

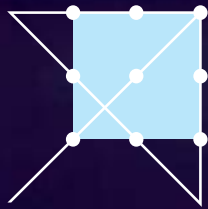
# bild der wissenschaft plus



# KLAUS TSCHIRA PREIS

## für verständliche Wissenschaft

# 2007



**KTS**

KLAUS TSCHIRA STIFTUNG  
GEMEINNÜTZIGE GMBH



**Die Klaus Tschira Stiftung  
fördert vor allem**

- **Forschungsvorhaben der angewandten Informatik, der Naturwissenschaften und der Mathematik**
- **die Lehre an den Hochschulen**
- **Schülerprojekte der Bereiche Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik.**

[www.kts.villa-bosch.de](http://www.kts.villa-bosch.de)

**Bei allen Aktivitäten ist die KTS darauf bedacht, das Verständnis der Öffentlichkeit für Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik zu fördern.**

# ZUR SACHE

## ENGLISCH IST WICHTIG, DEUTSCH ABER AUCH!

**WER ALS NATURWISSENSCHAFTLER** etwas bewegen will, braucht eine internationale Karriere. Stets im selben Institut zu arbeiten, ist geradezu verpönt. Viele Nachwuchsforscher gehen deshalb unmittelbar nach ihrer Promotion ins Ausland. Dort sind ihre Chancen oft hervorragend. Denn überall in der Welt gelten in Deutschland ausgebildete Physiker, Chemiker oder Mathematiker als

besonders befähigt. Die meisten zieht es in die USA. Das Land bietet sich gleich mehrfach an: In vielen Wissenschaftsdisziplinen sind US-Institute führend. Der dortige Lebensstil gilt als unkompliziert. Und Englisch ist die Sprache, in der die meisten Wissenschaftler verkehren. Wieder zurück in Germany ist es dann naheliegend, den englischen Slang beizubehalten, Grafiken englischsprachig zu erklären, ja am besten gleich alle Vorträge auf Englisch zu halten, damit man international auch verstanden wird. Gut so. Doch nicht gut genug! Denn die deutsche Öffentlichkeit wird dadurch ausgeschlossen vom Wissenserwerb.



K. Meilenthin

Wolfgang Hess, Chefredakteur

Dabei bemängeln gerade Wissenschaftler das dürftige öffentliche Interesse an ihrer Arbeit. Doch wie soll Interesse geweckt werden, wenn kein Laie versteht, worum es geht? Wer die Öffentlichkeit mobilisieren will, muss deren Sprache sprechen. Die wenigen Wissenschaftler, die das können, haben Zulauf und sind gefragte Medienpartner.

Dass aus den Wenigen viele werden, ist eine Aufgabe, die Klaus Tschira – Mitbegründer der SAP AG – bundesweit in Angriff genommen hat. Zum zweiten Mal nach 2006 werden junge Wissenschaftler mit dem Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft ausgezeichnet. In diesem Jahr sind es drei Frauen und zwei Männer, die in den Fächern Biologie, Chemie, Neurowissenschaften, Mathematik und Physik einen Preis erhielten. Am 11. Oktober bekamen sie in einer Festveranstaltung in Heidelberg ihre Urkunden überreicht – verbunden mit einem Preisgeld von je 5000 Euro. Gewürdigt wurde dadurch eine wissenschaftlich hervorragende Promotionsarbeit, die so gekonnt zusammengefasst wurde, dass deren Inhalt und Relevanz jeder Interessierte verstehen kann.

Wir freuen uns, die von der Jury ausgewählten Beiträge in diesem bild der wissenschaft-plus vorzustellen. Alle Texte präsentieren wir in der Originalfassung. Für die Optik sorgte die bdw-Redaktion. Und noch ein Anlass zur Freude: Bei der diesjährigen Ausschreibung gab es 132 Bewerbungen. Gegenüber dem Vorjahr ist das ein Plus um fast 60 Prozent. Die Bewerber haben sich der Mühe unterzogen, ihre erste wissenschaftliche Arbeit für die Öffentlichkeit aufzuarbeiten. Dafür gebührt allen großer Dank. Wir vertrauen darauf, dass der Klaus Tschira Preis die Gewinner motiviert, ihre Forschung auch künftig so darzustellen, dass sie Außenstehende begreifen. Was daraus werden kann, offenbart der Beitrag über die Vorjahressieger in diesem Heft.



**Wissen zieht:** Mit einer Lok machte die Klaus Tschira Stiftung auf ihren Preis aufmerksam. 2007 sprangen fünf junge Wissenschaftler auf den Erfolgsszug auf.

