerstreiche – da mag vielleicht der Gesichtspunkt „mangelnde Anerkennung“ aus Siegrists Kosten-Gewinn-Betrachtung nur das kleinere Übel sein, aber vielleicht der Tropfen, der sprichwörtlich das Fass der Gesamtbelastung eines Lehrertages zum Überlaufen bringt. Aus dem Beamtenversorgungsbericht des Landes Rheinland-Pfalz geht hervor, dass im Jahr 2000 der Anlass für Ruhestandsversetzungen bei Lehrern in drei von vier Fällen Dienstunfähigkeit war, „weitaus mehr als bei anderen Beamten etwa aus Hochschule oder Verwaltung“, sagt Brigitte Kudielka. Die Bedeutung ihrer Arbeit unterstreicht sie auch mit den volkswirtschaftlichen Kosten, die stressbezogene Gesundheitsprobleme verursachen: „In Deutschland nach Angaben der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz jährlich rund 45 Milliarden Euro.“

Lange bevor die Grenzen der Belastbarkeit erreicht sind, kann sich der Schulalltag in vielfältiger Weise im Körper niederschlagen: Schlaflosigkeit, ständige Gereiztheit, Magen-Darm-Probleme, Kopfschmerzen, Infektanfälligkeit oder gar Herzrhythmusstörungen.

In der Stressanalyse erfasst Brigitte Kudielka zusammen mit ihrem Forscherteam den individuellen Belastungsgrad via Fragebogen und bestimmt parallel dazu anhand von Urin- und Blutproben die Ausschüttung von Stresshormonen, Blutfettwerte, Parameter des Immunsystems, des kardiovaskulären Systems und der Blutgerinnung. Mit Hilfe von Speichelproben vergleicht sie anschließend die Stresshormonprofile von Arbeits- und Ruhetagen, wobei sie insbesondere den Hormonspiegel des Cortisols ermittelt, das neben Adrenalin das wichtigste Stresshormon des Körpers ist und dessen Ausschüttung sich in Abhängigkeit von sozialen und biologischen Stressreizen verändert.

Unter Stress kommt es zur Ausschüttung verschiedener Hormone, die dem Körper helfen, angemessen auf eine Situation zu reagieren. „Eine zentrale Rolle spielt hierbei die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse, kurz HHNA-Achse oder im Englischen HPA-Achse“, sagt Kudielka. Bei Stress wird im Gehirn der Hypothalamus stimuliert, der CRH, das Corticotropin-Releasing-Hormon ausschüttet. Dies wiederum bewirkt die Ausschüttung des

adrenocorticotropen Hormons, kurz ACTH, aus der Hirnanhangdrüse. Schließlich erfolgt daraufhin die Ausschüttung von Cortisol aus der Nebennierenrinde, das Energiereserven mobilisiert.

Aus anderen Studien, bei denen nach dem standardisierten Belastungsprotokoll TSST (Trierer Sozial-Stress Test) die Hormonfreisetzung dokumentiert wurde, weiß Brigitte Kudielka, dass die ACTH und Cortisolwerte in neuen, unvorhersehbaren, unkontrollierbaren Situationen relativ zu den Ausgangswerten rasch ansteigen: Bei Frauen um 50 bis 150 Prozent, bei Männern in der Regel sogar um 200 bis 400 Prozent. Rund 20 Prozent aller TSST-Studienteilnehmer reagieren aber auch gar nicht mit einem Hormonanstieg.

Tritt dieselbe Belastungssituation wiederholt auf, kommt es bei den meisten Menschen zu einem Gewöhnungseffekt, wobei der Hormonspiegel bei jeder Wiederholung weniger ansteigt, bis schließlich keine Veränderung mehr messbar ist. „Ganz anders ist dies in der Regel bei Personen, die sich chronisch erschöpft fühlen“, sagt Brigitte Kudielka, „schon bei der ersten Konfrontation mit der Standardstresssituation reagieren sie mit einer auffallend niedrigen Cortisolreaktion. Möglicherweise ist hier der Grund für ihre erhöhte Krankheitsanfälligkeit zu suchen.“ Am Beispiel der Berufsgruppe der Lehrer, die einem potenziell hohen chronischen Stress ausgesetzt sind, möchte sie nun herausfinden, ob solche biologischen Maße zur Früherkennung von Stresskrankheiten genutzt werden können. **db**



Beim Trierer Sozial-Stress Test (TSST) setzt Brigitte Kudielka die Versuchsteilnehmer einer standardisierten psychosozialen Stresssituation (ähnlich einem Bewerbungsgespräch bestehend aus einer freien Rede und einer Kopfrechenaufgabe vor einem Auswahlgremium und laufender Kamera) aus, um Messergebnisse auf der Stresshormonachse und des kardiovaskulären Systems vergleichen zu können.

Ulrich Zillmann

Vom Labor ans Krankenbett

An der Wand in Oliver Eickelbergs Büro steht ein Fahrrad, schräg darüber hängt ein vergrößertes Foto, das ihn und seine Arbeitsgruppe neben einem Gipfelkreuz zeigt. „Nein“, korrigiert der sportliche Mediziner jedoch gleich die spontane Vermutung, er sei 2003 an der Höhenstudie des Lungenzentrums Gießen am Mount Everest beteiligt gewesen. Es waren einige seiner Kollegen aus dem Sonderforschungsbereich (SFB) „Kardiopulmonales Gefäßsystem“ der DFG (Sprecher Prof. Dr. Werner Seeger). Mit der Unterstützung von professionellen Bergsteigern konnten sie dort in extremer Höhe nachweisen, dass der Viagra-Wirkstoff Sildenafil den durch Sauerstoffmangel hervorgerufenen Lungenhochdruck senkt.

Lungenhochdruck, die pulmonale Hypertonie, ist indes auch das Thema von Oliver Eickelberg und seiner Nachwuchsgruppe im SFB. Die Krankheit ist relativ selten, aber sehr schwer. Heilen lässt sie sich so gut wie gar nicht, und sobald eine medikamentöse Behandlung der Symptome versagt, ist eine Lungentransplantation der letzte Ausweg. Menschen, die an ihr leiden und nicht behandelt werden, haben meist nur noch zwei bis drei Jahre zu leben. Der Name der Erkrankung deutet schon an, dass es sich um einen erhöhten Blutdruck handelt, der auf die Lunge beschränkt ist, genauer: die Lungengefäße. Deren Aufgabe ist es, über die Zwischenstation der Lungenbläschen, wo der Gasaustausch stattfindet, sauerstoffarmes Blut zur Lunge zu transportieren und sauerstoffreiches Blut wieder zurück zum Herzen zu führen. Die Lungengefäße gesunder Menschen sind dünn und elastisch, die Gefäßwände kranker Personen hingegen extrem verdickt, weil die Zellen dort beginnen, unkontrolliert zu wuchern. Auslösen können den so genannten sekundären Lungenhochdruck andere Leiden wie Lun-

genfibrose oder Autoimmunkrankheiten; sehr häufig aber ist er idiopathisch, das heißt niemand kennt eine Ursache. Die primäre pulmonale Hypertonie bereitet Forschern seit langem Kopfzerbrechen.

In den 80er Jahren jedoch entdeckten Ärzte, dass zahlreiche Patienten mit Lungenhochdruck miteinander verwandt waren; dies bekräftigte die bis dahin noch vage Vermutung, dass genetische Ursachen dahinter stecken könnten. „Erst in den letzten Jahren“, so Oliver Eickelberg, „konnten Forscher mit neuen Methoden wie DNA-Datenbanken das Gen identifizieren, das die Krankheit auslöst“. Dieses Gen enthält die Bau-

„Ich fühle mich als Hybrid, als angewandter Grundlagenforscher.“

anleitung für ein Protein auf der Zelloberfläche, den so genannten Bone Morphogenic Protein Receptor Typ II oder kurz BMPRII. Rezeptoren sind Schaltstellen der Zelle, über die biochemische Botschaften ausgetauscht werden. BMPRII nun ist ein Membranrezeptor, der das Zellwachstum reguliert, indem er Signale einer Familie von Wachstumsfaktoren in die Zielzellen vermittelt, der so genannten Transforming Growth Factor (TGF)-beta-Superfamilie. Die Bezeichnung „Superfamilie“ ist nicht übertrieben, denn immerhin gehören ihr mehr als 40 zurzeit bekannte Faktoren an, die ermöglichen, dass eine Zelle wachsen und sich ausdifferenzieren, also auf eine bestimmte Aufgabe spezialisieren kann. Die Bone Morphogenic Proteins (BMP) gehören dazu; sie docken als Liganden an ihre Schaltstelle an, den BMP Rezeptor Typ II.

