

bild der wissenschaft plus

Die Preisträger 2011



KLAUS TSCHIRA PREIS
für verständliche Wissenschaft





Die Klaus Tschira Stiftung unterstützt Wissenschaftler bei der interessanten und verständlichen Vermittlung von Forschungsthemen.

Teilnehmer
Naturwissenschaftler, Mathematiker und Informatiker

Referenten
Wissenschaftsjournalisten mit langjähriger Expertise

Inhalt
Schreibtraining, journalistische Arbeitstechniken, Interviewtraining für Hörfunk und Fernsehen

Wir bieten intensive Kurse mit hohem Praxisanteil in kleinen Gruppen.

Termine und Anmeldung
www.sags-klar.info

Wolfgang Hess,
Chefredakteur



Werbung für die Wissenschaft – ganz ohne Werbeagenturen

Benjamin Hiller las die Ausschreibung des Klaus Tschira Preises für verständliche Wissenschaft am Schwarzen Brett des Zuse-Instituts Berlin. „Das fand ich interessant.“ Als auch sein Doktorvater Martin Grötschel, einer der angesehensten Mathematiker weltweit, ihn auf diesen Preis aufmerksam machte, war für Hiller klar: Ich bewerbe mich um den Preis für Mathematik. Entsprechend den Ausschreibungsrichtlinien reduzierte er seine 170-seitige Doktorarbeit „Online Optimization: Probabilistic Analysis and Algorithm Engineering“ auf einen Text mit 9000 Zeichen und reichte ihn ein: Volltreffer! Die Jury kürte Hiller zum Preisträger 2010. Sein gelungener Versuch, Mathematik unters Volk zu bringen, hat den 31-Jährigen auf den Geschmack gebracht: Im Februar dieses Jahres präsentierte er seine Arbeit der breiten Öffentlichkeit vor 500 Zuschauern in einem Science Slam – einer kultigen und kurzen Form wissenschaftlicher Präsentation. Auch hier mit Erfolg – Hiller holte einen hervorragenden zweiten Platz. Klar für den Mathematiker, dass er sich auch bei der jährlichen „Langen Nacht der Wissenschaften“ engagiert.

Nina Schaller, Tschira-Preisträgerin in Biologie 2009, organisierte in Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg und dem Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt von August bis Mitte September 2011 die „Tschira-Sommerakademie für junge Wissenschafter“. Sechs Gruppen von 10- bis 16-Jährigen wurden von der Biologin je eine Woche lang durch ein abwechslungsreiches Programm geführt. Begeistert erzählt sie: „Diese Altersgruppe stellt einfach die fantastischsten Fragen.“ Erforscht wurde von den Jugendlichen, was in Teichen, Bächen und im Wald lebt, wie Tiere präpariert, Fossilien ausgegraben oder Afrikanische Strauße biomechanisch untersucht werden.

Werbung für die Welt der Wissenschaft – festgemacht an zwei von insgesamt 35 Laureaten, die den Klaus Tschira Preis (Preisgeld jeweils 5000 Euro) seit 2006 erhalten haben. Die Beispiele Hiller und Schaller zeigen, dass der Wettbewerb bemerkenswerte Spuren hinterlässt. Ganz in dem Sinne, wie es Klaus Tschira einmal im bild der wissenschaft-Interview ausdrückte: „Selbst Wissenschaftler verstehen ihre Kollegen besser, wenn die sich einfach ausdrücken. Wer es versucht, wird bemerken, dass das in den meisten Fällen sogar ohne Substanzverlust funktioniert.“ Es liegt in der Natur der Sache, dass ich Tschira-Preisträgern auch nach der Preisübergabe immer wieder begegne. Dabei registriere ich mit Freude, wie sie sich als Botschafter ihrer Disziplin in der Öffentlichkeit verstehen. Gut so! Denn solange es in der Hochschulausbildung nicht Pflicht ist, Kurse über populäre Wissenschaftskommunikation per Testat nachzuweisen, sind Initiativen wie der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft dringend nötig, um der Wissenschaft in Deutschland öffentlich Gehör zu verschaffen.

Foto: F. Herrmann für bdw

Übrigens: Beim bereits ausgeschriebenen Wettbewerb 2012 (Einsendeschluss: 29. Februar 2012) wird der 1000. Bewerber erwartet. Insgesamt 945 junge Doktoren (weibl./männl.) haben sich seit 2006 beworben, 213 allein in diesem Jahr. Die Klaus Tschira Stiftung weiß den damit verbundenen Aufwand zu schätzen und bedankt sich bei allen Teilnehmern. bild der wissenschaft schließt sich selbstredend an.

INHALT

3 Zur Sache

4 Lernen, um verstanden zu werden
Immer mehr Universitäten bieten Nachwuchsforschern Kurse in Wissenschaftskommunikation an.

7 Impressum

8 Müssen wir uns noch bewegen?
Britta Lorey, Neurowissenschaften

12 Ohren unter Strom
Alexander Meyer, Neurowissenschaften

16 Bei der Abfallentsorgung erwischt
Frank Striebel, Chemie

20 Illusion der perfekten Kontrolle
Helene Richter, Biologie

24 Wer kooperiert, funkt besser
Stefan Valentin, Informatik

28 Schnell geschaltet!
Christian Kirches, Mathematik

32 Wissenschaft geht durch den Magen
Kindgerechte Rezepte und clevere Experimente sind im Kochbuch „Schlau kochen“ vereint.

34 Von Heidelberg bis in die Antarktis
In der GIS-Station werden Schüler an digitale Geomedien herangeführt.



Im Profil:
Jeder der sechs Preisträger 2011 hat seine eigenen Erkenntnisse und individuellen Forschungsfragen im Kopf.

Titelgrafik: Peter Kotzur

LERNEN, UM VERSTANDEN ZU WERDEN

Wer als Forscher die Gesetze der Medien kennt oder rhetorische Techniken einsetzen kann, hat es leichter, sich außerhalb der Fachwelt Gehör zu verschaffen. Entsprechende Kurse für gestandene Wissenschaftler gibt es schon länger – nun folgen einige Universitäten mit Angeboten für die Studierenden.



Die „Physikanten“ sind studierte Physiker, die sich darauf spezialisiert haben, Wissenschaft mit Humor unters Volk zu bringen – hier beim Wissenschaftssommer in Mainz.

Foto: D. Ausserhofer/WID

VON FRANK FRICK

ELF DEUTSCHE WISSENSCHAFTLER haben es gleichsam amtlich, dass sie ihre wissenschaftlichen Ergebnisse hervorragend an die Öffentlichkeit vermitteln. Denn sie sind Träger des Communicator-Preises, der vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) seit elf Jahren vergeben wird. Einer von ihnen ist der 67-jährige Bremer Meeresforscher Gerold Wefer, heute auch Vorsitzender des Lenkungsausschusses der Initiative „Wissenschaft im Dialog“. Er selbst charakterisiert seinen Weg zum ausgezeichneten Kommunikator mit dem Begriff „Learning by Doing“. So lernte er, als er 1998 eine „Woche der Meeresforschung“ organisierte, dass eine Ausstellung wissenschaftlicher Poster fehl am Platze war. Es mussten vielmehr Angebote entwickelt werden, die speziell auf einzelne Zielgruppen zugeschnitten waren. Wefer ist überzeugt: „Auch künftig gibt es große Themen, bei denen wir

Wissenschaftler unbedingt mit der Bevölkerung reden müssen. Man denke nur an die Energieforschung, speziell an die Kernfusion oder an das unterirdische Einlagern von Kohlendioxid.“

Viele Wissenschaftler sehen das ähnlich, belegt eine Untersuchung des Sozialwissenschaftlers Hans Peter Peters vom Forschungszentrum Jülich, der sich auf das Verhältnis von Wissenschaft und Medien spezialisiert hat. Zusammen mit einem internationalen Team befragte Peters 1395 Biomedizin-Forscher aus fünf Ländern. Ergebnis: Als möglichen Nutzen von Kontakten zu Journalisten und Medien gaben 93 Prozent „eine positivere Einstellung der Öffentlichkeit zur Forschung“ und 92 Prozent „eine besser unterrichtete breite Öffentlichkeit“ an.

Doch in der Studie wurde auch ermittelt, was Wissenschaftler zögern lässt, sich gezielt an die Medien zu wenden. 91 Prozent der Befragten fürchteten, von Journalisten falsch zitiert zu werden. Die Hälfte sorgte sich, dass sie wertvolle Zeit für die

Forschung verlieren könnte. Und 42 Prozent hatten Bedenken, dass Fachkollegen möglicherweise kritisch reagieren. Dieses letzte Ergebnis wird allerdings dadurch abgeschwächt, dass fast ebenso viele Befragte ein „größeres persönliches Ansehen bei Fachkollegen“ als Motiv für Medienkontakte angaben. Am Ende allen Pro- und-Contra-Kalküls bleibt festzuhalten: „Forscher haben eine hohe Bereitschaft, sich an der öffentlichen Kommunikation zu beteiligen“, resümiert Peters. Die Deutschen unterschieden sich in dieser Hinsicht übrigens nicht von ihren Kollegen in England, Frankreich, den USA und Japan.

FORDERUNGEN FRUCHTEN

Auch die Mitarbeiter des Instituts für Wissenschafts- und Technikforschung der Universität Bielefeld kommen nach einer aktuellen Online-Befragung von etablierten Wissenschaftlern – vor allem Professorinnen und Professoren – aller Disziplinen zu dem Schluss: „Die seit Jahren vielfach durch Öffentlichkeit, Politik und Presse erhobenen Forderungen nach öffentlicher Präsenz der Wissenschaften und Transpa-

renz der Forschungsinhalte sind bei den Wissenschaftlern angekommen und sind auch leitend für das eigene Kommunikationshandeln.“



Foto: T. Wegner

Bleibt die Frage, ob die Forscher überhaupt dafür gerüstet sind, mit der breiten Öffentlichkeit zu kommunizieren. Beatrice Dernbach, Professorin für Fachjournalistik an der Hochschule Bremen, ist überzeugt: „Selbstverständlich gibt es Naturtalente und Autodidakten unter den Wissenschaftlern, die etwa Sachverhalte vereinfachen können, ohne sie zu trivialisieren, und die auch gut in das Anforderungsprofil der Medien passen.“ Zu dieser Kategorie zählen fast alle guten Wissenschaftskommunikatoren aus Wefers Generation. Der Bremer Meeresforscher selbst besuchte erst dann ein Kommunikationstraining der DFG, als er 2001 bereits mit dem Communicator-Preis ausgezeichnet worden war. In dem Kurs wurden Vorträge der Teilnehmer mit der Kamera aufgezeichnet und später analysiert oder Diskussionsrunden mit besonders kritischen Fragestellern nachgestellt. „Eine sehr wichtige Erfahrung“, urteilt

Beim Schreibtraining der Klaus Tschira Stiftung lernen junge Forscher, wie sie gut laienfreundliche Texte verfassen können.

Wefer heute. Und ergänzt: „Vielleicht müssten wir als Chefs den jungen Wissenschaftlern mehr Freiraum geben, solche Kurse zu besuchen.“

HILFREICHES HANDWERK

Die Klaus Tschira Stiftung bietet vergleichbare Workshops an. Seit 2001 gibt es das Angebot „Sag's klar“ für Naturwissenschaftler, bestehend aus je zwei Tagen Schreibwerkstatt und Medientraining. Der Workshop „Wissenschaftskommunikation“ richtet sich hingegen ausschließlich an Bewerber des Klaus Tschira Preises und dauert einen Tag. Die 35 Nachwuchswissenschaftler, die 2010 daran teilgenommen haben, hielten die vermittelten Inhalte für „hilfreich“ oder „sehr hilfreich“. 34 wünschten sich weitere Kommunikationsseminare an den Hochschulen, 28 zusätzliche Kurse außerhalb der Hochschulen und 22 Redaktionspraktika. „Dass die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor allem praxisnahe Angebote zur Verbesserung ihrer Kommunikation wollen, ist nur allzu richtig. Wissenschaftskommunikation ist ein Handwerk, das man vor

BEISPIELHAFTE LEHRANGEBOTE VON HOCHSCHULEN		
Hochschule	Für wen?	Was?
	Studierende	
Georg-August-Universität Göttingen	Fachrichtung Chemie	Modul „Wissenschaftskommunikation“
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	Fachrichtung Geografie	Lehrveranstaltungen und Studienprojekte
Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich	Biologen und andere Naturwissenschaftler	Lehrveranstaltungen „Einführung in die Wissenschaftskommunikation“ und „Wissenschaftskommunikation und Projektmanagement“
	Doktoranden und Post-Doktoranden	
Technische Universität Braunschweig (Haus der Wissenschaft)	Überfachlich inklusive Natur- und Lebenswissenschaften	Summer School „Wissenschaft kommunizieren“
Leibniz Universität Hannover (Graduiertenakademie)	Überfachlich inklusive Natur- und Lebenswissenschaften	Kurs „Presse und Öffentlichkeitsarbeit für Wissenschaftler“
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Graduiertenschule „Human Development in Landscapes“)	Interdisziplinär, mit Bezug zum Thema der Graduiertenschule	Workshop „Communicating Science“
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (Programm „Akademische Personalentwicklung und Überfachliche Graduiertenqualifizierung“)	Überfachlich inklusive Natur- und Lebenswissenschaften	Kurs „Grundlagen der Wissenschaftskommunikation“

„... allem durch Üben und Feedback erlernt“, sagt Carsten Könneker, Chefredakteur von „Spektrum der Wissenschaft“, der die Erhebung der Daten veranlasst hat.

Angesichts der Rückmeldungen erstaunt die andere Seite der Medaille: „Tatsächlich ist es meist ziemlich schwer, genügend Teilnehmer zusammenzubekommen“, berichtet Peters, der seit über 15 Jahren am Forschungszentrum Jülich Medientrainings für jeweils 14 Wissenschaftler organisiert. Er ist sich aufgrund des Erfahrungsaustausches innerhalb des „European Science Communication Network“ sicher, dass dieses Problem auch andere Ausrichter in Europa haben. An Universitäten sind Veranstaltungen zur Wissenschaftskommunikation für Studierende naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Fächer derzeit noch rar (siehe Tabelle „Beispielhafte Lehrangebote von Hochschulen“).

Auf der Suche nach Erklärungen für die mangelnde Nachfrage stach Sozialwissenschaftler Peters ein spezieller Befund sei-

ner Befragungen ins Auge: „Viele Forscher sind von ihren kommunikativen Kompetenzen durchaus überzeugt“, sagt er. Mit anderen Worten: Gerade etablierte Wissenschaftler denken – anders als manche Nachwuchsforscher –, sie kämen ohne die Trainingskurse aus. Beatrice Dernbach, die an der Hochschule Bremen für das Masterstudium Wissenschaftskommunikation verantwortlich ist, hat ähnliche Erfah-



Foto: D. Aussenhofer/WFD

rungen gemacht: „Den Spruch ‚Kommunikation kann jeder‘ habe ich von Wissenschaftlern schon häufig gehört.“ Dass diese Auffassung es nicht gerade fördert, an Universitäten entsprechende Kurse einzurichten, liegt auf der Hand. Schließlich sind die Studienpläne ohnehin mit fachlichen Inhalten vollgestopft.

Eva-Maria Streier, Pressesprecherin der DFG, hält einen anderen Aspekt für entscheidend: „Für Nachwuchswissenschaftler gerade in der Lebensphase zwischen 30 und 40 zählen bislang nahezu ausschließlich die erhaltenen Forschungsergebnisse und deren Publikation in hochrangigen Fachzeitschriften, wenn es darum geht, eine Dauerstelle oder eine Berufung zu bekommen.“ Erst im weiteren Verlauf der Karriere werden Eigenschaften wie die Kommunikationsfähigkeit bedeutsam.

Wenn die Faszination auch die Jüngsten packt, haben die Wissenschaftler eines ihrer Ziele erreicht.