## INHALT

- 3 Zur Sache**
- 4 Kleine Wunder selbst kreiert**  
Die Nachwuchsförderung der Klaus Tschira Stiftung
- 6 Der Erfolg ließ nicht auf sich warten**  
Was aus den Preisträgern 2006 wurde
- 7 Impressum**
- 8 Das Ende der Eis-Zeit?**  
Dirk Notz, Physik
- 12 Von diskreten Mathematikern und Wanderungen im Gebirge**  
Sebastian Sager, Mathematik
- 16 Die Nadel im nervösen Heuhaufen**  
Jacqueline Burré, Chemie
- 20 Wenn das Gehirn am Steuer sitzt**  
Miriam Sperring, Neurowissenschaften
- 24 Riproximin: Schamanen-Pulver oder Krebsmedikament?**  
Cristina Voss, Biologie



Cover: Klaus Tschira Stiftung gGmbH, Montage: K. Marx

Klaus Tschira Stiftung gGmbH

Strahlende Gesichter bei der Verleihung des Klaus Tschira Preises 2006 in Heidelberg

# KLEINE WUNDER SELBST KREIERT

Wie lockt man den Nachwuchs in die Naturwissenschaft?  
Die Klaus Tschira Stiftung schafft es mit dem Projekt Explore Science,  
bei dem schon Fünftklässler zu Forschern werden.



Text: Thorsten Langscheid

**WIE BEKOMMT MAN** ein selbst konstruiertes U-Boot dazu, ohne Fernsteuerung in einem Becken abzutauchen, am Boden unter Wasser zu verharren und nach einer festgesetzten Zeit selbstständig wieder aufzutauchen? Gute Frage. Und wenn man's geschafft hat, wenn das Boot so taucht wie verlangt, wie erklärt man's dann seinen Freunden, der Familie oder der Öffentlichkeit? Mitunter ist dies sogar viel schwieriger. Naturwissenschaft und Technik verstehen und verständlich machen ist eine Aufgabe, die schon ganzen Pädagogen-Generationen jede Menge Nerven gekostet hat. Wer im Sommer im Mannheimer Luisenpark vorbeischaute, der kann dort von der Klaus Tschira Stiftung (KTS) lernen, wie es gemacht wird.

Mehr als 5000 Schüler, die ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsprojekte präsentieren, in Labor- und Experimentierzelten erste wissenschaftliche Gehversuche unternehmen oder als Science-Reporter über die Arbeit ihrer Altersgenossen berichten, zeigen, dass Wissenschaft verstehen und verständlich machen alles andere als ein aussichtsloses Unterfangen ist. Das Ganze nennt sich Explore Science und ist nicht etwa ein dröger Schüler-Kongress. Im Gegenteil: Vier Tage lang feiern die Jugendlichen ein gigantisches, fröhliches, begeisterndes Lern-

fest im Stadtpark. Sie schufteten mit glühenden Gesichtern bis zum letzten Augenblick, um ihren Beitrag erfolgreich im Schülerwettbewerb zu präsentieren, sie verfolgten gespannt, was ihre Mitbewerber zu bieten haben und diskutieren hartnäckig mit Wissenschaftlern, Lehrern und Betreuern.

Explore Science 2007 schlug gut und gerne 22.000 Menschen in den Bann. So viele kamen als Zuschauer, besuchten die Ausstellungen oder verfolgten als Gasthörer das spannende und unterhaltsame Vortragsprogramm: „Es war ein tolles Gewimmel“, zieht Renate Ries, Sprecherin der Klaus Tschira Stiftung, strahlend Bilanz. Damit das „Gewimmel“ gut über die Bühne geht, leisten an die 300 Helfer ganze Arbeit. Alleine an den sechs Physik-Wettbewerben beteiligen sich regelmäßig weit über 2000 Jugendliche, deren Beiträge von fachkundigen Juroren – Wissenschaftlern aus den Hochschulen der Region – begutachtet und bewertet werden. Im Mittelpunkt der diesjährigen Veranstaltung stand in enger Kooperation mit dem Mannheimer Landesmuseum für Technik und Arbeit das Thema „Bionik – Lernen nach dem Vorbild der Natur“. Experimentalvorträge, Mitmachaktionen, Schülerlabore, ein spezielles Programm für Kindergarten- und Grundschul-

kinder, Lernorte im ganzen Luisenpark und eine interaktive Physikshow auf der Seebühne waren die Hauptattraktionen. Science-Promis wie die Moderatorin der Fernseh-Sendung „Wissen macht Ah!“, Shary Reeves, und der Comedian Bürger Lars Dietrich, traten als Star-Wissensvermittler bei der spannenden Eröffnungsshow auf.

Mit zum Programm gehören die nicht minder interessanten Kurzvorlesungen, die zahlreiche Kinder und Jugendliche anlocken. Trocken vom Katheder herab zu dozie-



Tüfteln und Verstehen: Bei Explore Science bauen Schüler U-Boote (oben), nehmen Gestein unter die Lupe (Mitte) und lassen Froschmodelle springen (rechts).