BMPs sorgen dafür, dass sich Embryonen entwickeln und

Knochen bilden können. Recht undurchsichtig ist jedoch ihre Rolle in erwachsenen Organen. So können sie, je nach Gewebeart, ungezügelt Zellwachstum, eine so genannte Proliferation, einmal verhindern, ein andermal befördern. Die glatten Muskelzellen, welche die Wände der Lungengefäße bilden, halten BMPs normalerweise im Zaum. Wenn jedoch die DNA einen Programmierfehler macht und eine Mutation hervorruft, wird die Signalübertragung gestört. Genau dies passiert offenbar bei der primären pulmonalen Hypertonie: Statt auf die Bremse zu treten, begünstigt der mutierte BMP Rezeptor II das Bestreben der glatten Muskelzellen, sich ungehemmt zu vergrößern und zu vermehren; ja selbst die Matrix zwischen den Zellen, der Kitt, schwillt nun an. Der Fehler im BMPRII könnte erklären, warum die Lungengefäße dick und ungeschmeidig werden, so dass der Blutdruck steigt und die Sauerstoffzufuhr behindert wird. Die Kenntnis des Genorts erlaubt es heute schon, den Defekt in einem frühen Stadium der Erkrankung zu diagnostizieren, so dass Patienten entsprechend frühzeitig behandelt werden können. Wie aber die Wege der Signalübertragung genau verlaufen, versteht man noch wenig, und so genießt dieses Forschungsgebiet derzeit weltweit besonders große Aufmerksamkeit.

Der Mediziner Oliver Eickelberg ist bereits so lange fasziniert von den immer noch rätselhaften molekulargenetischen Vorgängen in der Familie der Wachstumsfaktoren, dass er früh der Grundlagenforschung gegenüber einer klinischen Laufbahn den Vorzug gab. Nachdem er daran als Postdoc in der Forschungsabteilung der medizinischen Fakultät an der Universität Basel gearbeitet hatte, widmete er sich weitere vier Jahre lang an der US-Elite-Universität Yale in New Haven, Connecticut, dem Signal-

molekül TGF-beta. Doch fühlt er sich als „Hybrid, als angewandter Grundlagenforscher. Der Clou besteht ja darin, dass Wissenschaftler, die an einem isolierten molekularen Problem tüfteln, am anderen Ende den Patienten sehen“. Ganz wörtlich kann er das im Universitätsklinikum Gießen und Marburg, in dessen Medizinischen Kliniken II und V viele Patienten mit primärer pulmonaler Hypertonie behandelt werden. Weil im Lungenzentrum Gießen (UGLC) biomedizinische Forschung und Klinik so nah beieinander liegen, fiel ihm die Entscheidung, nach Deutschland zurückzukehren, nicht schwer – zumal dies auch im Sinne seiner Familie war.

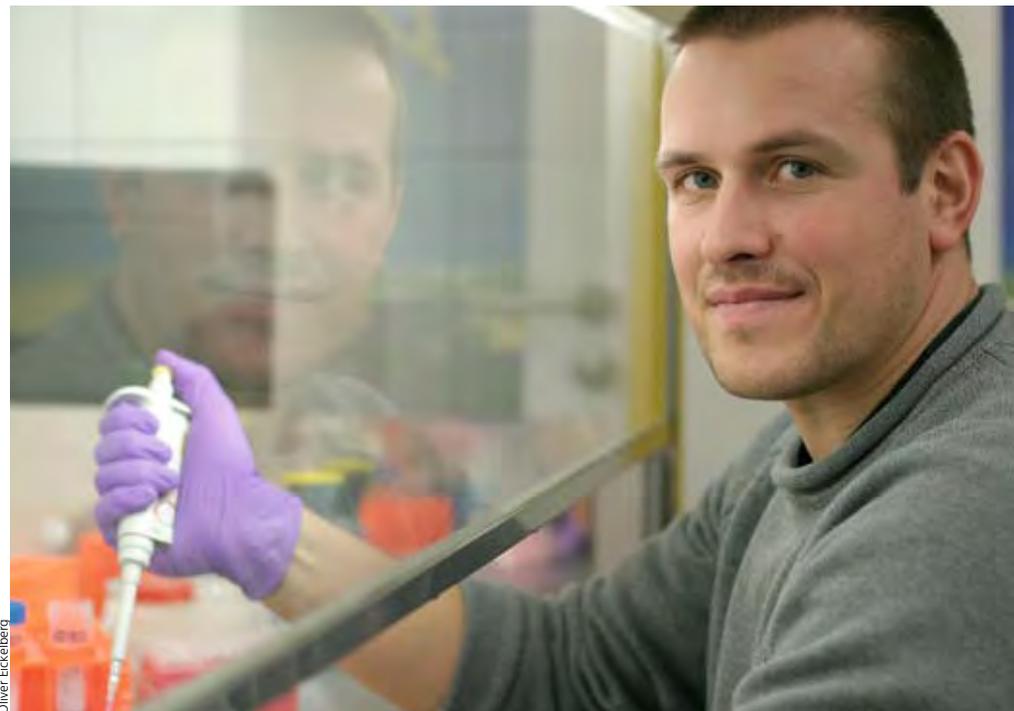
Auch auf die Frage nach seiner Perspektive kennt Oliver Eickelberg nur eine Antwort: die Forschung an einem Universitätsinstitut. „Ich empfinde meine Arbeit als Privileg“, sagt er und meint damit auch die Möglichkeiten, mit Unterstützung der DFG eigene Forschung mit einer Nachwuchsgruppe betreiben zu können. Seine Kritik gilt den Universitäten: „Leiter der Nachwuchsgruppen sind häufig besser ausgerüstet als viele C3-Professoren, sind aber in der Fakultät unsichtbar, weil sie ihr formal nicht angehören.“ Eine Gleichstellung von Gruppenleitern und Professoren betrachtet er daher als dringend notwendig. Ein fehlender Professorstitel dürfe dabei kein Hindernis sein. „Ich habilitiere mich aus Prinzip nicht“, sagt er, denn zahlreiche Publikationen und lange Lehrerfahrung sollten Qualifikation genug darstellen. „Es ist Zeit, dass sich die deutsche Hochschulszene hier reformiert.“

In seiner Abteilung fühlt sich Oliver Eickelberg fachlich und menschlich wohl. Da er auch Leiter des internationalen Graduiertenkollegs „Signaling Mechanisms of Lung Physiology and Disease“ der DFG ist, ergeben sich weitere motivierende Synergie-Effekte. Kooperationen mit Forschergruppen in New York, New Haven, San Fran-

cisco, Hamilton (Kanada), Thessaloniki und Sidney gewährleisten einen Austausch von Gedanken und Ergebnissen auf hohem Niveau. Von Mitgliedern seiner Gruppe erwartet er die gleiche Leidenschaft für die Erforschung der TGF-beta-Signalkette, die er selbst empfindet. Die meisten der jungen Wissenschaftler sind Biologen, ein Drittel hat Medizin studiert, so dass sich beide Welten schon im Team gegenseitig inspirieren. Ihr Forschungsmaterial liefert unter anderem das Transplantationszentrum in Wien: Aus den dort explantierten geschädigten Lungen, die Kuriere nach Gießen bringen, entnehmen sie Gewebeproben, um Zellen, Proteine und RNA zu untersuchen und mit jenen gesunder Menschen zu vergleichen. „Es ist ein großes Glück“, so Oliver Eickelberg, „dass wir mit genau den primären glatten Muskelzellen arbeiten können, die für die Hypertonie verantwortlich sind.“

„From bench to bedside“, vom Labor ans Krankenbett: Dieses Motto treibt die Arbeit an Zellkulturen, Proteomics- oder Genomics-Studien an. Ein viel versprechendes Beispiel ist eine groß angelegte Untersuchung, wie sich der Effekt von „small interfering ribonucleic acids“, siRNA, nutzen ließe. Diese

kleinen, doppelsträngigen RNA-Moleküle versetzen seit ihrer Entdeckung vor wenigen Jahren Forscher und Pharmakonzerne geradezu in Euphorie, weil sie langfristig für eine Vielzahl von Erkrankungen neue Therapien erhoffen lassen. Die Interferenz-Ribonukleinsäure kann nämlich gezielt ganz bestimmte Gene ausschalten, indem sie deren Boten-RNA zerstört; diese ist ein Zwischenspeicher, der eine Kopie der DNA-Information für die Eiweißmaschine der Zelle überträgt. Wenn die Boten-RNA verstummt, ist auch der genetische Code für den Bau eines Proteins zum Schweigen gebracht – eine verlockende Vorstellung, wenn es sich dabei um ein krank machendes Molekül handelt. Die Gießener Forscher versuchen nun, mit Hilfe der Interferenz-RNA zunächst in Zellkultur ein solches schädigendes Eiweißmolekül herunterzuregulieren. Sollte dies gelingen, wäre die erste Hürde auf dem langen Weg zu einem Heilmittel genommen. Die nächsten Schritte wären dann Tests im Tiermodell und schließlich klinische Studien, die eben auch das Gießener Lungenzentrum durchführt. „Ziel unserer Forschung muss ja sein, Erkrankungen wie den Lungenhochdruck irgendwann ursächlich behandeln zu können.“ **mk**



Oliver Eickelberg erforscht die molekularen Grundlagen des Lungenhochdrucks.