Ähnliches sagt auch Molekularbiologe Helmut Jungwirth, der an der Karl-Franzens-Universität Graz ein für Laien offenes Labor eingerichtet hat: „Wenn Sie es als Nachwuchswissenschaftler schaffen, einen Artikel in „Science“ oder „Nature“ zu veröffentlichen, dann haben Sie es geschafft. Über unsere Aktivitäten wird dagegen in der Tageszeitung berichtet – ein Medium, das in Wissenschaftskreisen nichts zur Reputation beiträgt.“ Das wissenschaftliche Wertesystem beeinflusst auch noch auf eher indirekte Weise, wie viel Mühe junge Forscher darauf verwenden, ihre Kommunikationskompetenz zu stärken. So berichten Doktoranden, dass sie zögern, über wissenschaftliche Inhalte im Internet allgemeinverständlich zu bloggen. Der Grund: Ihr Doktorvater könnte vermuten, sie würden darüber ihre Forschung vernachlässigen.

Dennoch ist für viele Experten klar, dass sich die Einstellung der Wissenschaft zur Kommunikation in den vergangenen zehn Jahren nicht zuletzt durch die Initiativen PUSH und „Wissenschaft im Dialog“ bereits stark gewandelt hat – und dass es einfach Zeit braucht, um die wissenschaftsinternen Prozesse zu reformieren. Förderer und Forschungsinstitutionen geben dabei die Richtung vor, denn ihre Erwartungen an die kommunikativen Fähigkeiten steigen. Eva-Maria Streier etwa, die als DFG-Sprecherin Deutschlands wichtigste Organisation der Wissenschaftsförderung vertritt, berichtet: „Insbesondere die ausländischen Fachgutachter waren sehr angetan, wenn in Förderanträgen zur Exzellenzinitiative auch Aktivitäten zur Wissenschaftskommunikation dokumentiert waren.“

Laut Streier würde die DFG es unterstützen, wenn die Kommunikation mit der Öffentlichkeit nun auch stärker in die universitäre Ausbildung von Wissenschaftlern einbezogen würde. Tatsächlich scheinen immer mehr Hochschulen die Zeichen der Zeit erkannt zu haben. So hat Beatrice Dernbach ein Wahlpflichtmodul „Wissenschaftskommunikation“ für Studierende der Naturwissenschaften konzipiert und ist zuversichtlich, dieses im nächsten Jahr an der Hochschule Bremen umsetzen zu können. An der Universität des Saarlandes werden bereits ab diesem Wintersemester Studierende der Natur- und Ingenieurwissenschaften mit dem Zertifikat „Wissen und Kommunikation“ eine Zusatzqualifikation erwerben können.

FAKULTÄT FÜR VERSTÄNDIGUNG

Auch für Doktoranden entstehen immer neue Angebote zum Thema Wissenschaftskommunikation, etwa am Centre for Biological Signalling Studies an der Universität Freiburg oder auch am Food Security Center der Universität Hohenheim. Das wohl ambitionierteste Gesamtkonzept verfolgt eine österreichische Hochschule: An der Karl-Franzens-Universität Graz baut ein Team um Helmut Jungwirth gerade ergänzend zu den sechs bestehenden Fakultäten „die 7. fakultät“ auf, die als Zentrum für Gesellschaft, Wissen und Kommunikation die universitäre Forschung einer breiten Öffentlichkeit näherbringen soll. Schon seit 2009 können Studierende der Biologie und anderer Naturwissenschaften in Graz Veranstaltungen zum Thema Wissenschaftskommunikation besuchen. Dass der intensive Kontakt mit der Öffentlichkeit sogar die eigene Forschungsleistung beflügeln kann, weiß der Profi Gerold



Foto: T. Vankarn

Der Bremer Meeresforscher Gerold Wefer betreibt intensive Öffentlichkeitsarbeit für die Wissenschaft und erhielt bereits vor zehn Jahren den Communicator-Preis.

Wefer aus eigener Erfahrung: „Indem ich Laien erklärt habe, was ich beruflich tue und wofür es wichtig ist, habe ich gelernt, mich in meiner Forschung nicht zu verzetteln und mich auf die wichtigen Aufgaben zu besinnen.“

IMPRESSUM

Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft
Eine Sonderpublikation von bild der wissenschaft in Zusammenarbeit mit der Klaus Tschira Stiftung

ERSCHEINUNGSTERMIN: Oktober 2011
HERAUSGEBERIN: Katja Kohlhammer
VERLAG: Konradin Medien GmbH
Ernst-Mey-Straße 8, 70771 Leinfelden-Echterdingen

CHEFREDAKTEUR: Wolfgang Hess
PROJEKTLEITUNG: Cornelia Varwig
GRAFISCHE GESTALTUNG: Peter Kotzur
BILDREDAKTION: Ruth Rehbock
SCHLUSSREDAKTION: Dr. Ilka Lehnen-Beyel
REDAKTION KLAUS TSCHIRA STIFTUNG: Renate Ries
VERTRIEB: Kosta Poullos
DRUCK: Konradin Druck GmbH
Kohlhammerstr. 1-15, 70771 Leinfelden-Echterdingen

Weitere Exemplare der Sonderpublikation können Sie anfordern bei:

Klaus Tschira Stiftung gGmbH
Villa Bosch, Schloss-Wolfsbrunnengasse 33
69118 Heidelberg
www.klaus-tschira-preis.info

MÜSSEN WIR UNS NOCH BEWEGEN?

DR. BRITTA LOREY

1981 geboren in Gelnhausen
 2001 Abitur
 2001 bis 2007 Studium der Psychologie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen
 2007 Diplom in Psychologie
 2007 bis 2010 Doktorandin am Institut für Sportwissenschaft an der Universität in Gießen
 15.4.2010 Promotion zum Dr. rer. nat.
 seit 2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Sportwissenschaft an der Universität in Gießen
 Infos: www.uni-giessen.de/cms/fbz/fbo6/sport/bereiche/psychobew/teampsycho/lorey
britta.lorey@sport.uni-giessen.de



Britta Lorey macht gerne Krafttraining. Doch man kann seine Muskeln auch ohne schweißtreibendes Hantelstemmen stärken. Was dabei im Gehirn passiert, hat die Forscherin herausgefunden.

Mittels mentaler Kräfte die Körperkraft steigern – ein Traum nicht nur für Sportler. Warum mentales Training wirkt und wie ähnlich die bloße Vorstellung vom Handeln dem Handeln selbst ist, ist eine zentrale Forschungsfrage der Abteilung für Sportpsychologie und Bewegungswissenschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen.

VON BRITTA LOREY

LEHNEN SIE SICH ZURÜCK, nehmen Sie eine entspannte Körperhaltung ein und stellen Sie sich vor, Sie würden nun ein Gewicht mit Ihrem rechten Arm anheben und wieder absenken. Wiederholen Sie diese Vorstellung dreimal! Glauben Sie, dass Sie Ihrer Muskulatur mit dieser gedachten Übung zu mehr Kraft verholfen haben? Kein Schwitzen, keine horrenden Mitgliedsbeiträge im Fitnessstempel – ganz einfach im Sessel zurücklehnen, eine

entspannte Haltung einnehmen, Gehirn an und los geht das interne Fitnessprogramm.

„Die Vorstellung von Bewegungen des Körpers ist eine Form des mentalen Trainings und wird von Sportlern, aber auch von Patienten im Bereich der neurologischen Rehabilitation immer häufiger angewendet“, so Britta Lorey, promovierte Psychologin im Arbeitsbereich Sportpsychologie und

Bewegungswissenschaften der Universität Gießen. Mit diesen Techniken kann sowohl das Erlernen und Ausführen neuer Bewegungen als auch das Wiedererlernen von Bewegungen maßgeblich unterstützt werden. Allgemein werden in der Praxis Bewegungsvorstellungen so instruiert, dass der Trainierende auch in seiner Vorstellung der Handelnde ist. Während einer gelungenen Bewegungsvorstellung wird damit im Geiste das nachempfunden, was man auch

bei der Ausführung einer Bewegung fühlen würde. „Wenn das gelingt“, so Lorey, „sprechen wir von einer lebendigen Bewegungsvorstellung.“

Fotos: K. Schöne für bfw

Die Erforschung menschlicher Vorstellungswelten nahm in den letzten zehn Jahren in zahlreichen Wissenschaftsdisziplinen an Fahrt auf. Für die Frage nach dem Mechanismus von Bewegungsvorstellungen interessieren sich neben Sportwissenschaftlern

auch Neurowissenschaftler, Neurologen und anwendungsorientierte Berufsgruppen wie Physiotherapeuten. Sportpsychologen erforschen beispielsweise, ob das alleinige Vorstellen einer Bewegung zu einer verbesserten Bewegungstechnik führt. Ob Patienten in der neurologischen Rehabilitation durch den Einsatz von Bewegungsvorstellungen schneller eine Lähmung überwinden können, ist für Physiotherapeuten bedeutsam. Betrachtet man vor diesem

Hintergrund die Ergebnisse des vergangenen Jahrzehnts, so gibt es mittlerweile zahlreiche Hinweise darauf, dass sowohl Sportler als auch Patienten vom mentalen Trainieren einer Bewegung im wirklichen Leben profitieren können.

Doch warum funktioniert das? Was passiert im Gehirn, wenn wir uns eine Bewegung vorstellen? Und warum werden wir durch Bewegungsvorstellungen auch in



MOTIVIERT DURCH DIE ALPEN

Britta Lorey im bdw-Gespräch

Treiben Sie gerne Sport?

Ja, meistens gehe ich laufen, fahre Rennrad oder Mountainbike oder mache Krafttraining. Ich spiele aber auch gern mal Fußball.

Haben Sie das mentale Training selbst schon ausprobiert?

Ja, allein um zu testen, ob das, was wir den Probanden abverlangen, durchführbar ist. Zur sportlichen Leistungsoptimierung habe ich mentales Training einmal zur Motivation eingesetzt und zwar bei der Transalp, einem Sieben-Tage-Rennen durch die Alpen mit dem Rennrad.

Sie haben neben dem Studium eine Weiterbildung zur Psychotherapeutin gemacht. Wo sehen Sie Ihre Zukunft: In der Therapie oder der Wissenschaft?

Das ist eine gute Frage. Beide Berufsfelder haben ihren Reiz. Und ich empfinde die Abwechslung, die durch beide Tätigkeiten gegeben ist, als belebend und motivierend.

Welche Erfolge erhoffen Sie sich vom Einsatz Ihrer Erkenntnisse?

Das Wissen lässt sich sowohl in der Sportpsychologie als auch in der Neuro-Rehabilitation einsetzen – mit guten Effekten. In der Reha kann man allein durch die Vorstellung von Bewegungen den Regenerationsprozess fördern, etwa nach einem Schlaganfall. Patienten profitieren vor allem dann, wenn sie noch gar nicht aktiv trainieren können. Sportlern nützt das mentale Training bei der Verbesserung ihrer Technik.

Will man nach einer Kaffeetasse greifen, ohne sie umzustößen, braucht man eine genaue räumliche Vorstellung.

der Ausführung einer Bewegung besser? Das sind die Fragen, mit denen die Gießener Psychologin an ihre Forschung herantritt. Eine Möglichkeit, dem auf den Grund zu gehen und das menschliche Denkgorgan bei der Arbeit zu beobachten, ist die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Dabei liegen die Probanden während der Messung in einem Magnetfeld, das mit einer Stärke von 1,5 bis 3 Tesla das Erdmagnetfeld um das 40 000-Fache übersteigt. In diesem starken Feld kann über den Blutfluss im Gehirn ermittelt werden, welche Gebiete des Hirns für eine Aufgabe besonders beansprucht werden. Der Sauerstoffanteil des Bluts in den beteiligten Gebieten ändert sich nämlich und wirkt so auf das Magnetfeld. Das wird gemessen.

„Um herauszufinden, was unser Gehirn tut, wenn wir uns unterschiedliche Bewegungen vorstellen und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede Bewegungsausführung und -vorstellung auf neuronaler Ebene aufweisen, haben wir in

zwei Experimenten insgesamt mehr als 50 Personen in den Tomographen gelegt. Alle Probanden wurden während der Messung instruiert, sich unterschiedliche Handbewegungen vorzustellen. Da die Messungen bis zu einer Stunde dauerten, haben wir den Probanden damit nicht wenig abverlangt“, erklärt Lorey. Doch dieser Aufwand hat sich offensichtlich gelohnt, denn sie hat Bemerkenswertes herausgefunden. So konnte sie dokumentieren, dass während der Bewegungsvorstellung ähnliche Regionen im Gehirn aktiv sind wie bei der wirklichen Bewegungsausführung.

SCHWIMMTRAINING IM LIEGEN

„Wir sehen im Gehirn ein Aktivierungsmuster, das dem Muster während einer realen Bewegung ähnlich ist. Vergleichbare Erkenntnisse in anderen Zusammenhängen sind in der Forschungsliteratur bereits gut belegt“, erklärt Lorey. Was jedoch insbesondere durch die Gießener Arbeiten aufgedeckt wurde, ist die Tatsache, dass Bewegungsvorstellungen keine rein gedanklichen Phänomene sind, wie man früher häufig annahm, sondern vielmehr körperlich verankerte Denkprozesse darstellen. Man nennt dieses Phänomen „Embodied Cognition“. Vor diesem Hintergrund

Mentales Training allein genügt nicht. Damit das Gehirn die Bewegungen abrufen kann, muss man sie regelmäßig ausführen.



Versuchsteilnehmer haben sich verschiedene Handbewegungen vorgestellt: kraftbetonte, rhythmische und präzise. Lorey zeigt, dass dabei ähnliche Hirnregionen aktiv waren wie bei echter Bewegung.



haben die Arbeiten Loreys gezeigt, dass beispielsweise die aktuelle Körperposition den Vorstellungsprozess und die zugrunde liegende Gehirnaktivität beeinflusst. Passt nämlich die Körperposition zur vorgestellten Bewegung, findet sich ein erhöhtes neuronales Signal im Schläfenlappen, einer Gehirnregion, die an der Verarbeitung von Körperinformationen beteiligt ist. Die Forscherin schloss daraus, dass eine solche Passung zwischen Körperposition und Vorstellungsinhalt den Vorstellungsprozess erleichtert und lebendiger macht und damit den Trainingserfolg durch mentales Training erhöhen kann. „Wir würden einem Sportler unseren Ergebnissen zufolge empfehlen, während des mentalen Trainierens einer Bewegung eine dazu passende Position einzunehmen. Ein Schwimmer beispielsweise sollte im Liegen trainieren, ein Skifahrer in einer leicht vornübergebeugten Haltung.“

Nachdem diese Ergebnisse auf den Gießener Schreibtischen lagen, wollte Lorey nun herausfinden, wie weit die Ähnlichkeit von Vorstellung und Ausführung einer Bewegung tatsächlich reicht. Betrachten wir eine menschliche Bewegung, wie zum Beispiel das Greifen nach einer Tasse Kaffee am Frühstückstisch. Man kann diese Bewegung nur erfolgreich ausführen, wenn man neben der Position des Körpers, insbesondere des Arms, auch die räumliche

Lage der Tasse in die Bewegungsplanung einbezieht. Um die Tasse nicht umzustößen, muss man also auch räumlich genau sein. Vor diesem Hintergrund stellte die Psychologin die Frage, wie es sich mit solchen räumlichen Genauigkeitsanforderungen bei der Bewegungsvorstellung verhält, wiegt doch der vorgestellte Kaffeefleck auf der weißen Tischdecke weit weniger schlimm als der tatsächliche. „Unser zweites Experiment zeigte, dass unser Gehirn auch während der Vorstellung auf die Genauigkeit einer Bewegung Wert legt. Denn lässt man Probanden sich vorstellen, auf unterschiedlich große Quadrate im Raum zu zeigen, so steigt die neuronale Aktivierung des Kleinhirns dann an, wenn das Quadrat kleiner wird, wir also genauer werden müssen. Das Kleinhirn ist auch bei der Bewegungsausführung für die Genauigkeit der Bewegung zuständig.“

DAS GEHIRN SIMULIERT

Loreys Ergebnisse machen deutlich, dass unser Gehirn während der Vorstellung in einem Simulationsmodus arbeitet, der sehr exakt ist und dazu motorische Kenngrößen, wie etwa die Körperposition und relevante Umweltinformationen, in die Verarbeitung mit einschließt. Dieser Prozess ist dem der realen Bewegungsausführung ähnlich. Im Simulationsmodus werden also die gleichen neuronalen Datenstraßen genutzt wie

bei der Bewegungsausführung, wodurch sich auch der Effekt mentalen Trainierens erklären lässt. „Doch benötigt dieser Simulationsmodus regelmäßige Updates durch die Ausführung von Bewegungen, damit die neuronalen Straßen befahrbar bleiben“, gibt Lorey zu bedenken. Würden wir uns nämlich nicht mehr aktiv bewegen, so können die Repräsentationen von Körper und Umwelt, die auch Grundlage unserer Vorstellungen sind, verblassen. „Die Ergebnisse dieser beiden Vorstellungsexperimente haben gezeigt, wie menschliche Vorstellung funktioniert und wie unser Gehirn mit den Repräsentationen unserer Umwelt und unseres Körpers arbeitet. Das ist ein faszinierender Prozess“, schwärmt Lorey.