Klaus Tschira Stiftung gGmbH

**Über 5000 neugierige Jugendliche kamen in den Luisenpark in Mannheim.**

ren ist dabei strengstens verboten. Wissenschaftler, die eine Einladung zum Explore Science-Experimentalvortrag erhalten, müssen schon etwas zu bieten haben. In diesem Jahr brachten die Experten zum Beispiel die Erklärung mit, wie Fledermäuse an ihre nächtliche Lebensweise angepasst sind, worin der Unterschied zwischen einem fliegenden Vogel und einem einige hundert Tonnen schweren Düsenklipper besteht, und warum Lebewesen überhaupt in die Luft gehen. Mit im Publikum sitzen stets Fünftklässler, die für den täglich erscheinenden „Science Express“ die Vortragsqualität beurteilen. Die Science-Reporter nehmen in ihren Berichten kein Blatt vor den Mund – sie loben, aber sie kritisieren auch bei Bedarf. Klaus Tschiras Stiftung geht es bei alldem



um die unterhaltsame und verständliche Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte. „Wir wollen einem Song wie ‚We don't need no education‘ etwas entgegensetzen, was den jungen Leuten Spaß macht“, so Tschiras einleuchtende Begründung für sein Engagement. In den Schulen der Rhein-Neckar-Region hat Explore Science bereits seinen festen Platz gefunden: KTS-Geschäftsstellenleiterin Beate Spiegel und ihr für die Schülerwettbewerbe verantwortlicher Kollege Markus Bissinger registrieren gleich in den ersten beiden Jahren des zunächst auf fünf Jahre angelegten Projektes „überwältigende Teilnehmerzahlen“. Und regelrechte Fans, die jedes Jahr wiederkommen, haben die naturwissenschaftlichen Erlebnistage bereits jetzt.

Kein Wunder: Mit Explore Science hat Klaus Tschira, dessen schiere Lust an allem, was mit den Naturwissenschaften und ihrer Vermittlung zu tun hat, ansteckend ist, eine begeisternde Veranstaltung in der Rhein-Neckar-Region aufgebaut. Kernstück der Erlebnistage ist der Schülerwettbewerb, den Axel Carl organisiert, von Hause aus Fachmann für Tieftemperaturphysik.

Carl ist ein pädagogisches Naturtalent. Statt in abgedunkelten Hörsälen trockene Theorie-Vorträge zu halten, turnt er lieber in T-Shirt, Jeans und Trekking-Stiefeln den ganzen Tag mit „seinen“ Schülern draußen herum, bastelt Ultraleicht-Flugzeuge, lässt Frösche im Dreisprung hüpfen oder U-Boote in den Fluten von Planschbecken und Aquarien versinken. Carls Erfolgsrezept lautet ganz einfach: „Wir machen keine reine Besten-Auswahl“ – ein Konzept, das auch Klaus Tschira, SAP-Mitbegründer und Geldgeber der Heidelberger Klaus Tschira Stiftung überzeugte. „Die pfiffigste Idee ist bei unserem Wettbewerb genauso wichtig wie die technische Umsetzung.“

„Die Jugendlichen merken auf einmal, dass sie selbst wissen wollen, wie etwas funktioniert“, erklärt Carl. „Die Lehrer sollen ihnen gar nicht so viel dabei helfen, die sollen sie höchstens betreuen und unterstützen.“ Die Schüler treten bei Explore Sci-

Klaus Tschira Stiftung gGmbH; M. Winter



## KLAUS TSCHIRA STIFTUNG KOMPAKT

Naturwissenschaften, Mathematik und angewandte Informatik



KLAUS TSCHIRA STIFTUNG  
GEMEINNÜTZIGE GMBH

– diese Themen stehen im Mittelpunkt der Förderung durch die Klaus Tschira Stiftung (KTS). 1995 errichtete Klaus Tschira die KTS in Form einer gemeinnützigen GmbH und stattete sie mit einem großen Teil seines Privatvermögens aus, das er als Mitgründer des Softwareunternehmens SAP verdient hatte. Die Klaus Tschira Stiftung gehört zu den großen Stiftungen der Bundesrepublik, die Wissenschaft und Bildung fördern. Sitz der Stiftung ist die Villa Bosch in Heidelberg.

Die Stiftung unterhält ein eigenes Forschungsinstitut, fördert wissenschaftliche Projekte sowie die Lehre an staatlichen und privaten Hochschulen und unterstützt naturwissenschaftlich-technische Kindergarten- und Schülerprojekte. Besonders setzen sich Klaus Tschira und seine Mitarbeiter dafür ein, naturwissenschaftliche Themen in der Öffentlichkeit zu vermitteln. Zu den selbst organisierten Projekten zählen unter anderen der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft, Kommunikationstrainings für Wissenschaftler, die naturwissenschaftlichen Erlebnistage Explore Science sowie der Jugendsoftwarepreis.

Mehr Informationen gibt es unter [www.kts.villa-bosch.de](http://www.kts.villa-bosch.de)

ence grundsätzlich bunt gemischt in allen Altersgruppen an, und schon wird aus dem kompetitiven Gegeneinander des Kampfs um den Sieg ein kooperatives Ringen um die besten Ergebnisse. Tatsächlich: Dass die Jüngsten mit Plastikdose und Sand vom Spielplatz eine geniale Lösung der eingangs geschilderten U-Boot-Aufgabe präsentieren und damit einen zweiten Platz belegen, während eine Elftklässler-Truppe noch fieberhaft an ihrem hochkomplexen, computergesteuerten Tauchgerät arbeitet und schließlich wegen technischer Probleme aufgeben muss, macht den Reiz dieses grandiosen „Wettbewerbs des Miteinander“ aus. Gelernt haben am Ende nämlich alle zusammen etwas. ■



Klaus Tschira Stiftung gGmbH

# DER ERFOLG LIESS NICHT AUF SICH WARTEN

Es lohnt sich, Wissenschaft verständlich zu machen. Alle Klaus Tschira-Preisträger 2006 sind seit der Preisvergabe auf der Karriereleiter ein paar Sprossen nach oben gestiegen.