Des Tropfens Kern

Der Himmel über Heidelberg ist heiter. „Wie ein Haufen verzettelter Wolle“ erschienen dem griechischen Dichter Aristophanes in seiner gleichnamigen Komödie „die Wolken“, die „blitzdonnerundhagelgewaltig“ auch kommenden Sturm verkünden können. Roland von Glasow interessiert sich allerdings für mehr als das Schauspiel hoch droben oder die Wettervorhersage. „Was uns Herr Kachelmann und seine Kollegen im Fernsehen erzählen, ist ja nur ein kleiner Bestandteil der Meteorologie“, erklärt er. Er erforscht die Photochemie der Troposphäre, jener Luftschicht, die in 10 bis 15 Kilometer Höhe reicht, untersucht die Beschaffenheit von Wolken, wie sie entstehen und wie sie auf das Klima wirken.

Der Meteorologe, der am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe leitet, hat ein Satellitenbild vor sich, das graue Bewölkung vor der Küste Kaliforniens zeigt. Neben der diffusen Stratokumulus-Decke zeichnen sich helle Streifen ab: „Darunter fährt ein Schiff“, erklärt er. „Weil der Treibstoff Schwefel enthält, emittiert es vorwiegend viele kleine Sulfatpartikel, die löslich sind und an denen Wolkentropfen kondensieren.“ Da Wasserdampf sich in der Troposphäre nicht von allein verflüssigen kann, braucht er Kondensationskerne, an denen

er sich niederschlägt; so bilden sich Tröpfchen und daraus Wolken, oder bereits bestehende Tröpfchen wachsen. Diese Aufgabe erfüllen Schwebeteilchen in der Luft, die mikroskopisch kleinen Aerosole. Durch die Sulfatpartikel des Schiffs verteilt sich das Wasser auf viele kleine Teilchen, und die Wolke wird heller.

Wolken sind ein entscheidender Hebel für das globale Klima, und das nicht allein deshalb, weil aus ihnen zum Beispiel Regen fällt. Besonders wichtig ist ihre Eigenschaft, rund ein Drittel des Sonnenlichts in den Weltraum zurückzustrahlen. Dieses Albedo genannte Phänomen wirkt wie ein heller Schirm, der eine zu starke Erwärmung der Erde verhindert. Dunkle Wolken aus großen Tropfen lassen noch einen Teil des Sonnenlichts passieren, helle hingegen, die aus vielen kleinen Partikeln bestehen, reflektieren es stärker. „Alle Prozesse, welche die Größe und Menge der Wolkenteilchen beeinflussen, sind daher von erheblicher Bedeutung“, sagt Roland von Glasow. Seine wissenschaftliche Neugier gilt deshalb den Aerosolen, die auf den Strahlungshaushalt der Erde nicht nur direkt einwirken, weil sie Licht- und Wärmestrahlung streuen oder absorbieren, sondern auch indirekt als Wolkenkeime. Ihre chemischen Eigenschaften und Produktionsmechanismen sowie meteorologische Parame-

ter wie Lufttemperatur oder Luftfeuchtigkeit bilden ein komplexes Wechselspiel, das er am Computer simuliert.

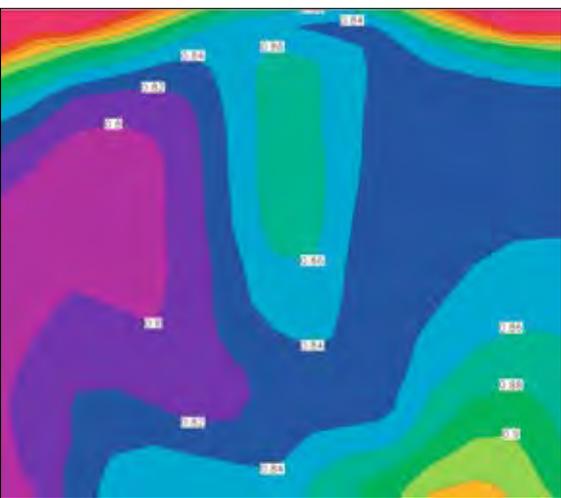
Durch Emissionen reichert der Mensch die Atmosphäre noch zusätzlich mit Schwebeteilchen an; weil sie die Albedo erhöhen, dämpfen sie vielleicht den Treibhauseffekt. Die genauen Impulse, die Aerosole der Klimaküche geben, sind sehr komplex und können bisher nur mit starken Vereinfachungen in globalen Klimamodellen berücksichtigt werden. An dieser Wissenslücke tüftelt Roland von Glasow schon lange. Weil der Meteorologe, der sich im Studium mit der Physik der Atmosphäre beschäftigt hatte, die Chemie näher kennen lernen wollte, promovierte er am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz über die natürliche Atmosphärenchemie der maritimen Grenzschicht, die sich 500 bis 1000 Meter hoch über den Meeresspiegel erstreckt. Als Postdoc am Scripps-Institut für Ozeanographie der Universität von Kalifornien in San Diego spezialisierte er sich weiter auf diesem Gebiet. Heute ist einer seiner Schwerpunkte, physikalische und chemische Vorgänge von natürlichen Aerosolen am Computer zu modellieren.

Eine der Hauptquellen der natürlichen Schwebeteilchen sind die Ozeane. Die maritime Grenzschicht über dem Südpazifik etwa ist eine ideale Forschungsregion, weil Emissionsherde wie Autos, Kraftwerke oder Fabriken weit weg sind. Auch die Wolkentropfen dort enthalten vorwiegend Sulfataerosole als Kondensationskerne. Ihr Vorläufer-Molekül ist das organische Dimethylsulfid-Gas,



Roland von Glasow

Roland von Glasow vor seinem Forschungsgegenstand: Chemie der Troposphäre und Werden und Vergehen von Wolken.



Vergleich zwischen Modellberechnungen für die Ozonkonzentration im Jahres- und Breitenmittel mit und ohne Halogenchemie. Die Zahl „0.8“ bedeutet, dass Ozon auf 80 Prozent reduziert ist, wenn Halogene anwesend sind.

das marine Organismen wie Phytoplankton produzieren und das aus dem Meer in die Luft ausgast. Erst chemische Reaktionen in der Atmosphäre sorgen dann dafür, dass Kondensationskeime entstehen können. „Die Methylgruppen werden quasi abgeknabbert“, erläutert Roland von Glasow, „und über Zwischenstationen werden die Schwefelatome zu Schwefeldioxid und schließlich zu Schwefelsäure aufoxidiert“. Dies geschieht vorwiegend durch die äußerst reaktionsfreudigen Hydroxyl-Radikale; weil sie sich rasch mit fast allen Stoffen einlassen und die Luft dabei reinigen, nennt man sie auch Waschmittel der Atmosphäre. Am Ende der Wirkungskette entsteht Schwefelsäuredampf, der winzige Aerosolpartikel bildet; auf diesen kondensiert Wasserdampf zu kleinen Wolkentröpfchen.

Einen anderen Reaktionspfad stoßen Halogene wie Bromoxid an. Dieses Radikal gibt dem Dimethylsulfid ein Sauerstoffatom ab, und die daraus entstandene Verbindung reagiert dann zu weiteren Produkten aus Schwefel, einer Methylgruppe und anderen Substanzen. Diese können – anders als die Schwefelsäure – keine neuen Kondensationskerne bilden, sondern nur an bereits bestehende Aerosolpartikel andocken und sie vergrößern; dabei erhöhen sie deren Hygroskopizität, ihre Fähigkeit, Wasser anzuziehen. Die Wolke wird also dunkler, die Albedo sinkt, und schließlich fällt Niederschlag.