Und wie verhält es sich nun mit der Steigerung der Muskelkraft durch mentales Training, unserem Beispiel zu Beginn des Artikels? Dazu die Psychologin: „Die Erfolge mentalen Trainierens sind belegt, das heißt, man kann auch hierdurch Kraftgewinne durch verbesserte neuronale Ansteuerung der Muskulatur erzielen. Damit sind Teile des körperlichen Trainings also ohne Wirkungsverlust durch mentales Trainieren ersetzbar. Ist aber unser Ziel nicht die Kraftsteigerung, sondern ein schön geformter Körper, dann ist der Weg an die Gewichte immer noch unumgänglich. Ohne Schweiß nur den halben Preis!“

OHREN UNTER STROM

Das Ticken einer Armbanduhr, ein Gespräch mit dem Nachbarn, eine Symphonie von Mahler – unser Gehör ist ein Universalwerkzeug bei der Wahrnehmung von Schall. Elektrische Signale sind dabei nicht nur Transportmittel für Klänge jeglicher Art im Innenohr, sondern können auch dabei helfen, Menschen nach Ertaubung ihr Gehör zurückzugeben.

VON ALEXANDER MEYER

HANNA LIEBT GERÄUSCHE. Es macht ihr sichtlich Spaß, auf dem bunten Kinderxylofon vor ihr herumzutrommeln, bevor sie es mit einem Schwung vom Tisch fegt und sich diebisch über den Krach beim Aufprall freut. Auch zu Hause, so berichtet ihre Mutter mir, lauscht sie oft dem Gezwitscher der Vögel vor ihrem Fenster. Und wenn es klingelt, ist sie immer als Erste an der Wohnungstür. Nichts Ungewöhnliches für eine Zweieinhalbjährige, sollte man meinen. Doch Hanna ist seit der Geburt taub. Die Ursache ist vermutlich eine erblich bedingte Erkrankung ihres Innenohrs.

Sie sitzt mit ihrer Mutter heute in meiner Sprechstunde an der HNO-Klinik der Universität Göttingen. Es ist eine Routinekontrolle, nachdem wir Hanna vor eineinhalb Jahren mit einem sogenannten Cochlea-Implantat (CI) versorgt haben. Ein CI wird ähnlich einem Hörgerät getragen. Es empfängt und verarbeitet Schall und gibt die akustischen Informationen über Elektroden, die operativ im Innenohr platziert wurden, an den Hörnerv weiter. Ist dieser gesund, wie bei Hanna, entsteht so ein Höreindruck. Durch eine ausgeklügelte Signalverarbeitung in dem Gerät erreichen die meisten CI-Träger nach entsprechendem Training ein Sprachverständnis, mit dem sie im Alltag gut zurechtkommen. Nicht wenige können sogar telefonieren.

So wie Herr H., den wir vor zwei Jahren operierten, nachdem mehrere Hörstürze den 63-Jährigen ertauben ließen. Er meint: „Sprache klingt mit dem CI zwar etwas metallisch, aber ich verstehe wieder recht gut. Musik ist jedoch eine Katastrophe!“ Wie Herr H. empfinden viele CI-Patienten. Doch woran liegt das?

SCHWINGUNG IN DER WENDELSTREPE

Um zu erklären, was im Innenohr von CI-Trägern abläuft, muss man zunächst verstehen, wie ein gesundes Ohr hört. Eine zentrale Rolle spielt das Innenohr, genauer gesagt die Cochlea. Sie besitzt die Form einer Wendeltreppe, deren Stufen nach oben hin schmaler werden. Schall versetzt die Basilarmembran, die wie die Stufen der Treppe die zentrale Säule mit der äußeren Wand verbindet, in Schwingungen. Durch den besonderen Aufbau der Cochlea regt ein Ton einer bestimmten Tonhöhe nur einen kleinen Abschnitt der Basilarmembran an. Bei hohen Tönen liegt dieser am Fuß, bei tiefen an der Spitze der Cochlea. Jeder Stelle lässt sich damit eine bestimmte Frequenz zuordnen. Auf der Basilarmembran liegt das sogenannte Cortische Organ, in welchem sich unter anderem die inneren Haarzellen befinden. Diese besonderen Zellen sind für die Umwandlung von Schall in Nervenimpulse zuständig. Sie leisten dies, indem sie die Schwingungen

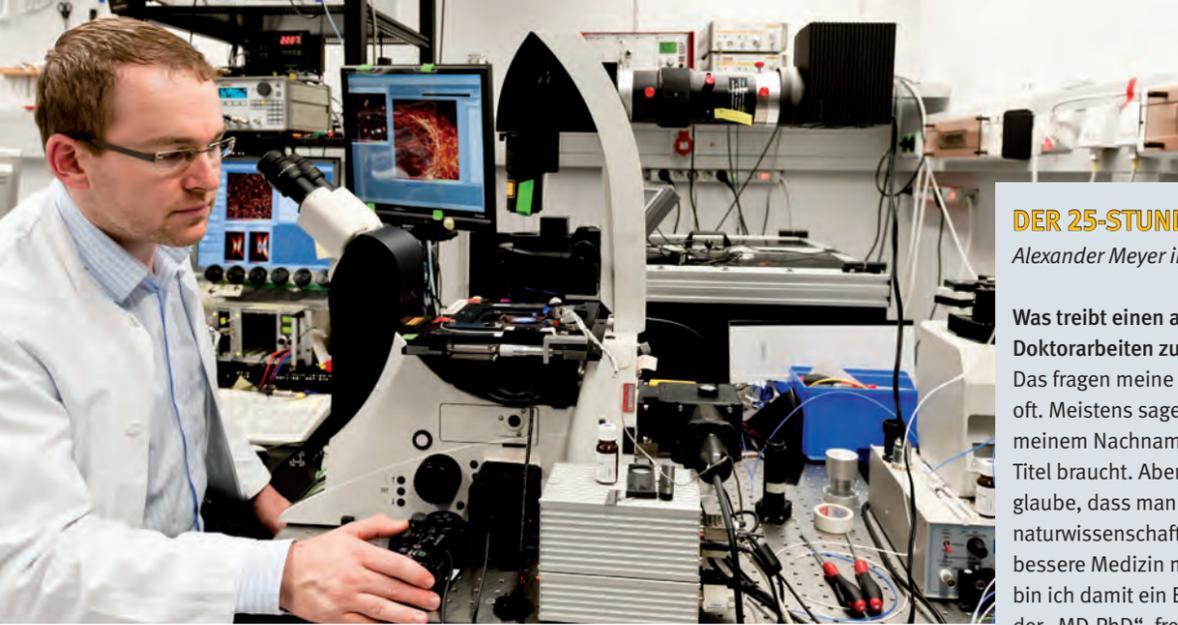
Fotos: S. Kröger für baw

Tickt die noch richtig? Alexander Meyer lauscht dem leisen Geräusch seiner Armbanduhr. Mit seinen gesunden Ohren ist das kein Problem. Im schalltoten Raum geht es umso besser.



DR. DR. ALEXANDER MEYER

1975 geboren in Osnabrück
 1994 Abitur
 1994 bis 1996 Studium der Physik an der Universität Osnabrück
 1996 bis 1999 Studium der Physik an der Georg-August-Universität Göttingen
 1999 Diplom in Physik
 1998 bis 2005 Studium der Medizin an der Universität Göttingen
 2001 bis 2003 Doktorand der Physik am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen
 20.1.2004 Promotion zum Dr. rer. nat.
 2005 bis 2010 Assistenzarzt und Doktorand der Medizin an der HNO-Klinik der Universität Göttingen
 19.1.2011 Promotion zum Dr. med.
 seit 2011 Facharzt für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde an der HNO-Klinik in Göttingen
 Infos: www.innerearlab.uni-goettingen.de
alexander.meyer@medizin.uni-goettingen.de



DER 25-STUNDEN-TAG

Alexander Meyer im bdw-Gespräch

Was treibt einen an, gleich zwei Doktorarbeiten zu schreiben?

Das fragen meine Patienten auch oft. Meistens sage ich, dass man mit meinem Nachnamen etwas mehr Titel braucht. Aber Spaß beiseite. Ich glaube, dass man als Arzt mit einem naturwissenschaftlichen Hintergrund die bessere Medizin macht. In Deutschland bin ich damit ein Exot. In den USA ist der „MD-PhD“, frei übersetzt „ärztliche Wissenschaftler“, weitverbreitet.

Hatten Sie überhaupt noch Zeit für andere Dinge?

Klar gab es stressige Phasen, gerade vor Prüfungen. Aber dazwischen hatte ich immer Zeit zum Reisen, Fotografieren, Segeln oder Kochen. Erst seit 2009 meine Tochter auf die Welt kam, habe ich weniger Zeit für meine Hobbys und wünsche mir regelmäßig Tage mit 25 Stunden.

Hören Sie bewusster Musik, weil Sie häufig erleben, dass anderen Menschen dieser Genuss verwehrt bleibt?

Ich liebe Musik – meistens liegt bei mir Klassik im CD-Player. Ich denke in der Tat häufiger daran, wie wenig beispielsweise vom Klanguniversum einer Mahler-Symphonie für einen hochgradig Schwerhörigen übrig bleibt. Allerdings stört diese Menschen meist nicht so sehr der Verlust der Musik. Das eigentliche Problem ist, dass sie sich kaum normal unterhalten können und häufig sozial ziemlich isoliert leben.

sen sind einfach zu klein, um sie mit dem Lichtmikroskop zu untersuchen. Der Physiker Ernst Abbe hatte es bereits 1873 auf den Punkt gebracht: Das Auflösungsvermögen eines Mikroskops besitzt eine physikalische Grenze, die durch die Beugung des Lichts bedingt ist. Diese Grenze liegt für sichtbares Licht etwa bei 200 Nanometern, was etwa der Größe einer Synapse entspricht.

Ich sprach über das Problem unter anderem mit Alexander Egner vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie. Egner

Im STED-Mikroskop, das die Auflösungsgrenze herkömmlicher Lichtmikroskope deutlich unterschreitet, schaut sich Meyer Synapsen an. Mit dem Controller in der Hand kann er die Präparate exakt justieren.

mit feinen Härchen an ihrer Spitze aufnehmen und in Spannungsänderungen über ihre Zellmembran umsetzen. Diese Spannungsänderungen führen an den Synapsen an ihrem Boden zur Freisetzung eines Neurotransmitters, der wiederum die Impulse in den Fasern des Hörnervs auslöst.

Das menschliche Gehör ist nicht für alle Tonhöhen gleich empfindlich. Damit wir sie überhaupt wahrnehmen, müssen sehr tiefe und sehr hohe Töne deutlich lauter sein als solche mit mittlerer Frequenz. Was unterscheidet nun die inneren Haarzellen in der empfindlichen Mitte der Cochlea von jenen an deren Anfang und Ende? Dies ist die erste Frage, der ich mich in meiner Dissertation gewidmet habe. Als Stellvertreter für die menschliche Cochlea habe ich dabei die der Maus gewählt. Beide sind sich in ihrem Aufbau sehr ähnlich. Zu Beginn der Studie war bereits bekannt, dass eine Synapse der inneren Haarzellen genau eine Faser des Hörnervs stimuliert. Nicht bekannt war jedoch, wie viele Nervenfasern eigentlich eine einzelne innere Haarzelle versorgen und wie viele Synapsen diese besitzt.

Die Bausteine von Synapsen lassen sich mithilfe von fluoreszierenden Antikörpern markieren. Wählt man Bausteine, die nur an den Synapsen der inneren Haarzellen vorkommen, fällt es leicht, diese unter dem Fluoreszenz-Mikroskop zu identifizieren und auszuzählen. Dies habe ich für die knapp 8000 inneren Haarzellen der Maus-Cochlea getan und dabei gleichzeitig

jeweils deren genaue Position auf der Basalmembran vermessen. So war es möglich, eine genaue Karte der Innervationsdichte in Abhängigkeit von der Tonhöhe zu erstellen. Überraschenderweise besitzen Haarzellen in der Mitte der Cochlea mit etwa 20 Synapsen mehr als doppelt so viele wie jene am Ende. Die Dichte der Nervenfasern korreliert dabei sehr genau mit der Hörschwelle bei der entsprechenden Tonhöhe. Es ist offenbar für die Funktion des Gehörs günstig, bestimmten Frequenzbereichen mehr Fasern zuzuordnen. Möglicherweise lässt sich so für besonders wichtige Tonhöhen die Genauigkeit der Hörwahrnehmung steigern. Beim Menschen beispielsweise entspricht der Bereich des besten Hörens in etwa der Tonhöhe von Sprache. Gleichzeitig wird klar, aus welchem Grund heutige Cochlea-Implantate dem Hörer keinen Musikgenuss bescheren können: Ein Elektrodenträger verfügt lediglich über 12 bis 22 Kontakte. Mit diesen kann ein CI in Sachen Frequenzauflösung im Vergleich zu den mehreren Tausend Haarzellen des gesunden Ohres nicht mithalten. Und gerade die Musik lebt, viel mehr noch als die Sprache, von den feinen Nuancen in der Tonhöhe.

ZU KLEIN FÜRS LICHTMIKROSKOP

Aus diesen Ergebnissen folgte die nächste Frage: Wenn die Nervenverbindungen an verschiedenen Stellen der Cochlea auf deren jeweilige Empfindlichkeit hin optimiert sind, trifft dies auch auf die Synapsen zu? Will man diese Frage beantworten, so wird ein gravierendes Problem deutlich: Synap-

ist Mitarbeiter der Abteilung Nanobiophotonik, die sich mit der Entwicklung neuer Fluoreszenz-mikroskopischer Techniken beschäftigt. Seine Lösung war einfach: „Dann müssen wir halt die Physik ändern!“ Er spielte damit, wie ich weiter erfuhr, auf ein neuartiges Mikroskopie-Prinzip namens STED an. Mit dieser Technik lässt sich unter optimalen Bedingungen die Auflösungsgrenze auf bis zu 30 Nanometer drücken. Wie kann nun das Abbe'sche Gesetz ausgehebelt werden?

Bei der herkömmlichen Fluoreszenz-Mikroskopie werden Farbstoffe meist mit Laserlicht angeregt und senden anschließend Fluoreszenzlicht einer bestimmten Farbe aus. STED steht nun für „STimulated Emission Depletion“ und bedeutet, dass ein einmal angeregtes Farbstoffmolekül durch Licht einer anderen Wellenlänge wieder abgeregt werden kann, ohne das typische Fluoreszenzlicht abzustrahlen. Ein STED-Mikroskop besitzt nun zwei Laser: einen zur Anregung sowie einen zur Abregung. Letzterer wird dabei durch einen optischen Trick so fokussiert, dass er keinen

scharfen Punkt, sondern einen Ring bildet. Legt man beide Laserpunkte in der zu untersuchenden Probe übereinander, werden nahezu alle Farbstoffmoleküle im Fokus sofort nach ihrer Anregung auch wieder abgeregt. Nur in dem sehr kleinen Zentrum des Rings verbleiben Moleküle, die Fluoreszenzlicht aussenden und so zu der Abbildung mit hoher Auflösung beitragen. Die Größe der Ringmitte lässt sich über die Helligkeit des STED-Lasers regeln und – zumindest theoretisch – beliebig verkleinern. Wir untersuchten mit dieser Technik mehrere Synapsenbausteine an verschiedenen Stellen der Cochlea. Dabei scheint es keine systematischen Unterschiede bei deren Struktur zwischen Abschnitten mit hoher und niedriger Empfindlichkeit zu geben. Alle Synapsen folgen offenbar einem einheitlichen Bauplan und werden je nach Bedarf in kleinerer oder größerer Zahl geformt.