Text: Cornelia Varwig

**HABEN SIE EINE AHNUNG**, worum es in der Doktorarbeit mit folgendem Titel geht: „Multidimensionale Schwingungsspektroskopie Wasserstoff-verbrückter Systeme in flüssiger Phase: Kopplungsmechanismen und strukturelle Dynamik“? Kaum zu glauben, dass der Autor dieser Arbeit einen Preis für verständliche Wissenschaft bekommen haben soll. Doch – genau darin bestand die Leistung von Nils Huse und den anderen fünf Gewinnern des ersten bundesweiten Klaus Tschira Preises für verständliche Wissenschaft 2006: Sie haben ihre für die Fachwelt verfassten Dissertationen in gut lesbare, spannende Artikel verdichtet.

**Nils Huses** Arbeit mit dem komplizierten Titel machte letztes Jahr unter der Überschrift „Das kurze Gedächtnis des Wassers“ im Fach Physik das Rennen. Der Wissenschaftler, der gegenwärtig an einem Forschungsprojekt im kalifornischen Berkeley arbeitet, erinnert sich gut daran, wie sein Wasser-Artikel hohe Wellen schlug. Denn nebenbei zeigte Huse darin, dass ein Wassergedächtnis, das homöopathische Heilung erklären soll, so nicht existiert – eine Aussage, die manchen gegen den Strich



Nils Huse

D. Gust

geht. Doch Kritik nimmt er gelassen. Schließlich habe es auf den Siegerbeitrag überwiegend positive Reaktionen gegeben. Zwar genießt der gebürtige Hamburger derzeit noch die Forschungsatmosphäre am Lawrence Berkeley Laboratory, das von der dortigen Elite-Universität betrieben wird, doch dauerhaft möchte er in Europa leben und forschen. Er meint: „Die Juniorprofessur und mehr Geld für die Universitäten sind immerhin erste Schritte, um deutsche Wissenschaft attraktiver zu machen.“

An der US-amerikanischen Forschungsmentalität orientiert sich auch der Klaus Tschira Preis. „Es ist wichtig, dass die Forscher ihre Erkenntnisse der Öffentlichkeit



Armin Fügenschuh

T. Wegner

vermitteln können“, weiß Renate Ries von der Klaus Tschira Stiftung. Das ist mit den ausgezeichneten Wissenschaftlern der ersten Ausschreibung gelungen: „Sie haben den Sprung ins Radio und in Tageszeitungen geschafft“, freut sich Ries. Die Sonntagsausgabe der Rheinpfalz brachte einige Siegertexte jeweils auf einer ganzen Seite.

Trotz des Erfolgs haben Renate Ries und Beate Spiegel, die die Geschäftsstelle der Stiftung leitet, für die künftigen Einsendun-

gen einen Wunsch: Der Kern der eigenen Arbeit soll noch genauer dargestellt werden. „Es ist leichter, einen Überblick zu geben, als den Inhalt einer Dissertation zu erklären. Doch genau das ist gewollt.“ Ins-



Florian Bredenbruch

S. Kröger

gesamt ist die Stiftung mit der Ausbeute von 132 Einsendungen zufrieden: 54 Beiträge kamen aus der Biologie, 25 von Physikern, 16 von Informatikern, 15 aus der Chemie, 13 aus der Mathematik und 9 von Neurowissenschaftlern. „Das Verhältnis von Männern und Frauen hielt sich in etwa die Waage“, berichtet Ries.

Bei der schwierigen Aufgabe, aus dem Angebot an wissenschaftlichen Delikatessen die Filetstücke 2007 herauszufischen, hatte diesmal auch **Armin Fügenschuh** ein Wörtchen mitzureden. Der Preisträger 2006 im Fach Mathematik saß in der Endjury neben Winfried Göpfert, dem emeritierten Professor für Wissenschaftsjournalismus, Wolfgang Klein, dem Geschäftsführenden Direktor des Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik, Konrad Müller, dem Generalsekretär der European Life Scientist Organisation ELSO und dem bdw-Chefredakteur Wolfgang Hess.

„KlarText!“ (Stele links) haben alle Preisträger 2006 gesprochen und damit ihr Wissen der Öffentlichkeit näher gebracht.