Halogene sind im Seesalz enthalten. Insbesondere bei starkem Wind zerplatzen an der Wasseroberfläche Luftblasen, aus denen sich Tröpfchen lösen und als Spritzer in die Luft gelangen. Solche Seesalzaerosole, die der Wind über weite Strecken transportieren kann, haben vielfältige Auswirkungen. So nehmen sie gerne Schwefelsubstanzen auf, und weil die meisten Seesalztropfen relativ groß sind und daher schnell wieder ins Meer fallen, gehen die Sulfatpartikel für weitere Wolkenbildung verloren. Zum anderen setzen sie photochemisch aktive Halogenverbindungen frei: aus Chlor, Brom und ein wenig Iod. Diese verändern nicht nur die Wolken, sie zerstören auch Ozon.

Das Molekül aus drei Sauerstoffatomen ist eine zwiespältige Substanz. Manche Wissenschaftler nennen sie gern „the good, the bad and the ugly“. Als gutes Gas in der Stratosphäre verhindert sie, dass gefährliche ultraviolette Strahlung tiefer in die Atmosphäre dringt, doch direkt über dem Boden, hervorgerufen durch Emissionen, wirkt sie als schädlicher Photosmog. In der Troposphäre ist Ozon zum einen ein natürliches und anthropogenes Treibhausgas, zum anderen der einzige Vorläufer von Hydroxyl, das unter anderem die organischen Dimethylsulfide aufoxidiert, damit am Ende Wolken entstehen. So wirkt es einerseits wie das Glasdach eines Gewächshauses, zugleich aber hilft es auch, den Schirm aufzuspannen, der die Sonnenstrahlung reflektiert. „Ozon ist die wichtigste Substanz für unser Verständnis von der Atmosphäre“, sagt Roland von Glasow. Ebenso wichtig ist deshalb der Vernichtungskrieg, den Halogene gegen das Molekül führen: Laut seinen Berechnungen zerschlagen sie im untersten Kilometer bis zu 30

Prozent des Gases und global bis zu 20 Prozent. Messungen haben gezeigt, dass im arktischen Frühling etwa, wenn Meerwasser zu frischem Eis gefroren ist und das Salz nach oben gedrückt wurde, das daraus freigesetzte Bromoxid ein regelrechtes troposphärisches Ozonloch verursacht, das bis zu 2 Kilometer mächtig werden kann.

Halogenoxide zu messen ist ausgesprochen schwer. Solche Messungen aber sind für Computermodelle unverzichtbar. Sie liefern die Daten, und an ihnen muss sich die Tragfähigkeit der Modelle beweisen. „Nur so sehen wir, was wir verstehen und was nicht, um später Vorhersagen machen zu können“. Roland von Glasow wollte daher am Heidelberger Institut für Umweltphysik arbeiten, das weltweit führend ist auf dem Gebiet des Nachweises von Halogenoxiden. Dass er mit Hilfe des Emmy Noether-Programms aus den USA zurückkehren konnte, betrachtet

Wissenschaftler nennen

*Ozon „the good,
the bad and the ugly“.*

er als großes Glück. „Wer eine wissenschaftliche Karriere ins Auge fasst, hat mit diesem Programm gute Voraussetzungen“. Einziger Nachteil sei der notgedrungen fehlende Tenure Track. „Es ist schade, dass es beinahe ausgeschlossen ist, mit der neu aufgebauten Gruppe am selben Institut bleiben zu können. So muss das Team fast zwangsläufig nach wenigen Jahren wieder aufgelöst werden.“ Noch hat er allerdings Zeit, um seine weiteren Wege zu planen, und zu erforschen gibt es genug.

Goethes Erkenntnis in seinem „Versuch einer Witterungslehre“ lässt sich im übertragenen Sinne auch für die Atmosphärenchemie lesen, wie wir sie heute verstehen: dass „alles, was ist oder erscheint, dauert oder vorübergeht, nicht ganz isoliert, nicht ganz nackt gedacht werden dürfe; eines wird immer noch von einem anderen durchdrungen, begleitet, umkleidet, umhüllt“. **mk**

Der Flaschenhals-Effekt

Grit Hein hat an der Humboldt-Universität in Berlin Psychologie studiert, weil sie zu den Menschen gehört, die sich „einfach für Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft gleichermaßen interessieren“, wie sie sagt. Von der Psychologie erhoffte sie sich beides. Den Umgang mit Menschen fand sie von Anfang an spannend. Ihr Studium verlief lange Zeit mehrgleisig, „mich hat die Kinderpsychologie interessiert, und in den Ferien arbeitete ich bei einem Seminaranbieter“.

Bei einem der ersten „offiziellen“ Praktika in einer neurologischen Rehabilitationsklinik fand sie schließlich ihr Thema: Anhand der Hirnleistungsdiagnostik bei neurologischen Patienten wurde ihr klar, dass es eine faszinierende Brücke zwischen kognitiven Vorgängen einerseits und den neurologischen bzw. neuroanatomischen Grundlagen andererseits gab. Hein ging für ein Semester nach New York, um am dortigen City College gezielt einen Kurs „cognitive neuroscience“ zu besuchen, von dem sie „völlig hingerissen war“. Zurück in Berlin, suchte sie das interdisziplinäre Thema weiter zu vertiefen und promovierte nach Abschluss ihres Studiums am Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung in Leipzig mit einer Arbeit zu Multitasking-Defiziten bei gesunden älteren Personen und neurologischen Patienten.

Dabei stieß sie auf einen Effekt, der bislang in der Literatur so noch nicht beschrieben war: „Das klassische Paradigma der Experimentalpsychologie geht davon aus, dass die gleichzeitige Verarbeitung mehrerer sensorischer Eindrücke im Gehirn umso schlechter gelingt, je ähnlicher diese Eindrücke sind“, sagt Hein. „Wenn ich also beispielsweise etwas Bestimmtes sehe und gleich darauf etwas Ähnliches, kommt es nach diesem Paradigma zu einer Limitation der Verarbei-

tungskapazität im modalitätsspezifischen, also hier dem dafür zuständigen visuellen Kortex.“ In ihren Experimenten zeigte sich aber etwas anderes, nämlich dass auch ganz verschiedene Sinneseindrücke, zum Beispiel Gesehenes und Gehörtes, gravierend miteinander konkurrieren können.

Grit Hein hatte sich in ihrer Doktorarbeit vorgenommen, den Aufmerksamkeitsproblemen auf den Grund zu gehen, die ältere Menschen, Parkinson-Patienten oder Patienten nach einem Schädelhirntrauma in komplexen Situationen haben. Dafür hatte sie eine Testvariante kreiert, in der sie zwei unterschiedliche – also vermeintlich nicht miteinander konkurrierende – sensorische Stimuli anbot. Im Experiment, das in die aktuelle Fachdiskussion zur Aufmerksamkeitsverteilung bei Multitasking-Anforderungen eingebettet war, mussten die Versuchspersonen zwei verschiedenen Töne und zwei unterschiedliche Buchstaben erkennen. Dabei variierte Hein den zeitlichen Abstand zwischen