Umso überraschter waren wir, als sich in weiteren Messungen zeigte, dass sich die Synapsen innerhalb einer einzigen Haarzelle in ihrer Funktion sehr unterscheiden können. Danach scheinen einzelne Kontak-

te bei einer bestimmten Lautstärke bereits maximal aktiv, während andere gerade erst beginnen, Transmitter auszuschütten. Das bedeutet, dass die etwa 10 bis 20 Nervenfasern, die zu einer inneren Haarzelle gehören, bei steigender Lautstärke nach und nach aktiviert werden. Auf diese Weise ist es wahrscheinlich möglich, bei niedrigen wie hohen Lautstärken selbst feine Intensitätsunterschiede an das Gehirn zu melden.

Ergeben sich nun für Hanna und ihre Mutter oder Herrn H. Konsequenzen aus den Ergebnissen meiner Arbeit? Auf kurze Sicht sicher nicht. Mittelfristig wird man jedoch versuchen, die Zahl der Kanäle in Cochlea-Implantaten zu steigern, um diesen eine bessere Frequenzauflösung zu geben. Dabei ist es sicher sinnvoll, die ungleiche Verteilung der Nervenfasern in der Cochlea zu berücksichtigen. Außerdem wird man vielleicht versuchen, die Nervenfasern nach dem Vorbild der Haarzelle mit zunehmender Lautstärke nach und nach zu aktivieren. Ob es gelingen wird, diese Konzepte in technische Lösungen umzusetzen? Ich bin gespannt. ■

Vielen Patienten mit einer Erkrankung des Innenohrs haben Ärzte dank eines Cochlea-Implantats wieder Gehör verschafft. Alexander Meyer war bereits an zahlreichen Operationen beteiligt.



BEI DER ABFALLENTSORGUNG ERWISCHT

Tuberkulose ist nach wie vor eines der tödlichsten Gesundheitsprobleme weltweit. Jahr für Jahr sterben fast zwei Millionen Menschen an dieser bakteriellen Infektionskrankheit, eine wirksame Therapie fehlt noch immer. Die Aufklärung eines bisher unbekanntes molekularen Abfallsystems des Erregers macht ihn nun angreifbar.

VON FRANK STRIEBEL

DEN MÜLL GELEGENLICH zum Abfallcontainer zu bringen, ist zwar eine lästige Pflicht, gehört aber zum Leben dazu. Sonst würde es in unserem Haushalt auf Dauer ziemlich ungemütlich werden. Ähnlich wie wir in unserem Alltag muss auch jede Zelle ihren Müll loswerden – egal ob simples Bakterium oder menschliche Zelle. Wie die Zellen des Menschen und anderer komplexer Lebewesen diese Abfallwirtschaft organisieren, wissen wir nach Jahrzehnten der Forschung ganz genau. Aaron Ciechanover, Avram Hershko und Irwin Rose wurden 2004 für diese Erkenntnisse mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt. Wie aber der Abfall in Bakterien entsorgt wird, darauf gab es bislang nur unzureichende wissenschaftliche Antworten. Mit dieser Arbeit gibt es sie, zumindest ist jetzt klar, wie der Tuberkulose-Erreger sein Abfallproblem löst. Das Besondere daran ist, dass sich die bakterielle von der menschlichen Abfallwirtschaft grundlegend unterscheidet – nicht im Resultat, wohl aber im Aufbau. Das kreierte Therapiemöglichkeiten in Hülle und Fülle: Wir können über einen Eingriff in die Müllentsorgung den Zellaushalt des Bakteriums durcheinanderbringen, während der Mensch dabei verschont bleibt. Tuberkulose ist damit noch lange nicht Geschichte, doch der Anfang ist gemacht.

Warum aber ist es so wichtig, dass jede Zelle ihren Abfall pünktlich und sauber entsorgt? Dafür muss zunächst erklärt

werden, welcher Müll vor allem anfällt. Es sind Eiweiße, auch Proteine genannt. Diese Moleküle haben das Kommando in der Zelle und führen die große Mehrheit der Prozesse aus. Mikroskopisch betrachtet sind viele Proteine kleine Maschinen, die die chemischen Prozesse des Lebens erst möglich machen, das heißt katalysieren. Diese zellulären Maschinen können durch den täglichen Gebrauch beschädigt werden. Dann wandern sie auf den Müll und werden ersetzt. Zusätzlich werden manchmal auch völlig intakte Proteine zielgerichtet entsorgt – nämlich dann, wenn sie ihren Dienst getan haben und damit überflüssig sind. Um ihren Protein-Müll loszuwerden, benutzt die menschliche Zelle eine Markierung. Diese Markierung wurde auf den Namen Ubiquitin getauft und ist selbst ein kleines Protein, das an die zu entsorgenden Proteine angeheftet wird. Ubiquitin ist, vereinfacht gesagt, eine molekulare Abfallmarke und signalisiert der Zelle, dass das markierte Protein zur Zerstörung freigegeben ist. Jetzt kommt eine Art molekularer Abfall-Schredder ins Spiel und zerlegt das mit der Abfallmarke versehene Protein in seine Einzelteile.

Natürlich drängte sich die Frage auf: Würden sich aus diesen Erkenntnissen über die menschliche Zelle Rückschlüsse auf das Abfallsystem von Bakterien herleiten lassen? Das erschien besonders deshalb schockierend relevant, weil es für eine der gefährlichsten bakteriellen Infektions-

Müllabfuhr der anderen Art: Frank Striebel hat ein Protein ausfindig gemacht, mit dem der Tuberkulose-Erreger Zellaushalt entsorgt. Es trägt die Abkürzung Pup.

Fotos: V. Steger für bfw

DR. FRANK STRIEBEL

1979 geboren in Ehingen/Donau
1999 Abitur
Zivildienst
2000 bis 2005 Studium der Biochemie an der Technischen Universität München (TUM)
2005 Master in Biochemie
2005 bis 2010 Doktorand am Institut für Molekularbiologie und Biophysik der ETH Zürich
11.2.2010 Promotion zum Dr. sc. nat.
seit 2011 Post-Doktorand am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München
Infos: www.mol.biol.ethz.ch/groups/weber_ban_group
FrankStriebel@web.de

krankheiten immer noch keine gut funktionierende Therapie gibt: die Tuberkulose. Allein 2009 ist Tuberkulose laut einer Schätzung der Weltgesundheitsorganisation WHO für den Tod von 1,7 Millionen Menschen verantwortlich, vor allem in den Entwicklungsländern Subsahara-Afrikas und Südasiens. Um neue Angriffspunkte für eine Therapie zu finden, schien es lohnenswert, die Abfallwirtschaft des Verursachers *Mycobacterium tuberculosis*

UNGEFÄHRICHE VERWANDTE

Frank Striebel im bdw-Gespräch

Warum haben Sie sich mit Ihrem biologischen Thema für den Klaus Tschira Preis für Chemie beworben?

Meine Doktorarbeit war klassische Biochemie. Ich dachte, dass ich mit dieser molekularen Geschichte in der Sparte Chemie besser aufgehoben bin.

War es gefährlich, mit Tuberkulose-Erregern zu arbeiten?

Für den Großteil der Studie arbeiteten wir mit isolierten Proteinen des Tuberkulose-Erregers (in vitro) und nicht mit dem ganzen Organismus (in vivo). Für die In-vivo-Arbeiten verwendeten wir einen ungefährlichen Verwandten des Erregers. Damit hielten sich die Sicherheitsmaßnahmen in Grenzen – keine Schleusen und kein Ganzkörperschutz.

Hatten Sie schon direkten Kontakt mit Tuberkulose-Patienten?

Nein, das war als Motivationshilfe aber auch nicht nötig. Den Mechanismus des bakteriellen Abfallsystems zu finden, war als treibende Kraft groß genug. Von der direkten Heilung von Krankheiten und der Anwendung neuer Ergebnisse ist man als Grundlagenforscher ja oft ein Stück entfernt. Das ist aber nicht schlimm, sondern sogar notwendig, um Neues entdecken zu können.

Sie sind gerade Vater von Zwillingen geworden. Hat das Ihre Sicht auf Arbeit und Leben verändert?

Schwer, das in zwei Sätze zu fassen. Nur soviel: Die Arbeit macht auch mit Augenringen Spaß!

genauer zu untersuchen. Mein Ziel: Ich wollte den Erreger damit im besten Fall da überraschen, wo er es am wenigsten erwarten würde, nämlich beim Müllwegbringen.

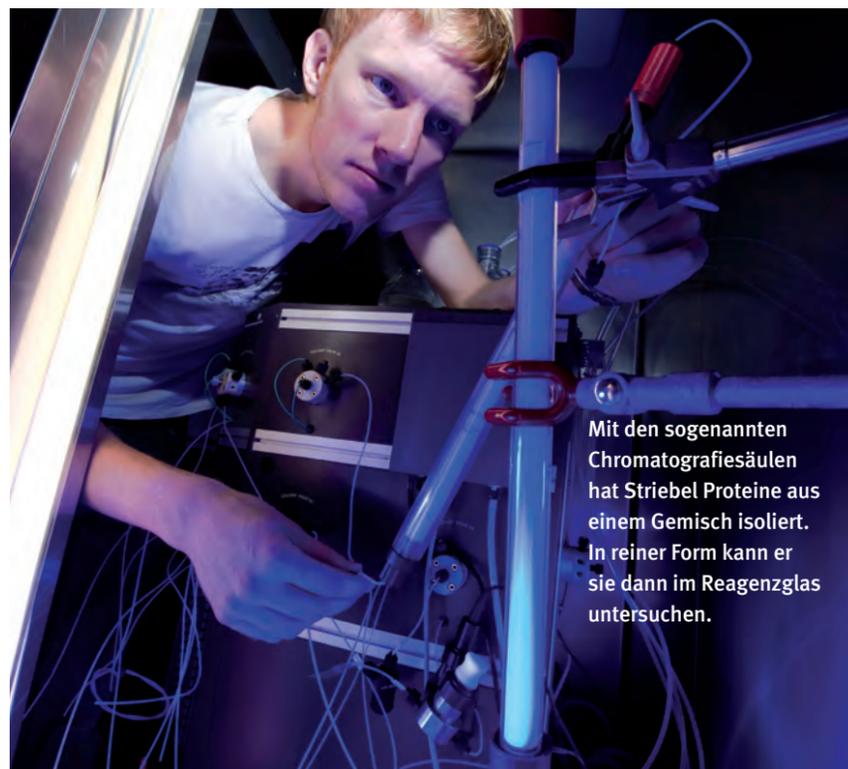
Die Ausgangslage zu Beginn meiner Promotion an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich bei Professor Eilika Weber-Ban war aber denkbar ungünstig. Denn die akzeptierte und vielfach gedruckte Lehrmeinung besagte, dass Bakterien kein dem menschlichen Ubiquitin ähnliches Abfallmarken-System besitzen. Organisiert der Tuberkulose-Erreger also seine Abfallwirtschaft völlig anders oder wurde das bakterielle Ubiquitin schlicht noch nicht entdeckt?

„MYST“ – DAS MYSTERIÖSE PROTEIN

Die Suche hatte begonnen. Als besonders glücklich erwies sich später, dass ich mich zunächst eines einfachen Tricks bediente. Ich schaute mir die Lage der Gene auf der Erbsubstanz DNA an. Jedes Gen kodiert in Bakterien den Bauplan für genau ein Protein. Die kleinen Einzeller haben dabei eine praktische Angewohnheit: Die Gene für Proteine, die funktionell etwas miteinander zu tun haben, liegen normalerweise direkt nebeneinander auf der DNA. Das systematische Durchforsten hatte sich gelohnt. In direkter Nachbarschaft zu den Genen für den molekularen Abfall-Schredder lag ein

Gen für ein kleines, bisher nicht erforschtes Protein. Hatte dieses kleine Protein etwas mit der Abfallwirtschaft des Tuberkulose-Erregers zu tun? Da wir noch nichts über seine Funktion wussten, taufen wir das neu entdeckte kleine Protein vorläufig „Myst“ – das mysteriöse Protein.

Als nächstes musste ein systematischer Forschungsansatz her, um mehr über die Funktionsweise von Myst im Tuberkulose-Erreger zu erfahren. Dazu ging ich erst einmal fischen – weniger im Sinne einer gemütlichen Freizeitbeschäftigung, sondern auf mikroskopischer Ebene. Myst wurde als Köder an eine Art molekulare Angel gehängt, um damit auf Jagd zu gehen. Die Idee dahinter: Falls Myst eine Abfallmarke war, könnte man mit dieser Methode die Proteine finden, die Myst an die zu entsorgenden Proteine heften. Bildlich gesprochen war ich auf der Suche nach der Person, die die Abfallmarke an den Müll kleben kann. Um das zu tun, muss sie den Köder (Myst) natürlich in die Hand nehmen, und genau dann musste ich die molekulare Angel einholen. Der Fang – eine Handvoll Proteine – war nicht üppig, aber interessant. Doch was er bedeutete, war keineswegs selbsterklärend. Denn wer mit einer hypothetischen Abfallmarke als Köder fischt, kann natürlich allerhand Abfall an Land ziehen. Das wäre dann der viel beschriebene kaputte Stiefel an der Angel.



Mit den sogenannten Chromatographiesäulen hat Striebel Proteine aus einem Gemisch isoliert. In reiner Form kann er sie dann im Reagenzglas untersuchen.



In der Petrischale gedeiht eine mykobakterielle Kultur, eine bestimmte Gattung von Bakterien, zu der auch der Tuberkulose-Erreger gehört. Die Gesundheit von Frank Striebel war während seiner Arbeit aber nicht in Gefahr.

Um den Fang genauer zu analysieren, isolierte ich die Proteine. Dazu muss man in die Trickkiste der Molekularbiologie greifen. Die Proteine werden produziert, gereinigt und dann in purer Form im Reagenzglas untersucht. In einem Experiment, in dem man Proteine mithilfe eines siebartigen Gels der Größe nach auftrennen und anfärben kann, wanderte ein Protein plötzlich langsamer als in der Kontrollreaktion. Das bedeutete, das Protein war größer geworden und bewegte sich deshalb schwerfälliger durch das Gel. Der Grund dafür war sensationell: Es war größer geworden, weil tatsächlich Myst daran angeheftet worden war! Da ich die Proteine unseres Fangs isoliert und in einer bestimmten Kombination zugegeben hatte, konnte ich zweifelsfrei nachweisen, welche Proteine an der Anheftung von Myst beteiligt waren.

Dieser Prozess läuft demnach in zwei Schritten ab: Der erste wird von einem bislang völlig unbekanntem Protein ausgeführt und verändert einen Baustein von Myst chemisch, eine Aminosäure. Erst dann kommt ein zweites Protein ins Spiel, das Myst über die modifizierte Aminosäure

an den Abfall heftet. Bildlich gesprochen haben wir es also mit zwei Personen zu tun, die die Abfallmarke Myst auf den Müll kleben: Die erste zieht die Marke von der Klebefläche, reicht sie weiter und die zweite Person klebt die Marke dann auf den Abfall. Aber war das auch ein Signal zum Abbau? Durch Zugabe des molekularen Schredders des Tuberkulose-Erregers konnte ich tatsächlich zeigen, dass das mit Myst markierte Protein in seine Einzelteile zerlegt wird.