Die öffentliche Aufmerksamkeit, die durch den Klaus Tschira Preis entstanden ist, hat Fügenschuh in seinem Beruf nach vorne katapultiert. Seine Berechnungen für optimale Schulanfangszeiten und die damit verbundene Einsparung von Schulbussen waren ein „gefundenes Fressen“ für Journalisten und Politiker. „Hätte ich nur in Fachzeitschriften veröffentlicht, wäre das Thema bald erledigt gewesen. Die Anwendung macht die Sache erst interessant“, meint Fügenschuh. In einem mittelhessischen Landkreis ist bereits eine Vorstudie abgeschlossen. Hier könnten acht Busse weniger fahren und dem Landkreis pro Bus rund 30 000 Euro jährliche Zuschüsse sparen. Dank Fügenschuh kann womöglich auch bald in anderen Branchen gespart werden: „Für den Güterverkehr auf Schienen entwickeln wir gerade ein Konzept. Und ein großes deutsches Luftfahrtunternehmen hat Interesse für die Optimierung von Abflugzeiten ange-



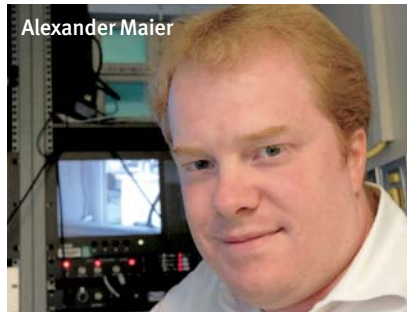
Peter Birkholz

R. Frommann

meldet.“ Wenn alles nach Plan läuft, wird Fügenschuh bald ein selbstständiger Unternehmer sein – mit einer Firmenausgründung des Mathematik-Lehrstuhls der TU Darmstadt. Fügenschuh: „Diesen Erfolg führe ich auch auf den Tschira Preis zurück.“

Dem Preis verdankt auch der Biologe **Florian Bredenbruch**, dass seine Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung plötzlich Ärzte und Patienten interessierten. Er beschäftigte sich in seiner Arbeit mit der „Kommunikation“ von Bakterien, die in der

Lunge von Mukoviszidose-Kranken eine chronische Infektion verursachen. „Nach der Veröffentlichung meines Beitrags bedankte sich eine Patientin per E-Mail bei mir. Und die Mutter einer Kranken fragte nach Tipps und weiteren Ergebnissen“, berichtet Bredenbruch. Er sei zwar kein Mediziner und könnte daher keine ärztlichen Ratschläge geben, betont der Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig. Doch nach den



Alexander Maier

M. Katz

positiven Reaktionen wisse er es umso mehr zu schätzen, wenn seine Forschung zu weiteren Therapiemöglichkeiten führen würde.

Auch den Informatiker **Peter Birkholz** hat die Auszeichnung mit dem Klaus Tschira Preis zu einem überdurchschnittlichen Engagement für sein Fach motiviert. Er hatte sich mit einem Bericht über die Computersimulation menschlicher Sprache beworben. Nun betreibt er eine eigene Internetseite ([www.vocaltractlab.de](http://www.vocaltractlab.de)), auf der er die Sprach- und Gesangssynthese anschaulich erklärt. In mehreren Bereichen ist auch eine praktische Anwendung seiner Forschung geplant: Mediziner der RWTH Aachen wollen sein Konzept für die Entwicklung einer Sprachtherapie verwenden. Und Birkholz, der sich die Phonetik im Selbststudium beigebracht hat, arbeitet an der Verbesserung eines Vorleseautomaten. Das Preisgeld von 5000 Euro steckte er in den Bau eines humanoiden Roboters – neben der Sprachsimulation seine zweite Leidenschaft.



Christian Schmitz

T. Wegner

Der Neurowissenschaftler **Alexander Maier** hat das Preisgeld in einen leistungsfähigen Computer für seine Arbeit investiert. Er erforscht seit 2004 an den National Institutes of Health in Bethesda, Maryland, das menschliche Bewusstsein – auch das Thema seiner Doktorarbeit. „Den Text für den Klaus Tschira Preis auf Deutsch zu schreiben, war nach so langer Zeit im Ausland keine leichte Übung. Meine Familie und Freunde haben mir geholfen“, erzählt Maier.

In die USA ging kurz nach der Preisverleihung auch **Christian Schmitz**. Der Chemiker, der zuletzt am Max-Planck-Institut (MPI) für Metallforschung in Stuttgart forschte, ist in nächster Zeit an der Harvard School of Engineering and Applied Sciences anzutreffen. Dort setzt er seine bisherige Arbeit fort: Er nutzt künstliche, der Biologie nachempfundene Mikrostrukturen, um Reaktionen von Enzymen und Zellen zu untersuchen. Bei seiner Bewerbung für den Klaus Tschira Preis hatte er mit seinem Beitrag über künstliche Zellrinde überzeugt. Zwar war Schmitz mit dem Arbeitsumfeld am MPI in Stuttgart zufrieden, doch die quirlige „Harvard-Atmosphäre“ begeistert ihn. „Diese Elite-Einrichtungen, bei denen Leistung der entscheidende Maßstab ist, vermissе ich in Deutschland“, bemängelt Schmitz. Initiativen wie den Klaus Tschira Preis sieht er deshalb sehr positiv, da sie Leistung honorieren – und damit junge Wissenschaftler motivieren. ■