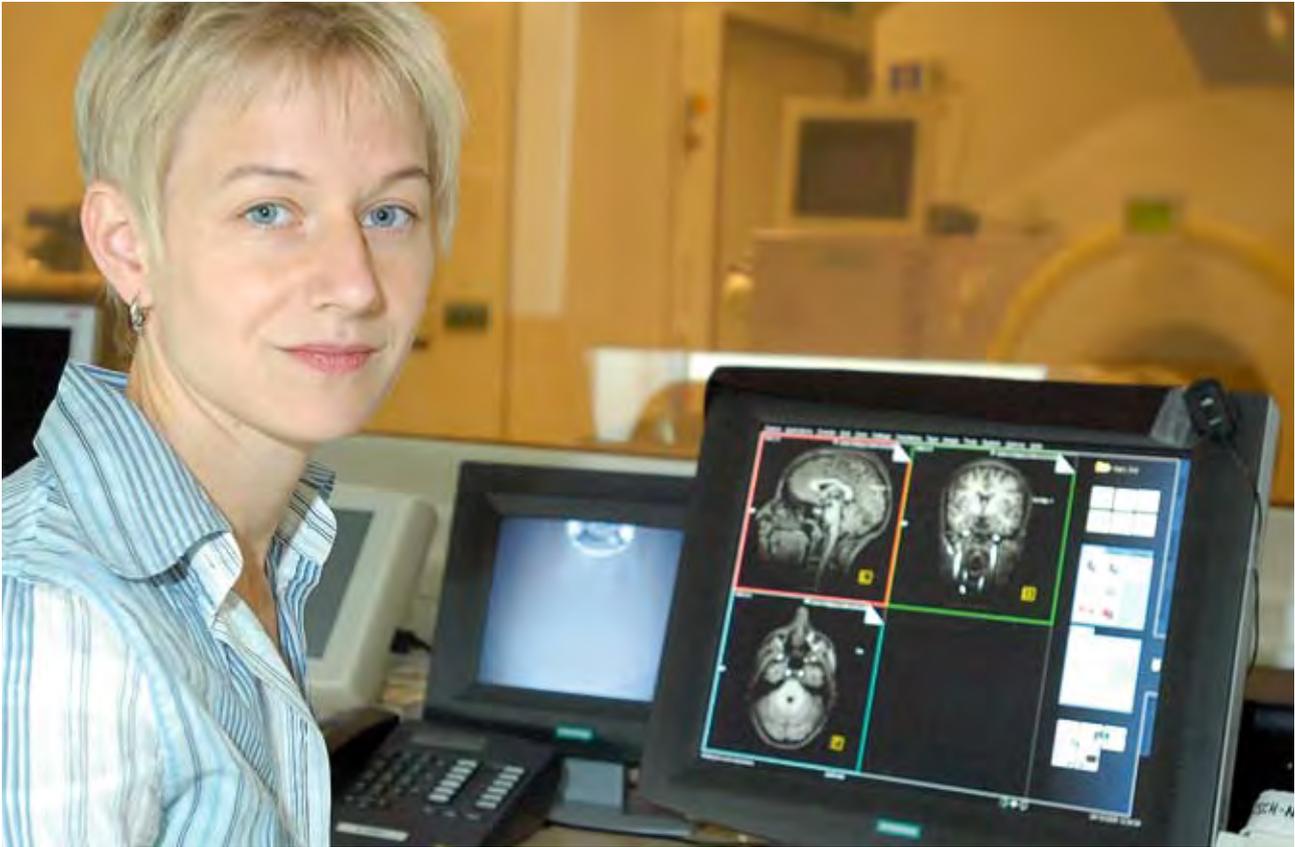
„Die Sinneseindrücke störten sich, obwohl dies theoretisch nicht sein sollte.“

Auslösung des Tonsignals und Darbietung des Buchstabenbildes. Die Buchstaben waren manchmal hell und gut lesbar, ein anderes Mal dunkel und somit nur schlecht zu sehen. Zu ihrer Verblüffung reagierten die Versuchspersonen signifikant schlechter auf Ton und Buchstaben, wenn die Buchstaben hell und gut lesbar waren. „Das ergab keinen Sinn“, erinnert sich Grit Hein, denn es musste bedeuten, „dass sich die Stimuli gegenseitig in ihrer sensorischen Verarbeitung störten, obwohl sie in völlig unterschiedlichen Teilen des Gehirns verarbeitet werden.“

Dabei war die klassische Annahme, dass sich Sinneseindrücke gegenseitig umso mehr stören, je ähnlicher sie sind, eigentlich plausibel, weil ja ähnliche neuronale Strukturen beansprucht werden. Töne werden im auditorischen Kortex verarbeitet, also irgendwo in der Mitte des Gehirns. Bilder im visuellen Kortex, also im Temporallappen. In den Modellen von Psychologie und Neurowissenschaft fand Hein für diesen Effekt keine Erklärung. „Was haben diese Bereiche miteinander zu tun?“, fragte sie, „wo ist da das Problem?“ Bald wurde ihr klar, dass sie es hier mit „etwas Neuem“ zu tun hatte.

Inzwischen arbeiten weltweit mehrere Forschergruppen an der Aufklärung dieser Phänomene. „In der Literatur hat sich schon der Begriff der ‚crossmodalen Aufmerksamkeitskonkurrenz‘ eingebürgert“, sagt Hein, „der dann benutzt wird, wenn es um Konflikte zwischen unterschiedlichen Sinneseindrücken geht. Demgegenüber steht ‚multisensorisch‘ häufig für die gelungene Integration der Wahrnehmung unterschiedlicher Sinneseindrücke.“

Nach Abschluss der Promotion ging Hein nach England, blieb aber auch in Cambridge dem in Leipzig gefundenen Effekt auf der Spur und suchte nach einer Möglichkeit, sich ihm ganz mit einem eigenen Forschungsprojekt zu widmen. Dabei entdeckte sie das Emmy Noether-Programm der DFG und forscht nun an der Universität Frankfurt über crossmodale Aufmerksamkeitseffekte. „Ich möchte mehr über die neuronalen Grundlagen von multisensorischer Integration und Aufmerksamkeitsverteilung beziehungsweise Aufmerksamkeitskonkurrenz herausfinden“, sagt sie und arbeitet methodisch mit bildgebenden Verfahren, meist der Kernspintomographie. „Generell formuliere ich die Projekte zunächst im Verhaltensmodell aus und passe sie dann



Jan Jacob Hofmann

Mit dem Kernspintomographen kann Grit Hein während eines Tests die Hirnaktivitäten der Versuchsteilnehmer erfassen und signifikant aktivierte Hirnareale lokalisieren.

an die Anforderungen der Versuchs- und Messbedingungen im Kernspintomographen an.“

Mit dem Kernspintomographen kann Hein während eines Tests die Hirnaktivitäten der Versuchsteilnehmer erfassen und signifikant aktivierte Hirnareale lokalisieren. „Inzwischen habe ich einige Erfahrungen im Umgang mit dem Effekt sammeln können“, berichtet sie. Das Testverfahren mit der Wiedergabe eines Tons und der visuellen Darbietung von Buchstaben hat sie weiterentwickelt: „Wir stellen fest, dass die Versuchspersonen wunderbar dazu in der Lage sind, den Buchstaben zu identifizieren, solange Tonsignal und Bildeindruck zeitlich weit genug auseinander liegen. Wenn der Abstand sehr kurz ist, wird der Buchstabe plötzlich nicht mehr gesehen.“

Natürlich hat sie den Test auch selbst gemacht: „Der Effekt ist einfach faszinierend, auch ich habe den Buchstaben nicht gesehen, obwohl ich wusste, dass er da sein musste – aber auch dieses Wissen hat nicht geholfen.“

Kürzlich hat Grit Hein einen Vortrag mit der Überschrift „Überleben im Datenschwungel“ versehen. „Das fasst meinen Schwerpunkt ganz gut zusammen“, sagt sie, „denn unser Alltag ist häufig stressig und hektisch. Wir sind einer ständig zunehmenden Reizüberflutung ausgesetzt, und unser Hirn muss im Millisekundentakt Eindrücke verschiedener Sinnesmodalitäten integrieren. Doch eine solchermaßen ununterbrochene multisensorische Integration allein ist noch nicht genug. Wir müssen darüber hinaus aus der Vielzahl der Sinneseindrücke diejenigen auswählen, die für die bestimmte Situation relevant sind und zwischen denen wir unsere Aufmerksamkeit verteilen. Da klingelt das Handy in der Jackentasche, während gleichzeitig die Fußgängerampel umspringt.“

Hein ist inzwischen davon überzeugt, dass die Grenzen der multisensorischen Integration auf neuronaler Ebene zu finden sind: „Der Effekt ist so stabil, dass es wohl so etwas wie einen neuronalen Flaschenhals geben muss, einen Engpass, den zwei Sinneseindrücke einfach nicht gleichzeitig passieren können. Und zwar auch dann nicht, wenn sie modalitätsspezifisch in völlig unterschiedlichen Hirnarealen verarbeitet werden.“

Es stellen sich viele Fragen neu und auch viele neue Fragen: Häufig gelingt es uns mit Leichtigkeit, Dinge parallel zu erledigen. Andererseits gibt es aber auch ganz offensichtlich Situationen, in denen dies unmöglich ist. „Aber was unterscheidet die Situation A von der Situation B“, fragt Grit Hein, „und wenn wir es eines Tages herausfinden – gibt es Möglichkeiten, den Flaschenhals im Hirn zu überlisten, ihn etwa zu umgehen? Oder: Können wir uns eines Tages dazu in die Lage versetzen, zu entscheiden, welchen der konkurrierenden Sinneseindrücke wir auf jeden Fall wahrnehmen möchten?“ **db**

Wie sicher ist sicher?