GIFT FÜR BAKTERIEN, NICHT FÜR UNS

Die Resultate meiner Studie waren so unerwartet wie faszinierend: Sowohl im Menschen als auch im Tuberkulose-Erreger wird der zelluläre Abfall mit einer Markierung versehen und entsorgt. Doch fast alle an dieser Abfallwirtschaft beteiligten Proteine sind völlig verschieden zwischen uns und den Einzellern. Besonders die Anheftung von Myst an den Abfall folgte einer völlig unerwarteten Biochemie – deshalb blieb das bakterielle Abfallsystem auch über Jahrzehnte im Verborgenen. Die Unterschiede zwischen den Abfallsystemen bieten nun geradezu ideale Angriffspunkte für

die Entwicklung von Medikamenten gegen die Tuberkulose. Denn damit eine Substanz zum Medikament wird, muss sie giftig für das Bakterium sein, aber ungiftig für uns. Dieses universelle Prinzip der „selektiven Toxizität“ wurde schon vor über hundert Jahren von Paul Ehrlich formuliert. Erste Experimente zeigen, dass ein gestörtes Abfallsystem dem Tuberkulose-Erreger tatsächlich zusetzt. Die entsprechend manipulierten Bakterien sind in Mausexperimenten deutlich weniger infektiös. Bis ein Medikament entwickelt und zugelassen wird, werden wohl noch Jahrzehnte vergehen. Doch der Anfang ist gemacht und ein neues Forschungsfeld offengelegt.

Myst ist nicht mehr ganz so mysteriös und heißt mittlerweile abgekürzt Pup – für Prokaryotisches (das heißt bakterielles) Ubiquitin-ähnliches Protein. Der Name sagt dabei nicht die ganze Wahrheit: Pup ist zwar ebenso wie Ubiquitin eine Abfallmarke, doch ist die Abfallwirtschaft des Tuberkulose-Erregers ansonsten anders organisiert. In Zukunft werden Forscher das nutzen, um den Erreger beim Abfallentsorgen nicht nur zu erwischen, sondern zu überlisten. ■

ILLUSION DER PERFEKTEN KONTROLLE

„Wiederhole nie einen erfolgreich verlaufenen Versuch“ – bekannt als Fetts Laborgesetz – beschreibt auf sarkastische Art und Weise, was trauriger Wahrheit entspricht: Wissenschaftliche Ergebnisse lassen sich nur allzu oft nicht reproduzieren, was gerade in der tierexperimentellen Forschung erhebliche ethische Fragen aufwirft. Mit dem Ziel, Variation zu reduzieren und dadurch die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen zu verbessern, werden Tierversuche in der Regel unter hoch standardisierten Bedingungen durchgeführt. Doch kann Standardisierung überhaupt Reproduzierbarkeit garantieren?



VON HELENE RICHTER

Helene Richter hat das Wohl von Labortieren im Sinn und trägt mit ihrer Arbeit dazu bei, die Aussagekraft von Tierexperimenten zu verbessern.

DR. HELENE RICHTER

1982 geboren in Werther (Westfalen)
 2001 Abitur
 2001 bis 2007 Studium der Biologie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
 2007 Diplom in Biologie
 2007 bis 2010 Doktorandin in der Abteilung Verhaltensbiologie an der Universität Münster und an der Professur für Tierschutz und Ethologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen
 16.7.2010 Promotion zum Dr. rer. nat.
 bis Oktober 2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Tierschutz und Ethologie der Universität Gießen
 seit November 2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim
 Infos: www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb10/institute_klinikum/klinikum/tierschutz
helene.richter@zi-mannheim.de

22 GRAD CELSIUS, 55 Prozent Luftfeuchtigkeit. Durch einen schmalen Spalt fällt helles Licht in den sonst nur mit Rotlicht beleuchteten Raum. Vier fahrbare Regale aus Edelstahl sind entlang der Wände aufgestellt. In ihnen hängen dicht nebeneinander 96 Standardlaborkäfige der Größe II (26 mal 17 mal 14 Zentimeter). Bis auf das leise Surren des Luftbefeuchters und ein gelegentliches Scharrgeräusch ist es ganz still in diesem Raum. Der Boden ist klinisch rein – die Ausstattung karg. Kaum etwas deutet darauf hin, dass hier Tiere gehalten

werden. Und doch befinden sich in jedem Käfig je zwei weibliche Mäuse der Inzuchtlinie C57BL/6. In einer Mulde aus Einstreu sitzen sie dicht aneinandergedrängt. Ansonsten ist der Käfig leer – nur Wasser und Standardfutterpellets sind durch den Gitterdeckel zu erreichen.

Um Punkt 10 Uhr betritt der Experimentator den Raum. Es ist Zeit für den Open-Field-Test, einen Ängstlichkeitstest. Mit behandschuhten Fingern öffnet er einen Käfig und hebt eine Maus, den Schwanz zwischen

Daumen und Zeigefinger festhaltend, heraus. Alltag in einem Tierlabor. Was auf den ersten Blick absurd, vielleicht sogar erschreckend wirken mag, ist in Wirklichkeit gute oder vielmehr gängige Laborpraxis in der tierexperimentellen Forschung. Lehrbücher der Versuchstierkunde empfehlen ausdrücklich, Tierversuche unter derart standardisierten Bedingungen durchzuführen. Obwohl dies ursprünglich nur darauf abzielte, die Versuchsbedingungen zu kontrollieren, wird Standardisierung heute nahezu dogmatisch mit der strikten Ver-

einheitlichung der Versuchsbedingungen gleichgesetzt. Alter, Geschlecht, Genotyp, Geruchs- und Geräuschkulisse, Haltungs- und Testbedingungen: Alles wird mit nahezu pedantischer Sorgfalt vereinheitlicht. Und Ziel des Ganzen? Einerseits soll die Variation in einem Versuch reduziert und damit die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, einen Behandlungseffekt nachzuweisen. Und andererseits soll die Variation auch zwischen Versuchen reduziert werden, was schließlich die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse garantieren soll. Zugleich wird

Fotos: T. Wegner für bdw

das Standardisierungsdogma als ethisches Argument für die Reduktion von Versuchstieren eingesetzt. Die Idee hier: Je geringer die Variabilität in den Daten, desto weniger Tiere sind im Einzelversuch notwendig, um einen Effekt finden zu können. Doch ist ein nachgewiesener Behandlungseffekt auch automatisch aussagekräftig?

AUFRUHR IM LABOR

Ein Blick in die tierexperimentelle Literatur weckt Zweifel: Trotz Standardisierung werden immer wieder unterschiedliche, ja

sogar widersprüchliche Ergebnisse veröffentlicht. 1999 sorgten US-amerikanische Neurowissenschaftler für Aufruhr unter den Tierexperimentatoren, als sie das Verhalten von acht Mauslinien simultan in drei Labors untersuchten: Obwohl die Bedingungen rigoros standardisiert waren, fand das beteiligte Labor in Edmonton keinen Unterschied im Verhalten zwischen einer gentechnisch veränderten Knockout-Mauslinie und dem Wildtypstamm, während Portland von einer höheren Aktivität der Knockout-Linie auf dem „Elevated Plus



Wie oft und wie lange erkundet die Maus das neue Objekt? Mit dem Aufbau wird das Explorationsverhalten der Tiere getestet.

Maze“, einem Verhaltenstest, berichtete und Albany zu genau dem entgegengesetzten Schluss kam. Auch in der präklinischen Forschung folgten kurz darauf auffallende Befunde: Nur acht Prozent der im Tierversuch als wirksam eingestuftem Medikamente gegen Krankheiten des Zentralen Nervensystems durchlaufen die klinischen Studien am Menschen erfolgreich, und in der Krebsforschung sind es sogar nur fünf Prozent. Schlechte Reproduzierbarkeit einerseits, eingeschränkte Übertragbarkeit andererseits – irgendetwas an dem Lehrbuchkonzept „Tierversuch“ irritiert. Und dennoch wird die herrschende Praxis in der Regel selten bis gar nicht hinterfragt. Die Empfehlung bei schlechter Reproduzierbarkeit lautete deshalb bisher immer: Es muss noch strikter standardisiert werden!

Aber ist das überzeugend? Stellen Sie sich dazu Folgendes vor: Sie möchten eine neue Substanz auf toxische Nebenwirkungen

DIE SPRACHE DER TIERE

Helene Richter im bdw-Gespräch

Sie haben sich ein brisantes Forschungsthema ausgesucht. Welche Reaktionen bekommen Sie?

Mit meinen Ergebnissen stelle ich ein Dogma in der tierexperimentellen Forschung infrage, was natürlich nicht überall auf Gegenliebe stößt. Insbesondere die Gutachten der ersten Publikationsversuche waren teilweise vernichtend. Andererseits gab es fachliche Befürworter, die sich überschwänglich bedankten.

Haben Sie eine ausgeprägte Liebe zu Tieren?

Sie sind immer schon Teil meines Lebens gewesen. Meine Mutter sagt sogar, dass mein frühkindlicher Wortschatz sehr bald um das Wort „Tierra“, also Tiere, bereichert wurde. Und schon als Kind habe ich davon geträumt, die „Sprache der Tiere“ zu verstehen.

Haben Sie Haustiere?

Ja, eine kleine Straßen-Mischlingshündin namens Lilly. Sie lebt seit etwa eineinhalb Jahren bei mir und sorgt für Trubel und Heiterkeit.

Sind Sie eine aktive Tierschützerin?

Ich bin in erster Linie Wissenschaftlerin und arbeite in diesem Rahmen für das Wohlergehen der Tiere, insbesondere der Labortiere, und für die Verbesserung der Aussagekraft von Tierversuchen. Im Gegensatz zum angewandten Tierschutz steht bei der „Animal-Welfare“-Forschung meist nicht das einzelne Tier im Vordergrund. Vielmehr geht es darum, gängige Methoden in der tierexperimentellen Forschung zu verbessern.

testen und setzen dafür 100 Mäuse einer herkömmlichen Inzuchtlinie ein. Diese Tiere, die aufgrund jahrelanger Bruderschwester-Verpaarungen einen identischen genetischen Hintergrund haben, werden nun auch noch unter identischen Bedingungen gehalten und getestet. Im Extremfall führt diese Vereinheitlichung nun dazu, dass jegliche Form von Variation auf null herabgesetzt wird. Gleichzeitig wird aus Ihrem 100-Maus-Experiment eine Einzel-

fallstudie, mit der Sie präzise Aussagen darüber treffen können, ob Maus XY in Einzelhaltung bei einer Temperatur von 20 Grad Celsius und einer Luftfeuchtigkeit von 60 Prozent toxische Nebenwirkungen entwickelt. Nur was ist, wenn genau diese Studie an anderen Mäusen in Gruppenhaltung bei 30 Grad Celsius und 40 Prozent Luftfeuchtigkeit wiederholt werden soll? Welche Gültigkeit hat das Ergebnis dann noch über die engen Grenzen Ihres Versuches hinaus? Oder anders gefragt: Haben Sie Vertrauen in ein Medikament, welches nur an 22-jährigen männlichen Sportstudenten getestet wurde?

Hanno Würbel, Professor für Tierschutz und Ethologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen, fordert bei Tierversuchen deshalb ein Umdenken. Sein Ansatz: Variation kontrolliert in einen Versuch einführen und damit die Generalisierbarkeit der Ergebnisse steigern. Statt einer „Homogenisierung“ der Versuchsbedingungen wird damit eine systematische „Heterogenisierung“ bewirkt, welche – analog zu klinischen Studien am Menschen – darauf abzielt, repräsentativere Stichproben zu erzeugen. Die Hypothese: Je besser es gelingt, in einem Einzelversuch natürliche Variation kontrolliert abzubilden, desto wahrscheinlicher ist es auch, den Versuch unter leicht anderen Bedingungen reproduzieren zu können.

Für mich bedeutete das zunächst einmal: Raus aus dem Tierlabor und ran an den Computer. In einer computerbasierten Simulationsarbeit wertete ich die Verhaltensdaten von 432 Mäusen dreier Zuchtlinien, die 2004 im Rahmen einer Multilaborstudie erhoben worden waren, noch einmal aus. Aufgrund der Größe und Heterogenität des Datensatzes war es möglich, 18 Versuchswiederholungen eines standardisierten Versuchs zu simulieren und diese mit 18 Wiederholungen eines heterogenisierten Versuchs zu vergleichen. Jeder standardisierte Versuch umfasste dabei nur Tiere aus identischen Bedingungen, während sich die heterogenisierten Versuche aus Mäusen zusammensetzten, die unterschiedlich gehalten und getestet worden waren. Das Ergebnis war verblüffend: Die Verhaltensunterschiede zwischen den Mauslinien schwankten enorm zwischen den standardisierten Versuchen, ließen sich jedoch im

heterogenisierten Ansatz nahezu perfekt reproduzieren. Standardisierung erhöhte sogar systematisch die Rate an umweltspezifischen Ergebnissen, das heißt solchen Ergebnissen, die nur gültig waren in genau dem Versuchskontext, in dem sie entstanden waren. Standardisierung entpuppte sich also in der Tat als Quelle für nicht reproduzierbare Ergebnisse.

ERSTE REAKTION: ABLEHNUNG

Damit war ein herrschendes Dogma infrage gestellt. Und natürlich stieß das nicht überall auf positive Resonanz, ganz im Gegenteil: „Diese Art von Forschung führt nirgendwohin!“ – So lautete ein erster Gutachterkommentar auf den Versuch, die Ergebnisse der Öffentlichkeit zu präsentieren. In der Tat war zu diesem Zeitpunkt noch keineswegs klar, ob und in welcher Form Heterogenisierung in der Praxis eingeführt werden kann, ohne den praktischen Aufwand wesentlich zu erhöhen.

Also ging es zurück ins Tierlabor: In zwei Folgestudien setzte ich auf reale Versuchsansätze, um das Verhalten der Mauslinien zu vergleichen. Während ich die Mäuse in einem standardisierten Ansatz unter möglichst identischen Bedingungen hielt und testete, kombinierte ich in einem heterogenisierten Ansatz je vier verschiedene Versuchskontexte. So testete ich im standardisierten Versuch zum Beispiel nur acht Wochen alte Mäuse aus Käfigen, die nur Einstreu enthielten, und im heterogenisierten Versuch 8 und 16 Wochen alte Tiere aus Käfigen, die entweder nur Einstreu oder zusätzlich ein Häuschen enthielten. In aufwendiger Kooperationsarbeit mit fünf weiteren Labors in Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden verglich ich diese beiden Ansätze dann unter Realbedingungen. Und siehe da: So einfach diese Heterogenisierungsstrategie auch war, so überzeugend waren die Auswirkungen. In unserem Labor ließen sich die Verhal-

tensunterschiede nahezu perfekt reproduzieren. Und auch zwischen verschiedenen Standorten bewirkte Heterogenisierung eine leichte Verbesserung im Vergleich zu den herkömmlich standardisierten Versuchen, auch wenn hier – zugegebenermaßen – das Labor die Ergebnisse immer noch stark zu beeinflussen schien.

Auch wenn ich noch nicht zu sagen vermag, welche Heterogenisierungsstrategie bei unterschiedlichen Experimenten jeweils zu empfehlen ist, so steht doch fest: Heterogenisierung birgt ein enormes Potenzial, die Reproduzierbarkeit und Aussagekraft von Tierversuchen zu verbessern und damit materielle und vor allem auch ethische Kosten in der tierexperimentellen Forschung substanziell zu senken. Und die Konsequenz? Statt an Altem festzuhalten, gilt es, umzudenken. Denn die perfekte Kontrolle durch Standardisierung ist nur eine Illusion. ■

Der Ring dient normalerweise dazu, die Ängstlichkeit von Mäusen zu erforschen. Man schaut, wie lange sie sich in den offenen und den geschlossenen Bereichen aufhalten. Für den Fotografen legte sich Helene Richter ausnahmsweise den Versuchsaufbau auf die Schultern.



WER KOOPERIERT, FUNKT BESSER

VON STEFAN VALENTIN

Um Funklöcher auszugleichen, können sich Handys oder Laptops zu einem Verband zusammenschließen. Mit diesem kooperativen Mobilfunk gehören Verbindungsabbrüche in Auto und Zug bald der Vergangenheit an.