## IMPRESSUM

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

**Herausgeberin:** Katja Kohlhammer

**Verlag:**  
Konradin Medien GmbH  
Ernst-Mey-Straße 8  
70771 Leinfelden-Echterdingen

**Verlagsleitung:** Joachim Bettinger

**Chefredakteur:** Wolfgang Hess

**Projektteam (Text):** Renate Ries, Cornelia Varwig, Sandra Murr

**Grafische Gestaltung:** Karl Marx

**Bildredaktion:** Susanne Söhling-Lohnert

**Vertrieb:** Rüdiger Eichholz

**Druck:**  
Konradin Druck  
Ernst-Mey-Straße 8  
70771 Leinfelden-Echterdingen

Klaus Tschira Stiftung gGmbH  
Villa Bosch  
Schloss-Wolfsbrunnenweg 33  
69118 Heidelberg

[www.kts.villa-bosch.de](http://www.kts.villa-bosch.de)  
[www.klaus-tschira-preis.info](http://www.klaus-tschira-preis.info)

Wie schnell das Packeis der Arktis schmilzt, hängt auch von seinem Salzgehalt ab. Der ist erstmals vor Ort genau messbar. Das soll zur Präzisierung bisheriger Klimamodelle beitragen.

## DAS ENDE DER EIS-ZEIT?

Durch die Klimaerwärmung hat sich die Fläche des arktischen Meereises in den letzten Jahrzehnten rapide verringert. Um die zukünftige Entwicklung besser vorhersagen zu können, verwendeten Wissenschaftler der University of Cambridge jetzt eine neuartige Theorie – und stießen dabei auf Widersprüche zu früheren Messergebnissen.

Text: Dirk Notz

„IST ES NICHT HERRLICH, dieses Wunderwerk aus gefrorenem Meerwasser?“ Grae Worster, Professor an der University of Cambridge, zeigt mit einer weit ausholenden Armbewegung fasziniert über die Landschaft. Vor ihm erstreckt sich eine Weite von eigentümlicher Schönheit und Unnahbarkeit, eine unendliche weiße Fläche, die aus nichts als gefrorenem Licht zu bestehen scheint. Die einzigen Farbtupfer werden von einer kleinen Gruppe Wissenschaftler gebildet, die mitten in dieser scheinbar so lebensfeindlichen Welt ihr Camp aufgeschlagen haben. Ihr Ziel: zu ver-

stehen, wie dieses „Wunderwerk aus gefrorenem Meerwasser“, gemeinhin auch einfach „Meereis“ genannt, entsteht, welche Struktur es hat, wie es mit der Atmosphäre und dem Ozean in Wechselwirkung tritt. Und obwohl die Wissenschaftler scheinbar völlig ohne Hektik damit beschäftigt sind, für ihre Messinstrumente Löcher in das knapp einen halben Meter dicke Eis zu sägen, haben sie doch unbewusst das Gefühl, unter enormem Zeitdruck zu stehen. Denn die Welt, die im Moment ihr Zuhause bildet, ist vom Verschwinden bedroht.

T. Heller für baw

### DR. DIRK NOTZ

\* 1975 in Genf (Schweiz)

1994 Abitur

Zivildienst

ab 1996 Meteorologiestudium an der Universität Hamburg und an der University Centre in Svalbard, Spitzbergen

2001 Diplom-Meteorologe

2002 bis 2005 Doktorand an der University of Cambridge, UK

25.3.2006 Promotion (PhD)

seit 2005 Postdoc am Max-Planck-

Institut für Meteorologie in Hamburg

ab 2008 Leiter der Nachwuchsgruppe

„Meereis im Erdsystem“ am MPI

[dirk.notz@zmaw.de](mailto:dirk.notz@zmaw.de)





Messungen von U-Booten aus deuten darauf hin, dass sich in den letzten Jahrzehnten die durchschnittliche Dicke des Meereises in der Arktis um 40 Prozent verringert hat. Seine Fläche in den Sommermonaten hat im Vergleich zu den Siebzigerjahren um fast zwei Millionen Quadratkilometer abgenommen, der Lebensraum unzähliger Tierarten ist in nur dreißig Jahren um das Fünffache der Fläche Deutschlands geschrumpft. Und das Abschmelzen des Meereises scheint sich fortzusetzen: Einige der am weitesten entwickelten Klimamodelle sagen übereinstimmend voraus, dass möglicherweise schon Mitte dieses Jahrhunderts der Arktische Ozean im Sommer vollständig eisfrei sein könnte.

Für solche Prognosen ist die realistische Simulation von Meereis in Computermodellen notwendig. Dabei liegt eine der Hauptschwierigkeiten darin, den Salzgehalt von Meereis wirklichkeitsgetreu nachzubilden. Im Gegensatz zu dem Eis, das sich auf Seen oder Flüssen bildet, besteht Meereis nämlich nicht nur aus gefrorenem Wasser. Bei näherem Hinsehen erkennt man vielmehr unzählige, millimeterdünne, senkrecht angeordnete Blättchen aus reinem Eis, zwischen denen sich eine flüssige Salzlake befindet. Wenn Ozeanwasser gefriert, wird das im Wasser gelöste Salz von den sich bildenden Eiskristallen zur Seite gedrückt und in der Salzlake immer stärker konzentriert. Wegen ihres hohen Salzgehalts bleibt die Lake auch bei Temperaturen weit unterhalb von Null Grad Celsius flüssig.