Man hatte bei den Vorbereitungen zur öffentlichen Vorführung des bahnbrechenden Experiments am 21. April 2004 um 11.30 Uhr an alles gedacht. Auch das 1500 Meter lange Glasfaserkabel zwischen dem Wiener Rathaus und der Filiale der Bank Austria Creditanstalt in der Schottengasse war startklar für die weltweit erste quantenkryptographisch verschlüsselte Geldüberweisung.

Quantenphysikalische Methoden der Nachrichtenverschlüsselung gelten als absolut sicher, da die erzeugten Schlüssel nicht mehr wie bisher auf schwer lösbaren mathematischen Problemen beruhen, sondern auf Naturgesetzen, und zwar der Fernwirkung verschränkter Lichtteilchen – einem Phänomen der Quantenphysik, das noch Albert Einstein ungläubig als „spukhafte Fernwirkung“ abtat.

Die Überweisung von 3000 Euro gelang: Ein Laserstrahl erzeugte in einem Kristall die miteinander verschränkten Lichtteilchen, wobei jeweils eines davon durch das Glasfaserkabel verschickt wurde. Erst durch ihre Messung an den zwei unterschiedlichen Orten nahmen die Teilchen gemäß Quantentheorie ihre Eigenschaften an, und sie produzierten sowohl in der Bank als auch im Rathaus eine identische Folge von Zufallszahlen – den Schlüssel zur Nachrichtenkodierung. Hätte ein Lauscher die Übertragung der Lichtteilchen „abhören“, sie also messen wollen, hätte er sie beeinflusst und wäre durch einen einfachen Vergleich eines Teils der Zufallszahlen – die ja an beiden Orten durch die Verschränkung identisch sein müssen – aufgefallen.

„Alle in dem Versuch verwendeten Grundbausteine funktionierten korrekt“, sagt Jörn Müller-Quade, „trotzdem konnten wir diese Anwendung brechen.“ Obwohl die Wissenschaftler in Wien nur als sicher geltende Elemente für ihren Versuch kombiniert hatten, erwies

sich das Gesamtsystem letztlich als unsicher: Ihr Augenmerk hatten sie nur darauf gerichtet, den zu überweisenden Geldbetrag geheim zu halten. Aber sie hatten nicht bedacht, dass es einem Angreifer gelingen konnte, zwar nicht den Überweisungsbetrag zu erkennen, aber ihn zu verändern. „Wir konnten das Wiener Protokoll angreifen. Ein Türöffner war das gewählte Verschlüsselungssystem auf Basis des sogenannten One Time Pad-Verfahrens“, kommentiert Müller-Quade, der an der Universität Karlsruhe im Rahmen des Emmy Noether-Programms die langfristige Sicherheit kryptographischer Lösungen erforscht.

Kryptographie – das Wort ruft Assoziationen wie Geheimschrift, Geheimdienst oder Spionage wach. Schon der römische Kaiser Cäsar entwickelte eine Geheimschrift zur Übermittlung vertraulicher Botschaften. In den letzten Jahr-

*„Zunächst gilt es, die
Schutzziele umfassend und
klar zu formulieren.“*

zehnten hat allerdings das Aufkommen leistungsstarker Rechner und Computernetzwerke die klassischen Handverschlüsselungsverfahren obsolet gemacht. Überaus komplexe Algorithmen und Protokolle sichern vertrauliche E-Mail, den Handel im Internet und bald wohl auch elektronische Wahlen.

„Sichere Anwendungen zu entwickeln, ist schwierig“, sagt Jörn Müller-Quade, und unterstreicht dies mit dem Beispiel der gepatzten quantenkryptographischen Übertragung. Es reiche auf keinen Fall aus, einfach nur bessere Werkzeuge miteinander zu kombinieren, und die alleinige Zielsetzung der Geheimhaltung, wie im Falle Wiens, sei ebenfalls häufig nicht ausreichend: „Um bei kryptogra-

phischen Lösungen Sicherheit zu erreichen, müssen zunächst einmal die Schutzziele umfassend und klar definiert sein“, sagt er und macht so deutlich, wie wichtig es ist, im Emmy Noether-Projekt zusammen mit seiner Nachwuchsgruppe dem Problem der „langfristigen Sicherheit“ nachzugehen. In diesem Zusammenhang interessieren ihn auch die „unerwünschten Nebenwirkungen“, die bei der Verwendung kryptographischer Protokolle auftreten können.

Jörn Müller-Quade fand als Schüler das 1985 erstmals auf Deutsch erschienene Buch „Gödel, Escher, Bach“ des dafür mit dem Pulitzer-Preis ausgezeichneten amerikanischen Informatikers und Philosophen Douglas R. Hofstadter faszinierend, und er erinnert sich, dass ihn unter anderem diese Lektüre motivierte, nach dem Abitur zunächst in Erlangen, später in Karlsruhe Informatik zu studieren. Dort promovierte er mit einer Arbeit im Bereich des symbolischen Rechnens und ging anschließend für zwei Jahre nach Japan, um sich am Imai Laboratory der University of Tokyo ganz in die Quantenkryptographie zu vertiefen. „Kurz bevor ich nach Japan ging, hatte ich von dem Emmy Noether-Programm der DFG erfahren und bedauert, dass das für mich zu spät kam.“

Es war nicht zu spät, denn gerade als Müller-Quade zurück in Deutschland an der Universität Karlsruhe ein Forschungsprojekt zur Quantenkryptographie übernommen hatte, wurde der „Aktionsplan Informatik“ im Emmy Noether-Programm ausgeschrieben, in dem er nun seit Januar 2003 als Nachwuchsgruppenleiter mit einer eigenen Arbeitsgruppe Grundlagen der Sicherheit kryptographischer Lösungen und Systeme erforscht. „Sicherheit“, sagt er, „ist immer eine Definitionsfrage, ist ein Balanceakt zwischen notwendiger Abstraktion, die ein Modell handhabbar macht, und

der Einbeziehung möglichst vieler Details, die Ergebnisse innerhalb eines Sicherheitsmodells anwendungsrelevant werden lassen.“

Eine aktuelle Definition von kryptographischer Sicherheit folgt dem so genannten Simulationsansatz: Ein reales Protokoll wird

„Sicherheit definieren wir über die Ununterscheidbarkeit realer und idealer Protokolle.“

dabei mit einem idealen Protokoll, das offensichtlich sicher ist, verglichen. In dem idealen Protokoll erledigt eine für alle Teilnehmer vertrauenswürdige Instanz den Berechnungsprozess, etwa einen sicheren Informationsaustausch oder eine elektronische Auktion, so dass nur eigene Eingaben verändert werden können – was auch für einen Angreifer gilt. Ist nun das Ein- und Ausgabeverhalten der Protokollteilnehmer im realen und idealen Modell ununterscheidbar, so nennen die Informatiker das reale Protokoll eine „sichere Realisierung“ des idealen Protokolls. Eine solche Definition der Sicherheit „ist sehr überzeugend“, sagt Jörn Müller-Quade, da ja jeder Angriff, der im realen Modell möglich sei, per Definition harmlos sein müsse, wenn er im idealen simuliert werden könne.

Vor einigen Jahren hat die Informatikerzunft dann allerdings erschreckt feststellen müssen, dass solchermaßen sichere Protokolle, modular im Zusammenspiel verwendet, unsicher werden kön-

nen, und sie haben deshalb dem simulationsbasierten Sicherheitsmodell eine zusätzliche Maschine hinzugefügt, die jederzeit mit dem Protokoll interagieren und einem möglichen Angreifer Hinweise geben kann. Die zusätzliche Maschine kann somit auch solche Unsicherheiten finden, die sonst erst in größeren Anwendungen sichtbar werden. Seither gilt ein Protokoll als sicher, wenn diese neu hinzugefügte Maschine das reale und das ideale Modell nicht unterscheiden kann.

Aber damit nicht genug: „Ein Sicherheitsmodell darf nicht zu abstrakt sein und muss daher auch das die Teilnehmer verbindende Kommunikationsnetzwerk beschreiben“, sagt Jörn Müller-Quade. Zusammen mit seiner Gruppe hat er in einem etablierten Sicherheitsmodell die Definition des zugrunde liegenden Netzwerks variiert und konnte beweisen, dass die erreichbare

Sicherheit auf unerwartete Weise vom zugrunde liegenden Netzwerk abhängt: „Je verlässlicher die Auslieferung einer Nachricht ist, umso weniger Protokollaufgaben lassen sich sicher realisieren.“ Dies ist eine interessante Konsequenz aus simulationsbasierten Sicherheitsmodellen, und „sogar eine in der Kryptographie sehr bekannte Vollständigkeitsaussage, nach der mit dem Grundbaustein Oblivious Transfer alle Protokollaufgaben sicher realisiert werden können, wird falsch, wenn man ein realistischeres Netzwerkmodell zugrunde legt“, kommentiert Müller-Quade.