DR. STEFAN VALENTIN

1978 geboren in Bernau bei Berlin

1997 Abitur

Zivildienst

1998 bis 2004 Studium der Kommunikationswissenschaft und Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin

2004 Magister Artium in Kommunikationswissenschaft und Elektrotechnik

2005 bis 2010 Doktorand am Institut für Informatik an der Universität Paderborn

8.3.2010 Promotion zum Dr. rer. nat.

seit Januar 2010 Research Engineer bei den Bell Labs der Alcatel-Lucent Deutschland AG in Stuttgart

Infos: www.cs.upb.de/cs/sv.html

stefan.valentin@alcatel-lucent.com

WER HAT DAS NICHT schon einmal erlebt? Beim Telefonieren im Zug streikt das Netz. Eben noch war der Gesprächspartner gut zu verstehen, plötzlich kommen nur noch Wortfetzen an, oder die Verbindung reißt komplett ab. Bei Tunneln ist die Ursache klar: Sobald der Zug unter der Erde ist, blockiert der Berg das Signal zwischen Handy und Mobilfunkmast. Dabei wird das Funksignal so stark gedämpft, dass keine Verbindung mehr möglich ist. Aber selbst wenn wir über das platte Land fahren, ist manchmal „die Leitung tot“. Warum ist das so?

Ein wichtiger Grund ist der unzuverlässige Funkkanal. Handys sind eben nicht über eine stabile Leitung mit dem Netz verbunden, sondern müssen Informationen über die Luft zum nächsten Mobilfunkmast senden. Dabei wird das Funksignal auch durch die Luft stark gedämpft. Bewegung verschärft die Situation. Da sich nun die Umgebung ständig ändert, schwankt das

Empfangssignal und kann sogar plötzlich drastisch einbrechen. Schwankungen und Dämpfung sorgen dafür, dass der Mobilfunkmast unser Signal oft nur fehlerhaft interpretieren kann. Sprachfetzen und plötzliche Verbindungsabbrüche sind die Folge.

Um dennoch schnell und zuverlässig Daten zu übertragen, nutzen aktuelle Funksysteme das Prinzip der räumlichen Diversität. Wie ein guter Spieler setzen sie dabei nicht alles auf eine Karte, sondern streuen die Information über mehrere Antennen. Damit streuen sie auch das Übertragungsrisiko. Denn wird das Signal von einer Antenne gestört, können die restlichen Antennen noch korrekte Daten liefern. Deshalb haben viele moderne Handys und Laptops bereits mehrere Antennen. Aber warum eigentlich sollen Benutzer nur ihre eigenen Antennen verwenden? Können sie sich nicht auch die Antennen der Nachbarn „leihen“, um ihr Übertragungsrisiko noch weiter zu senken?

Fotos: S. Kröger für bfw

Wie schließt man Geräte zu solchen kooperativen Verbänden zusammen, und lohnt sich das in der Praxis überhaupt?

Mit diesen Fragen begann ich meine Doktorarbeit an der Universität Paderborn. Da dort das Schwerpunktprojekt „Neue Bahntechnik“ eine kleine Teststrecke betreibt, lag folgender Ansatz nahe: Warum nicht kooperative Handys als Prototypen bauen? Dann würde der Feldversuch zeigen, wie gut Kooperation im Zug tatsächlich funktioniert. Aber bis dahin war es noch ein weiter Weg. Denn obwohl kooperative Funksysteme schon in den Siebzigerjahren abstrakt beschrieben wurden, fehlte es an realistischen Verfahren. Schlimmer noch: Bisher wurde zwar ein Qualitätsgewinn gezeigt, die Kosten der Kooperation aber wurden vernachlässigt. Aber nur wenn auch unter minimalen Kosten noch Gewinne übrig bleiben, lohnt es sich, praktische Verfahren zu entwerfen. Ich musste also

die Kosten des kooperativen Funkens besser verstehen, bevor Verfahren entworfen und schließlich Prototypen gebaut werden konnten.

NACHBARS AKKU ANGEZAPFT

Kooperation verursacht stets Kosten in Form von Energie und Datenrate. Wiederholt mein Nachbar einen Teil meiner Information, fehlt ihm diese Sendezeit für seine eigenen Daten. Damit senkt Kooperation die Datenrate meines Nachbarn und, da das Senden Energie verbraucht, seine Batterielaufzeit. Hilft mein Nachbar mir also zu oft, könnte sein Akku schnell leer sein. Dass dies in der Praxis kaum passiert, konnte ich mit meinen theoretischen Studien belegen. Dafür untersuchte ich, wie sich Mobilfunknutzer in Städten und auf dem Land bewegen und wie oft sie kooperieren könnten. Ich stellte fest, dass sich Kooperation langfristig für alle lohnt. Denn auch wenn mein Nachbar aktuell keine Hilfe braucht,



Mit diesem Minizug beförderte Stefan Valentin (rechts) den Mobilfunk in eine neue Ära. Denn auf der Paderborner Bahn-Teststrecke trat er erstmals den Beweis an, dass eine fast fehlerfreie Datenübertragung während der Fahrt möglich ist.



Privat profitiert heute so gut wie jeder vom mobilen Telefonieren – auch Stefan Valentin. Ihm brachte die Weiterentwicklung der Technik zudem ein Patent ein.

kann schon im nächsten Moment sein Signal von einem Gebäude verdeckt sein oder ganz einbrechen. Dann hilft ihm ein anderes Handy, fehlerhafte Übertragungen zu vermeiden und seine Datenrate und Energiebilanz zu verbessern. Damit war klar: Benachbarte Handys helfen sich besonders gut, wenn ein Gebäude die Sicht zum Mast versperrt oder sie schnell am Funkmast vorbeifahren. Da beides oft vorkommt, lohnt es sich, praktische Verfahren zu entwerfen.

Dabei kommt es besonders auf die Art der Information an, denn nicht alle Daten sind gleich wichtig. Kontrollinformationen gehören auf die Überholspur, denn bevor kooperiert werden kann, müssen die Handys einen Verband bilden. Damit aber ein Handy entscheiden kann, mit wem es kooperiert, muss es seine Nachbarn kennen. Um diesen Kontrollfluss zu koordinieren, ließ ich mich von Laptops inspirieren. In drahtlosen Rechnernetzen lauschen alle Teilnehmer zuerst auf ihre Umgebung, bevor sie funken. Wie gute Gesprächspartner hören sie erst zu, bevor sie selbst reden. Das kann man auch für Kooperationen nutzen. Denn hört ein Handy ein starkes Signal, weiß es mit einiger Sicherheit, dass der Sender in der Nähe ist. Dann kann es den nächsten Nachbarn um Kooperation bitten, der Nachbar bestätigt und beide geben dies dem Mobilfunkmast bekannt. Schließlich wird kooperativ übertragen. Indem diese Koordination jede Millisekunde wiederholt wird, können sich alle Beteiligten schnell an die aktuelle Umgebung anpassen – denn schließlich soll mein Protokoll auch in schnellen Zügen funktionieren.

STETS AUF DER ÜBERHOLSPUR

Simulationen zeigten, dass sich mit diesem Koordinationsprotokoll die Teilnehmer sehr effizient zu kooperativen Verbänden zusammenschließen können. Da sie nur wenig zusätzliche Information übertragen, steigt der Energieverbrauch kaum an. Selbstverständlich erfolgt auch diese Koordination kooperativ. Fehler werden dadurch äußerst selten, denn die wichtigen Kontrollinformationen werden sehr robust übertragen und liegen damit stets auf der Überholspur.

Aber nicht nur Kontrolldaten brauchen Priorität. Auch Nutzdaten enthalten wichtige und unwichtigere Informationen. Zum Beispiel sind Vokale für gutes Sprachverständnis wichtiger als das genaue Übertragen von Zischlauten. Große Änderungen im Videobild sind entscheidender als feine Details. Diese semantischen Unterschiede werden von vielen Sendegeräten bereits vor der Übertragung unterschieden. Gemeinsam mit NTT Docomo, Japans größtem Mobilfunkbetreiber, entwickelte ich ein Kommunikationsprotokoll, mit dem Handys nur für wichtige Daten kooperie-

REISEN GEGEN BETRIEBSBLINDHEIT

Stefan Valentin im bdw-Gespräch

Sind Sie ein Bahn-Vielfahrer und Telefon-Junkie und leiden unter Funklöchern?

Ja, aber ich telefoniere nur noch, wenn der Zug steht. Bei schneller Fahrt ist einfach der Aufwand im Netz zu hoch. Hier gibt es noch einiges zu erforschen.

Wie kamen Sie mit dem japanischen Mobilfunkanbieter zusammen, der Ihre Entwicklung patentieren ließ? Gab es keinen deutschen Interessenten?

Inzwischen schon: Die Bell Labs in Stuttgart haben mir bereits vor der Promotion eine Stelle angeboten. Aber asiatische Mobilfunkfirmen sind einfach sehr gut darin, international zu forschen und die Ergebnisse direkt zu nutzen.

Sie untersuchen derzeit, wie Smartphones Mobilfunknetze verändern.

Ja, Smartphones stellen unterschiedliche Anforderungen ans Netz. Beim Chatten soll sofort eine Reaktion kommen, auf ein Update kann man auch mal warten. Mobilfunknetze ignorieren diese Unterschiede moderner Anwendungen (Apps) allerdings. Mit der Uni Stuttgart habe ich eine Lösung entwickelt: Das Smartphone teilt dem Funknetz mit, wie eilig es seine Apps braucht. So sind die Nutzer besser bedient und die Mobilfunkanbieter davor geschützt, dass ein Smartphone-Update ihr Netz in die Knie zwingt.

Während des Studiums waren Sie in Triest und Ottawa. Zieht es Sie ins Ausland?

Derzeit nicht, denn in Stuttgart habe ich sehr gute Möglichkeiten. Aber gelegentliche Forschungsreisen müssen einfach sein. Nur so kann man mit den weltweit besten Leuten zusammenarbeiten und wird nicht betriebsblind.

Valentin lässt es funken: Der Informatiker programmierte drei Spezialcomputer so, dass zwei von ihnen kooperieren, um den dritten zu erreichen. Die drehbare Scheibe dient als künstlicher Dämpfer des Funksignals.

ren. Damit behielten wir die Überholspur für Kontrolldaten bei, bevorzugten aber semantisch wichtige Informationen. Wie auf der dreispurigen Autobahn werden diese Informationen zwar von den Kontrolldaten überholt, ziehen selbst aber an den weniger wichtigen Daten vorbei. Weil nun die Handys nur noch für die semantisch wichtigen Daten kooperieren, ist der zusätzliche Energieverbrauch gering. Damit sorgten wir dafür, dass auch dem hilfsbereiten Nachbarn die Handybatterie nicht zu schnell leer läuft. Schließlich meldete NTT Docomo unser Protokoll erfolgreich zum Patent in Europa und Japan an.

Mit diesen Vorstudien und Protokollen hatte ich nun alle Teile zusammen, um unsere Prototypen zu bauen. Dafür programmierten einige Studenten und ich drei Spezialcomputer so um, dass sie sich wie zwei kooperierende Handys und ein Mobilfunkmast verhielten. Nach einem Jahr Programmierarbeit war der entschei-

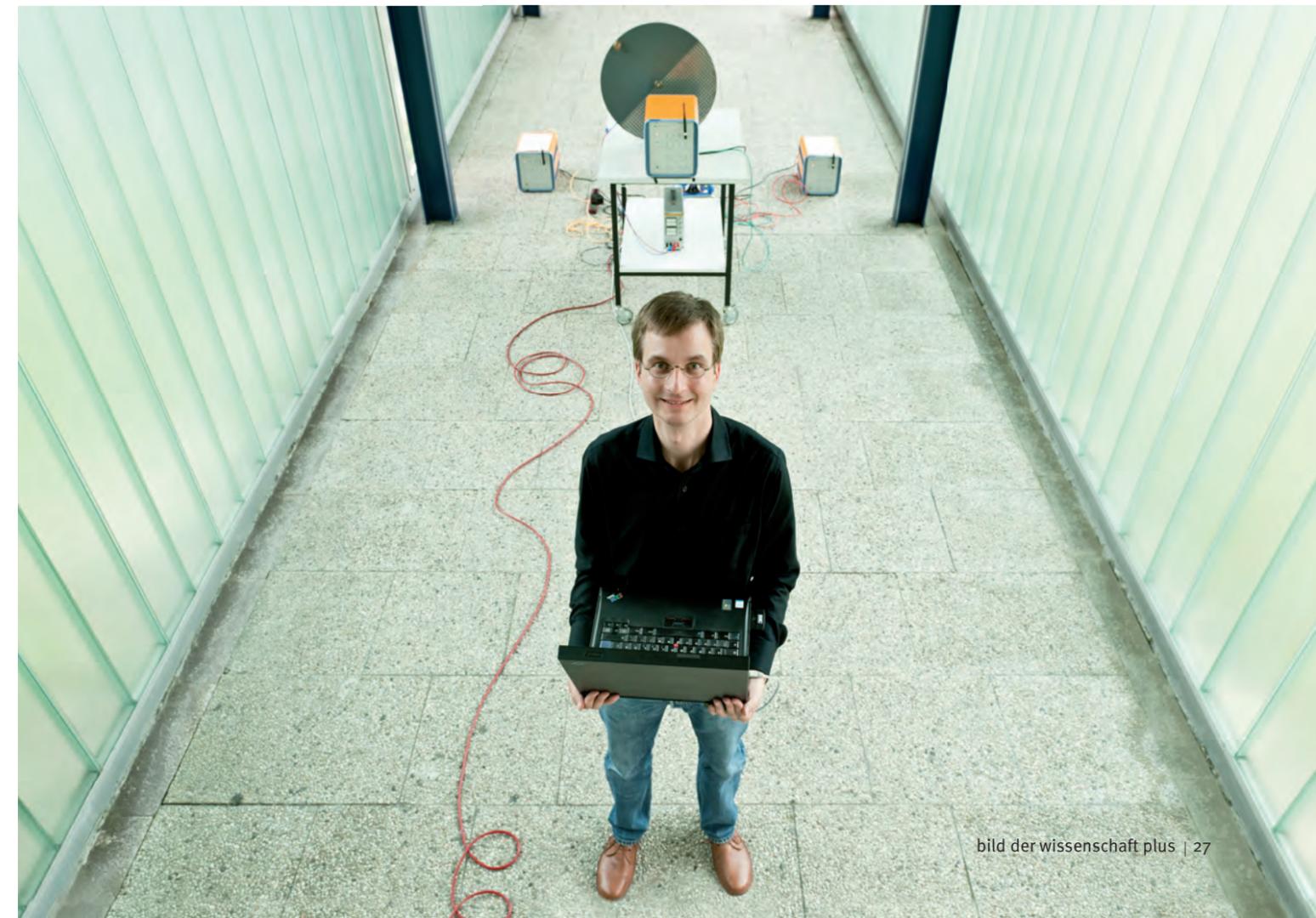
dende Tag gekommen. Wir trafen uns an der Teststrecke der „Neuen Bahntechnik“ mit Christian Henke. Der Kollege aus dem Fachbereich Maschinenbau sollte an diesem Tag den kleinen Testzug fahren. Darauf wurden gleich unsere beiden „Handys“ montiert. Der „Mobilfunkmast“ kam in die Mitte der ovalen Strecke.