Das Vorhandensein dieser Salzlake in Meereis hat einen bisher kaum verstandenen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung unseres Erdklimas. So hängt zum Beispiel das Isolationsvermögen von Meereis, das den Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre erheblich reduziert, von der Menge der vorhandenen Salzlake ab. Ohne die Bedeckung durch Meereis würde der Ozean im Winter gigantische Mengen Wärme an die Atmosphäre abgeben, ähnlich wie ein Topf mit heißem Wasser Wärme an die viel kältere Küchenluft abgibt, wenn man den Deckel abnimmt.

Noch wichtiger für die Wechselwirkung der Salzlake mit dem globalen Klima ist

Eine gespenstige Stimmung herrscht am Arbeitsplatz von Dirk Notz. Er verbringt mehrere Wochen auf dem Segelschiff „Dagmar Aaen“ in der Arktis.



jedoch die Tatsache, dass ein Großteil der ursprünglich im Eis vorhandenen Salzlake im Laufe der Zeit in das darunterliegende Ozeanwasser fließt. Hierdurch nimmt dessen Dichte zu, denn je mehr Salz in einem Liter Meerwasser gelöst ist, umso schwerer wird das Wasser. In der Antarktis wird das Ozeanwasser durch dieses Ausfließen der Salzlake aus Meereis so stark mit Salz angereichert, dass es schwerer wird als fast alle anderen auf unserem Planeten vorhandenen Wassermassen. Es sinkt wie in einem gigantischen Fahrstuhl in die Tiefe, bis es den Meeresboden erreicht und sich von dort

über die Weltmeere ausbreitet. Um die globalen Ozeanströmungen, das Absinken und Aufsteigen von Wasser in den Tiefen der Meere, realistisch nachbilden zu können, muss also die Entwicklung des Salzgehalts von Meereis verstanden werden. Schon die ersten wissenschaftlichen Expeditionen, die sich im 19. Jahrhundert mit ihren Segelschiffen vorsichtig in das Packeis der Arktis vorarbeiteten, führten daher entsprechende Messungen durch. Aber auch mehr als ein Jahrhundert später steht eine detaillierte theoretische Beschreibung der physikalischen Prozesse, die der Entwicklung des

Salzgehalts von Meereis zugrunde liegen, immer noch aus.

Im Rahmen seiner Doktorarbeit am Fachbereich für angewandte Mathematik der University of Cambridge ist Dirk Notz zusammen mit seinem Betreuer Prof. Grae Worster jetzt einer solchen Theorie ein großes Stück näher gekommen. Sie benutzten zur Beschreibung von Meereis einen Satz mathematischer Gleichungen, der für sogenannte „mushy layers“ („breiige Schichten“) entwickelt worden ist. Diese Gleichungen, die ursprünglich im Bereich der Metallurgie benutzt wurden, beschreiben Stoffe, die aus mehreren Inhaltsstoffen bestehen, welche zusammen ein Zweiphasengemisch bilden. Und genau das trifft auf Meereis zu: Es besteht aus verschiedenen Inhaltsstoffen, nämlich Salz und Wasser, die zusammen ein Zweiphasengemisch aus flüssiger Salzlake und festem Süßwassereis bilden.