Zusammen mit seiner Gruppe hat er im Emmy Noether-Projekt Protokoll-Grundbausteine entwickelt, die auch in größeren Anwendungen sicher bleiben: Zum Beispiel für einen sicheren Schlüsselaustausch, das sichere und geheime Hinterlegen eines Dokuments (Bit Commitment) oder für Verfahren, die es erlauben, den Besitz eines Geheim-

Andrea Fabry



Jörn Müller-Quade zeigt gerne seinen Schatz vor: Ein Exemplar der berühmten Chiffriermaschine „Enigma“. Im zweiten Weltkrieg glaubten die deutschen Kryptologen fest daran, dass diese Maschine unentzifferbare Geheimtexte produziere. Aber den Alliierten gelang es, Regelmäßigkeiten aufzuspüren – so konnte zum Beispiel aufgrund ihrer Konstruktion ein Klartuchstabe nie in sich selbst überführt werden – und rund 300 000 Meldungen zu entziffern.

nisses zu beweisen, ohne dieses zu lüften (Zero Knowledge). Und angeregt durch die falsche Verwendung des One Time Pad-Verfahrens bei der ersten quantenkryptographischen Banküberweisung in Wien hat die Karlsruher Forschergruppe zusammen mit anderen Kryptologen ein universell verwendbares Verfahren zur sicheren Nachrichtenübermittlung auf Basis eben dieses Verschlüsselungsverfahrens vorgestellt und publiziert.

Bei der Verschlüsselung mit dem One Time Pad, 1917 von dem amerikanischen Ingenieur Gilbert S. Vernam erfunden, ist der Schlüssel immer genauso lang wie die Nachricht selbst, beruht auf Zufallszahlen und wird nur ein einziges Mal verwendet. „Eine solche Verschlüsselung bietet zwar langfristige Sicherheit, da sie auch durch beliebig viel Rechenleistung nicht gebrochen werden kann“, sagt Müller-Quade, „aber das One Time Pad-Verfahren alleine stellt nicht sicher, dass die Nachricht von einem Angreifer nicht verfälscht werden könnte, wie wir es für das Wiener Experiment zeigen konnten.“

Um universelle Verwendbarkeit von sicheren Anwendungen zu erreichen, muss häufig ein hoher Preis gezahlt werden: Die Protokolle werden meist sehr aufwändig und sind darum nicht sehr effizient, und zudem werden häufig noch zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen benötigt. „Man muss also

abwägen, ob man in den zusätzlich nötigen Sicherheitsannahmen oder in der nicht universellen Verwendbarkeit des Protokolls das größere Sicherheitsproblem sieht“, sagt Müller-Quade, „und wir müssen uns auch fragen, welche negativen Nebenwirkungen möglicherweise mit einem Plus an Sicherheit verbunden sind.“

Hierbei geht es zum Beispiel um das Problem, dass elektronische Dokumente – etwa Pass oder Führerschein – in der Signatur versteckte Zusatzinformationen enthalten könnten: Versteckte Hinweise für Kontrolleure wie Verdächtigungen, die der Staat zu speichern nicht berechtigt ist. „Um diese Befürchtungen auszuräumen, haben wir in unserer Emmy Noether-Nachwuchsgruppe in Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern ein Signaturverfahren entwickelt, das einem Angreifer keine Freiheit lässt, zusätzliche Informationen zu verstecken“, berichtet Jörn Müller-Quade.

Ein weiteres Beispiel: Bei Wahlen mit Papier und Urne kann ein Wähler nach der Wahl beliebig abstreiten, irgendeine spezielle Partei gewählt zu haben, und er kann sogar bestreiten, überhaupt eine gültige Stimme abgegeben zu haben. Für elektronische Wahlen stellt sich dies leider nicht so eindeutig dar: Daten, die während des Wahlprotokolls ausgetauscht werden, können als Beweis für

eine bestimmte Stimmabgabe dienen. „Anders als bei der Wahl mit Papier und Urne ist nun ein überprüfbarer Stimmenkauf möglich“, beschreibt Müller-Quade die Bedrohung: „Der Käufer einer Stimme zahlt aber möglicherweise nur, wenn der Wähler seine Protokolldaten offen legt und damit beweist, dass er wie vereinbart abgestimmt hat.“ Möglich wird ihm dies dann gerade durch die im Protokoll verwendeten kryptographischen Verfahren wie digitale Signaturen.

Müller-Quade erweitert zurzeit mit seinem Team das simulationsbasierte Sicherheitsmodell der real/ideal-Vergleichsdefinition auf diese neuartige Bedrohung der Nichtabstreitbarkeit: „Um Abstreitbarkeit für allgemeine Protokolle in einem Sicherheitsmodell fassen zu können, haben wir das simulationsbasierte Sicherheitsmodell um einen zweiten Angreifer erweitert“, sagt er, „und das hat zur Folge, dass der erste Angreifer seinem korrumpierten Wähler nicht mehr trauen kann, da dieser unter der Kontrolle des zweiten Angreifers stehen könnte.“

In Vorträgen auf wissenschaftlichen Tagungen hat Müller-Quade schon angedeutet, wie das Modell aufgebaut sein könnte. Die Veröffentlichung steht noch aus: „Es fehlen noch gut ausgearbeitete Beispiele, aber ich hoffe, dass wir es bald geschafft haben.“ **db**

Aktionsplan Informatik im Emmy Noether-Programm

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) will mit dem Aktionsplan Informatik im Emmy Noether-Programm, für den es von 2002 bis 2004 drei Ausschreibungen gab, dem akuten Nachwuchsmangel an Hochschullehrern im Fach Informatik entgegenwirken, indem er besonders qualifizierten jungen Informatikerinnen und Informatikern einen Weg zu früher wissenschaftlicher Selbstständigkeit eröffnet.

Nach Schätzungen des Fakultätentags Informatik werden kurzfristig an den deutschen Universitäten viele Lehrstühle in diesem Fachgebiet frei, die in den Jahren 1970 bis 1975 eingerichtet wur-

den. Im Gegensatz zu anderen Fächern herrscht jedoch in der Informatik ein Mangel an Nachwuchswissenschaftlern für diese Positionen. Ein Grund dafür ist, dass Informatiker nach der Promotion häufig attraktive Stellenangebote aus der Wirtschaft erhalten, mit denen die Wissenschaft nicht konkurrieren kann.

Insgesamt werden im Aktionsplan Informatik 32 junge Nachwuchswissenschaftler gefördert. In Karlsruhe neben Jörn Müller-Quade auch Alexander Wolff, dessen Nachwuchsgruppe sich systematisch mit der Visualisierung geometrischer Netzwerke auseinandersetzt. „Bislang ist zum Beispiel die Visualisierung eines U-Bahn-

Netzes ein handwerklich-künstlerischer Prozess“, sagt er, „hier geht es uns zum Beispiel darum, solche kreativen Visualisierungen mit Hilfe der Informatik einer Automatisierung zugänglich zu machen.“ Ebenfalls in Karlsruhe forscht Thomas Fuhrmann, der zusammen mit seiner Gruppe das Verhalten von selbstorganisierenden Netzen besser zu verstehen sucht. Fuhrmann möchte aus den Projektergebnissen Empfehlungen für den Entwurf von effizienten und skalierbaren Computernetzen der Zukunft ableiten. Seine Vision ist eine Welt, in der sich viele kleine elektronische Geräte selbst zu einer „intelligenten“ Umgebung zusammenschließen.



Nachwuchsförderung

Gerhart von Graevenitz lehrt an der Universität Konstanz Neuere deutsche Literatur und allgemeine Literaturwissenschaft und ist seit April 2000 Rektor der Universität. Er ist Mitherausgeber der renommierten Deutschen Vierteljahresschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte und setzt sich seit vielen Jahren für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Deutschland ein, unter anderem engagierte er sich im Bewilligungsausschuss für Graduiertenkollegs der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). An der Universität Konstanz hat er ein eigenes Forschungszentrum für den wissenschaftlichen Nachwuchs errichtet, das den interdisziplinären Dialog pflegt und auch den Nachwuchswissenschaftlern im Emmy Noether-Programm Rückenwind für ihre Karriere geben will.