TESTFAHRT GEGLÜCKT

Schon die erste Testfahrt war überwältigend. Hatten unsere „Handys“ im normalen Modus ständig mit Übertragungsfehlern und Verbindungsabbrüchen zu kämpfen, war davon im kooperativen Betrieb kaum etwas zu merken. Nach circa 70 Kilometern Bahnfahrt und Tausenden Messwerten stand fest: Selbst bei hoher Geschwindigkeit konnten die Geräte gemeinsam um die 40 Prozent schneller funken als jedes Gerät für sich allein. Dabei traten kaum noch Übertragungsfehler auf. Auch Maschinenbauer Christian war beeindruckt: „Dieses Verfahren möchte ich

unbedingt für die Steuerung meines Testzugs haben, denn auch hier haben wir oft Verbindungsabbrüche.“

Damit hatten wir den Beweis erbracht: Kooperation zeigt nicht nur in der Theorie große Gewinne, sondern kann effizient in der Praxis eingesetzt werden. Das haben wir mit unserem Feldversuch weltweit erstmals in einem vollständigen System gezeigt. Gleich nach dem Versuch kommentierte mein Doktorvater Holger Karl: „Sobald die kooperativen Verfahren in Standards und Produkte umgesetzt sind, wird die Qualität des Telefonierens oder Web-Surfens während einer Zugfahrt deutlich verbessert.“ Das wird schon demnächst geschehen, denn gerade werden kooperative Verfahren für kommende Mobilfunksysteme standardisiert. Kooperative Netze könnten dann in einigen Jahren verfügbar sein. So werden wir uns vielleicht bald freuen, zwar nicht wenn der Nachbar mithört, aber wenn sein Handy uns beim Telefonieren hilft. ■



SCHNELL GESCHALTET!

Fahrzeuge der Zukunft werden selbst entscheiden, wie eine gewünschte Strecke so zurückgelegt werden kann, dass unnötiger Treibstoffverbrauch vermieden wird. Mit an Bord sind dazu neue mathematische Verfahren, die optimale Geschwindigkeiten und Schaltvorgänge in Bruchteilen von Sekunden berechnen.

VON CHRISTIAN KIRCHES

KENNEN SIE EIGENTLICH BIELEFELD? Kurz vor Ankunft in der größten Stadt Ostwestfalens hat die A2 mit dem „Bielefelder Berg“ einen ihrer tückischsten Abschnitte. Die steil ansteigende Bergseite zwingt zum langsamen Fahren, der Verkehr staut sich. Auf der abfallenden Rückseite angekommen, lässt man mit Blick auf die Tankuhr lieber rollen oder nimmt unter Zeitdruck schnell wieder Tempo auf. Dort aber wacht Deutschlands fleißigste Radarfalle über ein scharfes Tempolimit. Wer wünscht sich in dieser Situation nicht ei-

nen Helfer, der das Fahrzeug vorausschauend, schnell und doch energiesparend durch diese Situation lenkt?

Obgleich ich mich für meinen Kleinwagen über einen solchen Assistenten freuen würde, ist diese Fragestellung zuerst für die Lkw-Flotten der Transportunternehmen von Bedeutung. Hier werden im Jahr Strecken von mehreren 100 000 Kilometern zurückgelegt. Um 40 Tonnen Transportgut zu bewegen, verbraucht jedes Fahrzeug auf 100 Kilometern bis zu 40 Liter Dieselkraftstoff. Gelingt durch optimales vorausschauendes Fahren und Schalten eine Verringerung des Verbrauchs um nur wenige Prozentpunkte, so ist dies wirtschaftlich bereits sehr attraktiv. Die Frage, mit welcher Geschwindigkeit und in welchem Gang man fahren sollte, um ein Ziel möglichst umweltfreundlich und kostengünstig zu erreichen, ist also ein Optimierungsproblem. Von klassischen Optimierungsproblemen unterscheidet es sich allerdings gleich in mehreren Punkten. Das macht seine Lösung zu einer anspruchsvollen Aufgabe.

Erstens muss die Frage nach Geschwindigkeit und Gang während der Fahrt immer wieder aufs Neue beantwortet werden. Die Strecken- und Verkehrsbedingungen sind ja zu Beginn der Fahrt nicht bekannt, sondern können erst unterwegs erfasst werden. Die Lösung des Optimierungsproblems kann sich daher innerhalb von Se-

kundenbruchteilen ändern. Will man nicht von der Realität überholt werden, so muss die Berechnung dieser Lösung mindestens ebenso schnell erfolgen. Mathematiker sprechen hier von Online-Optimierung.

WISSEN AUS DER FAHRSCHULE

Zweitens lehrt bereits der Fahrunterricht, dass man sich durch vorausschauendes Fahren besser auf Strecke und Verkehr einstellen kann. Bei einer Entscheidung über Fahrgeschwindigkeit und Gang sollten also die Kurven und Steigungen des nächsten Streckenabschnitts berücksichtigt werden. Für das gestellte „prädiktive Optimierungsproblem“ bedeutet das, gleich mehrere Schaltvorgänge im Voraus zu planen. Drittens handelt es sich bei der Wahl des Gangs um eine ganzzahlige Steuergröße. Anders als ein Gaspedal oder ein Lenkrad, welche in bestimmten Grenzen kontinuierlich, also stufenlos bewegt werden können, gibt die Gangschaltung eines Fahrzeugs eine Anzahl von festgelegten Wahlmöglichkeiten vor. Die Online-Optimierung ganzzahliger Probleme stellt Mathematiker vor große Herausforderungen.

Zu jeder vorausschauenden Entscheidung und jedem wählbaren Gang des Fahrzeugs gehört eine Variable des Online-Optimierungsproblems. Je nachdem, ob der zugehörige Gang gewählt ist oder nicht, nimmt diese einen der Werte Null oder Eins an. Lastkraftwagen können über bis zu 16 ver-

Fotos: V. Steger für baw

DR. CHRISTIAN KIRCHES

1981 geboren in Kandel (Rheinland-Pfalz)
 2001 Abitur
 Zivildienst
 2002 bis 2007 Studium der Mathematik an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
 2007 Diplom in Mathematik
 2007 bis 2010 Doktorand am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) an der Universität Heidelberg
 2.11.2010 Promotion zum Dr. rer. nat.
 seit 2011 Post-Doktorand am IWR
 Infos: www.iwr.uni-heidelberg.de/~Christian.Kirches
christian.kirches@iwr.uni-heidelberg.de

Grundschul-Rechnen von eins bis sechs? Wenn es nur so einfach wäre ... Die Zahlen symbolisieren vielmehr Gänge einer Gangschaltung. Dank Christian Kirches ist nun klar, welcher Gang bei steigender Geschwindigkeit (Pfeil und „v“) jeweils der optimale ist.

Am Limit: Das Tempo hat einen Einfluss darauf, in welchem Gang man umweltschonend und kostengünstig unterwegs ist.

schaubar großen Anzahl von Optimierungsproblemen bleibt nur noch ein einziges zu lösen. Dabei werden dann die optimalen Werte aller kontinuierlichen Variablen gleichzeitig bestimmt.

Technisch ist die von mir angenommene teilweise Wahl von Gängen offensichtlich nicht umzusetzen. Es liegt in einem mathematischen Satz begründet, dass dies auch nicht nötig ist. Er zeigt, dass das durch eine Kombination von teilweise gewählten Gängen erreichte Fahrzeugverhalten auch durch zeitlichen Wechsel zwischen den beteiligten Gängen erreicht werden kann. Dazu setze ich ein spezielles Rundungsverfahren ein. Es rundet die teilweise gewählten Gänge auf oder ab. Solcherart gerundete Steuerungen sind zwar nicht mehr optimal, doch ist der Verlust an Optimalität genau bekannt und kann so klein gehalten werden wie nötig.

Die von mir gemachte Annahme ermöglicht es also, das gewünschte Fahrverhalten aus der Lösung eines einzigen Optimierungsproblems ohne ganzzahlige Steuerungen zu erhalten. In der Arbeitsgruppe „Simulation und Optimierung“ am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen der Universität Heidelberg konnte ich dazu auf einen reichen Schatz an Methoden zurückgreifen. Die an Bord eines Lkw verfügbaren Steuergeräte sind jedoch deutlich langsamer als der Computer, der dort auf meinem Schreibtisch steht. Selbst beim Einsatz der effizientesten Verfahren benötigt die Lösung wesentlich mehr Zeit, als eine angemessene Reaktion auf Straßen- und Verkehrsbedingungen es erlaubt.

Lösungen von Optimierungsproblemen können nur in den seltensten Fällen direkt berechnet werden. Deshalb nähern sich Optimierungsverfahren der Lösung schrittweise. Man kann sich das Vorgehen als Tour eines Bergsteigers vorstellen, der sich auf seinem Rückweg ins Tal befindet. Mit einem einzigen Schritt kann er dieses natürlich nicht erreichen. Ausgehend vom Gipfel führt sein Weg daher Schritt für Schritt in niedrigere Lagen, bis er schließlich im Tal

OPTIMIERUNG DER FORMEL 1

Christian Kirches im bdw-Gespräch

Ihre energiesparende Fahrzeug-Steuerung wurde patentiert. Wann wird daraus ein Serienprodukt?

Für Lkws werden bereits Vorläufer des intelligenten Fahrtassistenten serienmäßig hergestellt. Sie basieren auf Heuristiken. Das sind gute, aber keinesfalls optimale Strategien. Mein ausgefeilter Ansatz wird in den nächsten Jahren in Serie gehen – mehr darf ich noch nicht verraten. In Pkws wäre das eher eine Sonderausstattung für technikfaszinierte Käufer.

Gibt es noch andere Einsatzbereiche?

Ich verfolge mit Spannung die Formel 1. Auch da beschäftigen wir uns mit der Berechnung von Fahrtlinien sowie optimalen Geschwindigkeits- und Schaltprofilen. In meiner Arbeitsgruppe kursiert zudem der nicht ganz ernst gemeinte Plan, ein iPhone mit dem Assistenten auszustatten und an die Fahrzeugsteuerung anzuschließen.

Sie haben nebenher als Berater für BASF und Daimler gearbeitet. Was haben Sie dort gemacht?

Bei Daimler ging es um Komfort-Funktionen für Limousinen der C- und S-Klasse. Mit unserem Verfahren konnten wir Anfahrtsvorgänge simulieren und so beeinflussen, dass sie dem Fahrer angenehm, aber dennoch sportlich erschienen. Bei BASF habe ich mich mit der optimalen Steuerung von chemischen und biochemischen Prozessen beschäftigt.

Fahren Sie selbst viel Auto – und wünschsten sich dabei einen Assistenten?

Ich besitze einen Mitsubishi Colt, das ist ein einigermaßen sparsamer Begleiter.

angekommen ist. Der Berggipfel steht hier für den Start des Optimierungsverfahrens, das Tal für die optimale Lösung. Jeder Schritt führt zu einer kleinen Verbesserung. Um die Reaktionszeit meines Steuerungsverfahrens zu reduzieren, lasse ich es nicht bis ins Tal laufen, sondern berechne nur einen einzigen Schritt. So liefert das Verfahren schnell Steuerungen und ermöglicht rasche Reaktionen des Fahrzeugs.

Es ergibt sich nun eine Schwierigkeit. Da ich nicht mehr warte, bis das Verfahren im Tal angekommen ist, liefert es häufig Kombinationen von teilweise gewählten Gängen, welche gerundet werden müssen. Der Bergsteiger weicht also immer wieder von seinem ins Tal führenden Weg ab. Es ist zunächst unklar, ob er dort jemals ankommen wird oder immer wieder in die Nähe des Berggipfels zurückkehrt. Anders formuliert: Nähern sich die schnell berechneten Steuerungen trotz Rundung der optimalen Steuerung an? In meiner Arbeit konnte ich zeigen, dass dies tatsächlich der Fall ist, wenn die Schritte schnell genug aufeinanderfolgen. Die Rechenzeit für einen Schritt muss also klein genug sein.

Die Optimierungsprobleme, die vom Steuergerät an Bord des Fahrzeugs während der Fahrt gelöst werden, unterscheiden sich voneinander nur in kleinen Veränderungen der Eingabedaten. So nimmt beispielswei-

se die Steigung der Straße ein wenig zu, oder der Abstand zum voranfahrenden Fahrzeug ändert sich um einige Meter. Die auszuführenden Rechenoperationen aufeinanderfolgender Optimierungsprobleme sind also recht ähnlich. In meiner Arbeit habe ich diese Ähnlichkeit genau beschrieben und zur Beschleunigung meines Verfahrens ausgenutzt. Ich konnte zeigen, wie bereits erledigte Berechnungen eines vergangenen Optimierungsschritts herangezogen werden können, um die anstehenden Berechnungen des nächsten Schritts mit geringem Rechenaufwand zu bewältigen.

SPARSAM AUF DEUTSCHEN AUTOBAHNEN

Erst durch das Zusammenspiel der beschriebenen Ideen und Ergebnisse meiner Arbeit ist es für das vorausschauende Online-Optimierungsproblem möglich geworden, zuverlässig Geschwindigkeiten und Gänge in einem Takt von wenigen Millisekunden zu berechnen. Aufbauend auf dreidimensionalen Streckenprofilen

mehrerer deutscher Autobahnen und unter Vorgabe verschiedener Wunsch- und Höchstgeschwindigkeiten entstehen so Geschwindigkeits- und Gangschaltprofile, die online eine vorausschauende und energiesparende Fahrweise umsetzen.

Die Einführung von Hybridantrieben wird die Anzahl möglicher Betriebsarten in Zukunft noch steigern. Optimale Betriebsstrategien entziehen sich jedoch mehr noch als zuvor der Intuition der Fahrer. Hier wird das von mir entwickelte mathematische Verfahren mit dazu beitragen, das Energiesparpotenzial solcher Antriebe voll auszuschöpfen. Wenn dieses Steuerungsverfahren wie angestrebt Eingang in vollautomatische Fahrerassistenzsysteme der nächsten Generation findet, dann haben neue mathematische Verfahren einmal mehr entscheidend dazu beigetragen, Energie zu sparen und Kosten zu reduzieren – ganz gleich, ob Sie Ihre Fahrt nun nach Bielefeld führt oder nicht. ■

schiedene Gänge verfügen. Bei 20 zukünftigen Schaltentscheidungen erhält man 320 Variablen. Die ungefähre Anzahl möglicher Null-Eins-Kombinationen ist eine Eins mit 24 Nullen – unvorstellbar groß. Unter diesen Kombinationen müsste innerhalb einiger Millisekunden die beste gewählt werden. Doch damit ist selbst der schnellste derzeit verfügbare Computer überfordert.

EIN BISSCHEN ZWEITER GANG

Eine andere Sichtweise eröffnet hier einen ungewöhnlichen, überraschend effektiven Ausweg. Lösungen der beschriebenen Optimierungsprobleme nehmen häufig Extremwerte an. Das nutze ich in meiner Arbeit mit der vorläufigen Annahme aus, man könnte jeden Gang auch „teilweise“ einlegen. Beispielsweise würde Gang zwei zu 0,31 Anteilen und Gang drei zu 0,69 Anteilen gewählt. Wichtig ist nur, dass sich die Summe der Anteile zu eins ergänzt. Trifft man diese Annahme für alle zu optimierenden Schaltentscheidungen, so werden die zuvor ganzzahligen Variablen zu kontinuierlichen. Statt einer unüber-



Für einen Forschungsaufenthalt steuerte Christian Kirches Chicago an – sein Know-how im Gepäck. Auf der Motorhaube eine Darstellung seines Optimierungsverfahrens: Die Höhenlinien sollen die schrittweise Annäherung an das Optimum (rotes Kreuz) verdeutlichen.



WISSENSCHAFT GEHT DURCH DEN MAGEN



Haben Sie schon mal eine Essigrakete gebaut? Und wie wird Tomatensuppe eigentlich klar? Das Buch „Schlau kochen“ bietet neben kreativen Rezepten auch Experimente und „ultimatives Angeberwissen“.

VON CORNELIA VARWIG

AM ABEND WAR FAMILIENKOCHEN angesagt. Die Kinder hatten sich ein Rezept aus ihrem neuen Kochbuch ausgesucht, der Papa wurde mit dem Einkaufszettel losgeschickt: eine küchenfertige Poularde, sechs Eier, Petersilien- und Rosmarinstängel, Speisestärke und vier Kilogramm grobes Salz. Vier Kilogramm? Das musste wohl ein Irrtum sein. Gegen etwas Salz im Essen war ja nichts einzuwenden. Doch man muss kein Koch-Profi sein, um zu wissen, dass eine derartige Überdosis das Essen eigentlich ungenießbar macht ...