? *Wie steht es um den wissenschaftlichen Nachwuchs in Deutschland?*

! Der wissenschaftliche Nachwuchs in deutschen Universitäten gehört zu dem am besten ausgebildeten weltweit. Sonst wäre er in vielen Ländern nicht so begehrt.

? *Das klingt, als hätten Sie keinen Wunsch offen?*

! Doch, das habe ich: Die arbeitsrechtlichen Regeln sind für Wissenschaftsstrukturen nach wie vor ungeeignet. Ein spezieller Tarif für Wissenschaftler erscheint mir zum Beispiel dringlich und unerlässlich. Und ich finde, dass die von uns angestrebte frühe Selbstständigkeit der Nachwuchswissenschaftler insgesamt noch zu stark auf einzelne Fach- und Hochschulkulturen beschränkt ist.

? *Leisten die Programme zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses hier Abhilfe?*

! Die existierenden Programme für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind absolut notwendig und leisten eine Menge, allerdings müssen sie ständig weiterentwickelt werden: Bei der weiteren Ausgestaltung der Programme sollten wir trotz vieler Rechtsfragen und Ressourcenprobleme versuchen, die Rahmenbedingungen für eine Tenure-Track-Option zu schaffen, nach der ein Nachwuchswissenschaftler gezielt in eine Professur hineinwachsen kann. Allerdings müssen wir uns gleichzeitig davor hüten, mit solchen Konstrukten an den Universitäten einen leistungshemmenden Automatismus einzuführen. In Baden-Württemberg gab es einmal das sehr sinnvolle Fiebigler-Programm, nach dem Professorenstellen vorzeitig neubesetzt werden konnten; hier möchte ich gerne eine aktualisierte Neuauflage anregen.

? *Welche Erfahrungen haben Sie mit dem Emmy Noether-Programm der DFG gemacht?*

! Ausnahmslos sehr gute. Die Emmy Noether-Nachwuchsgruppenleiter sind gut in die Fachbereiche integriert. Sie haben ebenso wie Juniorprofessoren direkten Zugang zur Universitätsleitung, um bei Einzelproblemen Unterstützung zu bekommen. Eine Gleichstellung von beiden beim Promotionsrecht steht leider noch aus.

? *Wie beurteilen Sie in diesem Zusammenhang das Spannungsfeld zwischen den Polen „Juniorprofessur“, „Emmy Noether-Programm“, „Habilitation“, „Tenure Track“?*

! Der „Königsweg“ zur Berufung auf eine Professur ist zumindest in den Geistes- und Sozialwissenschaften unverändert die Habilitation. Das

muss man realistischere hinnehmen. Die Fachbereiche versuchen, damit konstruktiv umzugehen. Ich finde, dass die Tenure-Track-Option auch Habilitanden auf allgemeinen Postdoc-Stellen offen stehen muss, und wir sollten gemeinsam daran arbeiten, dass deren Arbeitsbedingungen im Hinblick auf Exzellenz denen der Juniorprofessoren und Nachwuchsgruppenleiter angeglichen werden.

? *Und was lehren die Erfahrungen an der Universität Konstanz?*

! Die Universität Konstanz hat von Anfang an konsequent auf die Berufung von Juniorprofessorinnen und -professoren gesetzt, im Verfahren analog zur Besetzung aller Professuren und mit durchschlagendem Qualitätserfolg. Sie hat zudem selbstständige Nachwuchsgruppen eingerichtet und Emmy Noether-Anträge nachdrücklich unterstützt. Für drei Juniorprofessuren hat sie Tenure-Track-ähnliche Konstellationen geschaffen. Durch die Drittmitteleinwerbungen ist die Zahl der Nachwuchsstellen aus dem Staatshaushalt mehr als verdoppelt worden. Grundlage all dessen ist natürlich eine intensive Promotionsphase. Die Universität hat früh schon ein eigenes Graduiertenprogramm eingerichtet, war bei den ersten Graduiertenkollegs dabei, hat im Rahmen der konsequenten Umstellung auf die neuen Studiengänge auch Doktorandenstudiengänge geplant und eingerichtet. Sie plant jetzt die Einrichtung einer International Graduate School für die ganze Universität. Kurzum: Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wird auch künftig ein komplexes Unterfangen bleiben.

Mit Gerhart von Graevenitz sprachen Marion Kälke und Dieter Beste

Emmy Noether-Programm Daten und Fakten

Das Emmy Noether-Programm wurde von der DFG 1999 gestartet und verfolgt das Ziel, herausragenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit zu geben, sich durch die eigenverantwortliche Leitung einer Nachwuchsgruppe verbunden mit qualifikationsspezifischen Lehraufgaben zügig für eine wissenschaftliche Leitungsaufgabe, insbesondere als Hochschullehrer zu qualifizieren. Ein weiteres Ziel des Emmy Noether-Programms ist es, exzellente junge Postdocs aus dem Ausland zu gewinnen bzw. deutschen Nachwuchswissenschaftlern, die sich im Ausland befinden, den Karriereweg zurück nach Deutschland zu ebnen.

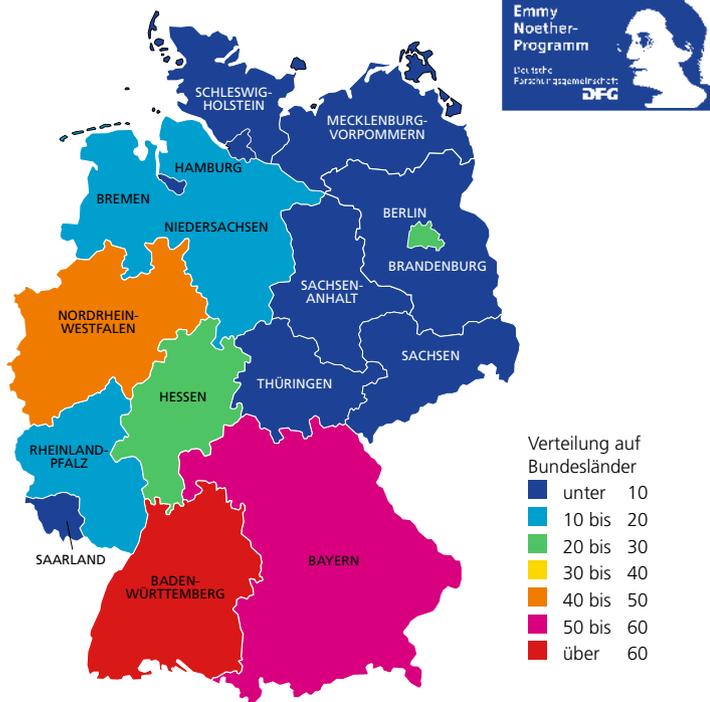
Bewerben können sich junge Nachwuchswissenschaftler/innen aller Fachrichtungen, die folgende Voraussetzungen mitbringen sollten:

- in der Regel mindestens zwei bis maximal vier Jahre Postdoc-Erfahrung,
- substantielle internationale Forschungserfahrung, in der Regel nachgewiesen durch mindestens zwölfmonatige wissenschaftliche Auslandserfahrung während der Promotion oder in der Postdoc-Phase oder durch gleichwertige wissenschaftliche Kooperationen mit Forschern im Ausland (die Kooperation kann beispielsweise durch einschlägige Publikationen nachgewiesen werden),
- eine insgesamt zügig abgeschlossene wissenschaftliche Ausbildung.

Interessenten am Emmy Noether-Programm der DFG finden weiterführende Informationen im Internet unter der Adresse:

http://www.dfg.de/emmy_noether

- Insgesamt 330 Nachwuchswissenschaftler wurden seit 1999 gefördert.
- Darunter 72 Frauen und insgesamt 20 Wissenschaftler/innen aus dem Ausland.
- Das Durchschnittsalter der Geförderten bei Bewilligung betrug 32,5 Jahre.



Verteilung auf Wissenschaftsgebiete	Prozent
Biologie	19,3
Medizin	19,3
Physik	19,3
Chemie	13,6
Elektrotechnik, Informatik und Systemtechnik	10,2
Geisteswissenschaften	4,4
Sozial- und Verhaltenswissenschaften	3,7
Geowissenschaften (einschl. Geographie)	3,1
Mathematik	2,7
Agrar-, Forstwissenschaften, Gartenbau u. Tiermedizin	2,0
Werkstoffwissenschaften	1,0
Maschinenbau und Produktionstechnik	0,7
Wärmetechnik / Verfahrenstechnik	0,7