... es sei denn, es handelt sich um eine Kreation des Heidelberger Spitzenkochs Wolf Schönmehl. Dank ihm geistert nun die „Gespenster-Poularde in Salzkruste“ durch viele deutsche Küchen. Das Besondere daran: „Das Geflügel wird in das Salz eingebacken, das man vorher mit dem geschlagenen Eiweiß und der Speisestärke wie eine Sandburg modellieren konnte“, erklärt Schönmehl sein Lieblingsgericht aus dem Entdeckerkochbuch „Schlau kochen“, das die Klaus Tschira Stiftung mit seinen Rezepten herausgegeben hat. Beim

Backen härtet die Salzkruste aus, sodass das Gargut nicht versalzt. Sie wird sogar so hart, dass man eine Säge zum Aufschneiden braucht. Und dann ist Geisterstunde: Die Innenseite des abgenommenen „Deckels“ sieht aus wie ein Gespenstergesicht.

Allein diese Zubereitung ist ein gewaltiges Küchenexperiment. Doch wem das nicht genug Tüftelei ist, der wird auf vielen weiteren Buchseiten fündig. Denn neben Kochrezepten gibt es Anleitungen für verblüffende Versuche wie etwa das „Salz-am-

Junges Gemüse in der Küche: Die Kinder lernen mit dem Kochbuch der Klaus Tschira Stiftung nicht nur, wie sie mit frischen Zutaten und Gewürzen ein leckeres Essen bereiten. Nebenbei erfahren sie noch, was Teamarbeit ist.

Faden-Experiment“ oder die „Essigrakete“. Backpulver und Essig in ein Plastikdöschen gefüllt ergeben eine wahrhaft explosive Mischung – und die Dose fliegt in hohem Bogen durch die Luft. Wieso das passiert, ist kindgerecht in „Sendung-mit-der-Maus“-Manier erklärt.

OHNE ERHOBENEN ZEIGEFINGER

„Was wir bei unserem Konzept unbedingt vermeiden wollten, war der erhobene Zeigefinger“, erklärt Manuela Welzel-Breuer von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, die wissenschaftliche Beraterin des Buchprojekts. Der ist aber auch gar nicht nötig, „denn Kinder sind von sich aus neugierig und probieren gerne Neues aus“. Man müsse diese Neugierde nur wachhalten und sich auf Fragen einlassen, betont die Pädagogin. So gewinnt der Nachwuchs während des Kochens ganz nebenbei naturwissenschaftliche Erkenntnisse – und echtes Angeberwissen. Wie macht man zum Beispiel aus einer trüben eine klare Tomatensuppe? „Weißt du’s?“, fragt das Buch, und liefert auch die Antwort: Man rührt Eiweiß in die fertige Suppe. Das umschließt frei schwimmende Teilchen und Trübstoffe und trägt sie an die Oberfläche, wo man sie abschöpfen kann.

Die Macher des Buchs haben auch da auf den erhobenen Zeigefinger verzichtet, wo es um vermeintliche Dickmacher geht. „In den Gerichten stecken keine Berge von Fett und Zucker, aber ganz verzichtet haben wir darauf nicht“, erklärt der erfahrene Koch Wolf Schönmehl, der vier Jahre Küchenchef bei Alfons Schuhbeck war und lange Jahre die Gastronomie im Heidelberger Schloss betrieben hat. Von dort kommt auch die skurrile Idee für das süße Sushi. „Wir hatten im Schloss einen Japaner im Team, der das einmal ausprobiert hat“, erinnert sich Schönmehl. Das ist der Renner: Statt rohem Fisch steckt frisches Obst in den Röllchen. Gesüßt wird mit gesundem Honig.

Die Gerichte aus dem mehrfach preisgekrönten und aufwendig produzierten Kochbuch sind allemal gesünder als Tiefkühlpizza oder Hamburger von McDonald's. Warum Fast Food trotzdem so begehrt ist, weiß auch Klaus Tschira: „Eine fertige Pizza in den Ofen zu schieben, geht natürlich schneller als aufwendig zu kochen.“ Doch Tschira, der seit seiner Jugend kocht und am liebsten „falschen Hasen“ isst, ermutigt die Kinder, mit dem Buch die ersten Schritte auf dem Weg zum kleinen Meisterkoch zu tun. „Mit dem Kochen ist es wie mit dem Computerspielen: Je öfter du das machst, umso selbstverständlicher werden deine Handgriffe“, motiviert dann auch die Gebrauchsanweisung.

Als guter Einstieg in die Kochkunst erweist sich das von Wolf Schönmehl konzipierte Geschmackstraining: Die Kinder lernen verschiedene Gewürze kennen und erfahren, wie man Speisen abschmeckt. „Ich habe mich für das Kochbuch erst einmal eingelese, wie sich das Geschmacksbild bei Kindern überhaupt entwickelt. Das ist nämlich am Anfang noch nicht voll ausgeprägt“, erklärt der Koch. Die Eltern haben mit ihrem Nahrungsangebot also einen großen Einfluss auf die kindliche Geschmacksentwicklung. Ein Problem dabei: „Durch bestimmte Zusatzstoffe in Fertiggerichten entwickelt sich eine für das ganze Leben gültige Matrix von Geschmackskombinationen, die schwer zu ändern ist“, mahnt der Experte. „Besser wäre es also, sich auf die natürlichen Geschmacksbilder der einzelnen Lebensmittel zu beschränken.“ Deshalb sollten Kinder möglichst viele Gerichte mit frischen Zutaten kennenlernen.

NACHHOLBEDARF BEI DEN ELTERN

Warum es da in einigen Familien Nachholbedarf gibt, weiß Manuela Welzel-Breuer. Bei vielen Eltern herrsche eine gewisse Unsicherheit, was man mit den Kleinen kochen kann. „Häufig haben es die Eltern in ihrer Familie selbst nicht erlebt“, erklärt sie. Inzwischen haben sich einige von ihnen zu Wort gemeldet. „Die Eltern haben Ideen aus dem Buch übernommen, um sie mit ihren Kindern auszuprobieren“, freut sich Welzel-Breuer, die über 120-mal „Schlau kochen“ in ihrem Bekanntheitskreis verteilt hat – insgesamt wurden



Hinter dem Vorhang aus selbstgemachten Bandnudeln schaut eine begeisterte und stolze Nachwuchs-Köchin hervor.

über 10 000 Exemplare verkauft. Und zum guten Essen gesellt sich auch noch ein positiver Nebeneffekt: „Die Kinder lernen, im Team zu arbeiten, was früher in Großfamilien selbstverständlich war.“

Bald werden die Kinder Gelegenheit haben, ihre Teamfähigkeit unter Beweis zu stellen. „Wir wollen mit der Kinderakademie in Mannheim Kochkurse für Kinder und Eltern anbieten“, erzählt Welzel-Breuer. Und Beate Spiegel, Geschäftsführerin der Klaus Tschira Stiftung, verrät: „Nach den hervorragenden Erfahrungen mit dem Umschau Verlag planen wir ein Buch mit Anleitungen, wie die Kinder Pflanzen anbauen und später in ihren Gerichten verarbeiten können.“ Die Umschau-Verlagsleiterin Angelika Thomaschik ergänzt: „Auf diese Weise erhöhen wir die Chancen auf kompetente Verbraucher mit Lust auf eine gute Ernährung.“

Klaus Tschira Stiftung
Sigrid Krekel, Wolf Schönmehl
Schlau kochen
Ein Entdeckerkochbuch für neugierige Kinder und Erwachsene
Umschau, Neustadt 2009, € 24,90

VON HEIDELBERG BIS IN DIE ANTARKTIS

In der GIS-Station in Heidelberg lernen Schüler und Lehrer, was man mit digitalen Geomedien alles anstellen kann. Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung.

VON TABEA OSTHUES

MEIN AUFTRAG LAUTETE: zur GIS-Station fahren, dem Kompetenzzentrum für digitale Geomedien der Klaus Tschira Stiftung. Um zu wissen, wie ich dorthin gelange, schaute ich mir die genaue Lage bei Google Earth an – und stellte fest: Es ist nur einen Katzensprung vom Heidelberger Hauptbahnhof entfernt. In der Station angekommen erfuhr ich dann: Das Satellitenbild von Google Earth, das ich mir zuvor angeschaut hatte, gehört neben GPS und Geographischen Informationssystemen, kurz GIS, zu den digitalen Geomedien. Und die können viel mehr als nur den Weg weisen.

„Wir kombinieren bereits vorhandene Informationen mit räumlichen Daten“, erklärt Alexander Siegmund, Professor für Physische Geographie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und Leiter der dort angesiedelten GIS-Station. „Kennt man etwa die Lage eines Geschäfts, kann man mit GIS das potenzielle Einzugsgebiet der Kunden ermitteln“, verdeutlicht er. Mit den Karten lassen sich zudem Veränderungen von Städten und Regionen sichtbar machen, etwa die Verteilung von Luftschadstoffen oder die Abholzung der tropischen Regenwälder. Mit dem von der Klaus Tschira Stiftung eingerichteten Kompetenzzentrum ging für Siegmund ein Herzenswunsch in Erfüllung: „Wir haben einen Ort für Lehrer und Schüler geschaffen, an dem digitale Geomedien für sie erfahrbar werden.“

Wie man mit diesen wissenschaftlichen Werkzeugen umgeht, lernen Lehrer und Schüler innerhalb eines Vormittags. „An vier von fünf Tagen sind wir ausgebucht“, berichtet Siegmund. 1750 Schüler und 200 Lehrer von der Grundschule bis zum Gymnasium haben seit der Eröffnung im März 2010 bereits von dem Angebot Gebrauch gemacht. Dabei werden die Lehrer wieder zu Schülern: Sie bekommen an Bildschirmen gezeigt, wie sie moderne Geomedien im Unterricht einsetzen können. „Es geht darum, dass sie nicht nur etwas über die digitalen Medien lernen, sondern mit ihnen“, betont Siegmund. So könnten Unsicherheiten vermieden werden, die bisweilen an ihn herangetragen werden: „Ich war mir nicht sicher, ob ich die Technik beherrsche und wie ich den Stoff methodisch in den Unterricht einbringen kann.“

KLIMAWANDEL AUF DEM LEHRPLAN

Vor allem um diese didaktische Einbettung kümmert sich das etwa 20-köpfige Team der Hochschul-Abteilung Geographie, darunter auch Geologen und Geoökologen. Sie gehen gezielt auf die Bedürfnisse der Lehrer ein: Für diese ist es wichtig, dass die Arbeit mit den digitalen Geomedien den Lehr-

Alexander Siegmund, der Leiter der GIS-Station, ist fasziniert von den Möglichkeiten der digitalen Geomedien.

Dozent Daniel Volz erklärt Zwölfklässlern, wie sie eine Karte mit Daten anreichern können.

plan erfüllt, weiß man in der GIS-Station. Dazu gehören Themen wie die besagte Abholzung des tropischen Regenwalds sowie Verstädterung und Klimawandel.

Doktoranden und Studenten der Hochschule sorgen mit ihren wissenschaftlichen Arbeiten unter der Ägide von Alexander Siegmund kontinuierlich für neue Ergebnisse aus den unterschiedlichsten Bereichen. Darin geht es zum Beispiel um die



Analyse von Windkraftpotenzialen oder die Landveränderung durch den Bewässerungsfeldbau am Aralsee. Angehende Lehrer bringen diesen Stoff in ihren Zulassungsarbeiten auf schulisches Niveau.

Auch Siegmund selbst versorgt die GIS-Station mit Daten aus aller Welt: „Ende 2006 war ich in der Antarktis und habe dort an einem internationalen Klimaforschungsprojekt teilgenommen. Dabei ging es auch darum, Polarforschung stärker in die Öffentlichkeit zu bringen“, erzählt der Geograph. Im Ökolabor, das in der Abteilung gerade eingerichtet wird, können Schüler nun selbst erforschen, wie sich das Schmelzen des Schelfeises in der Antarktis auf die Meeresströmungen auswirkt.

Das Ökolabor ist auch die Heimat von Susi, einer ferngesteuerten Flugdrohne mit Seltenheitswert. Derzeit gibt es nur rund 25 Stück davon auf der Welt. Susi, die mit ihrem Gleitschirm an ein fliegendes Gokart erinnert, kann mit bis zu acht Kilogramm an Kameras behängt werden. Die Drohne liefert detaillierte Luftaufnahmen von jedem Gelände. Die Bilder können direkt in

den Computer geladen und ausgewertet werden. „So sehen Schüler, wie ein Luftbild entsteht“, erklärt Siegmund.

Die Schüler werden zudem mit der Satellitenbildauswertung vertraut gemacht. Dazu werden etwa Gebiete des tropischen Regenwalds auf zwei Satellitenbildern von 1985 und 2005 in verschiedene Nutzungstypen eingeteilt: unberührter Regenwald, frisches Brachland, Plantagengebiet und Sekundärwald. Beim Vergleich der Bilder lernen die Schüler zu erkennen, wie viel Prozent des Regenwaldes innerhalb der erfassten 20 Jahre in Plantagen umgewandelt wurden.

AUSGEZEICHNET: DER GIS-FÜHRERSCHEIN

Die meisten Jugendlichen bleiben nur einen Vormittag in der GIS-Station. Aber es gibt auch Schulklassen, die dort ihr eigenes Projekt bearbeiten und daher immer wieder kommen. Ihre Leistungen sollen künftig in Form eines Zertifikats honoriert werden. Alexander Siegmund plant einen „GIS-Führerschein“ für Lehrer und Schüler sowie die Auszeichnung „Stützpunkt-Schule“ für Schulen, die besonders engagiert sind. „Unser Motto ist die Nachhaltig-

keit“, ergänzt Ulrich Michel, Professor für Geoinformatik und ihre Didaktik und IT-Manager der GIS-Station. Das Ziel sei, digitale Geomedien künftig dauerhaft in Schulen einzusetzen.

Eine Auszeichnung für die eigenen Leistungen hat das Kompetenzzentrum der Klaus Tschira Stiftung bereits erhalten: Die GIS-Station wurde in diesem Jahr vom Bundespräsidenten in die Riege der „365 Orte im Land der Ideen“ aufgenommen. „Der Preis steht für die Innovationskraft Deutschlands und ist für uns ein besonderer Ansporn“, betont Alexander Siegmund. Auch der nächste Schritt für eine noch stärkere Verankerung der Geomedien in den Schulen ist bereits gemacht. Denn der Station liegen Anfragen für dauerhafte Kooperationen mit Schulen vor. „Die Schulleiter wollen regelmäßig ganze Jahrgänge zu uns schicken. Und wir garantieren, dass wir ihnen exklusive Kurse bieten“, freut sich Raimo Becker-Haumann, Koordinator der GIS-Station. Und Siegmund fügt hinzu: „Mittlerweile ist das Projekt zum Selbstläufer geworden, die Schulen haben förmlich angeknipst.“

Wissenschaft + Verständlichkeit + Öffentlichkeit

KlarText!

Bewerben Sie sich

um KlarText!, den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft 2012.

Die Klaus Tschira Stiftung zeichnet jährlich Wissenschaftler aus, die die Ergebnisse ihrer herausragenden Dissertation in einem allgemein verständlichen Artikel beschreiben.

Jeder Bewerber hat die Möglichkeit, am Workshop Wissenschaftskommunikation teilzunehmen.

Bewerbungsbedingungen

- Promotion 2011 in Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften, Physik oder einem angrenzenden Fachgebiet
- Herausragende Forschungsergebnisse
- Ein allgemein verständlicher Textbeitrag über die eigene Forschungsarbeit
- Einsendeschluss: 29. Februar 2012

Mitmachen lohnt sich

- 5000 Euro Geldpreis pro Gewinner in jedem der sechs Fachgebiete
- Veröffentlichung der Siegerbeiträge in einer KlarText!-Sonderbeilage des Wissenschaftsmagazins *bild der wissenschaft*
- Teilnahme der Gewinner an den Kommunikationstrainings der Klaus Tschira Stiftung

www.klaus-tschira-preis.info