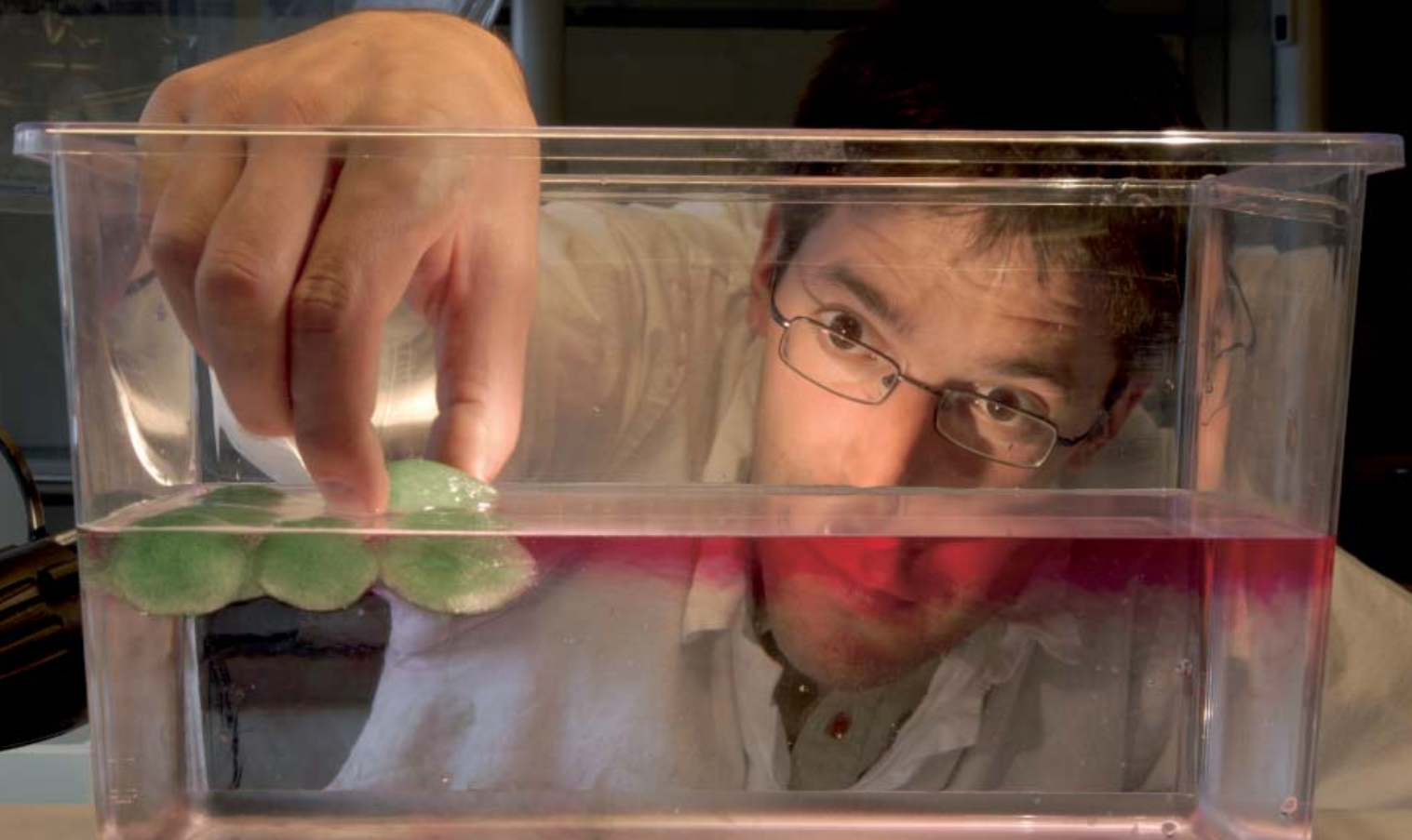
Bei der Anwendung dieser Gleichungen für die Beschreibung von Meereis stießen die Forscher jedoch auf ein überraschendes Ergebnis: Wenn ihre Theorie stimmte, dann müsste Meereis an der Grenzfläche zum darunterliegenden Ozean den gleichen Salzgehalt aufweisen wie Ozeanwasser. Bisher war man aufgrund von Messungen aus Eisbohrkernen jedoch davon ausgegangen, dass direkt an dieser Grenzfläche der Großteil des gelösten Salzes ins Meerwasser abgegeben wird, der Salzgehalt von Meereis also stets weitaus niedriger ist als der von Ozeanwasser. Die Forscher standen vor einem Rätsel – denn bei einem solchen Widerspruch zwischen Theorie und Messungen gilt in der Naturwissenschaft normalerweise, was der amerikanische Physiker Richard Feynman einmal so formulierte: „Es spielt keine Rolle, wie schön Deine Theorie ist. Es spielt auch keine Rolle, wie schlau Du bist. Wenn sie nicht mit Messergebnissen übereinstimmt, dann ist sie falsch.“

Aber die Wissenschaftler der University of Cambridge wollten sich nicht geschlagen geben. Nachdem sie ihre Theorie erfolglos auf mögliche Fehler abgeklopft hatten, wandten sie sich den Eisbohrkernen zu, einer Messtechnik, die sich seit dem Ende des



T. Heller

**Aus dem Bohrkern aus Meereis fließt Salzlake – ganz so viel wie im Salzsteuer kommt dabei aber nicht heraus.**



**Im Labor untersucht der Meteorologe, wie das salzige Wasser aus den grün gefärbten Meereiswürfeln im rot gefärbten wärmeren Wasser absinkt.**

19. Jahrhunderts kaum verändert hat: Mit einem großen, hohlen Bohrer wird ein Bohrkern aus dem Eis entnommen und in Scheiben gesägt. Diese Scheiben werden geschmolzen und der Salzgehalt des Schmelzwassers wird gemessen. Aus der ursprünglichen Anordnung der Eisscheiben wird dann auf die senkrechte Verteilung von Salz im Meereis geschlossen. Bei näherer Untersuchung dieser Technik stellten die Wissenschaftler fest, dass bei der Entnahme der Bohrkerns stets ein Teil der Salzlake aus dem Eis herausläuft, ähnlich wie Wasser aus einem Schwamm fließt, wenn man ihn aus einem Wassereimer nimmt. Diese Tatsache war zwar schon seit längerem bekannt – sie wurde aber normalerweise vernachlässigt, was bei mehrere Meter dickem Meereis durchaus gerechtfertigt zu sein scheint. Aber wie zuverlässig sind die Messungen, wenn das Eis in Zukunft immer dünner wird? Lassen sich die aus dickem Eis gewonnenen Messergebnisse dann noch benutzen?

Zur Beantwortung dieser Fragen und zur Überprüfung ihrer Theorie entwickelten die Wissenschaftler ein Instrument, das zum ersten Mal die kontinuierliche Messung des Salzgehalts von Meereis in situ, also direkt im natürlichen Meereis erlaubt, ohne dass Eisbohrkerne entnom-

men werden müssen. Dieses Instrument misst den Salzgehalt in verschiedenen Tiefen, wobei an jedem Messpunkt zwei extrem dünne Drähte horizontal aufgespannt sind. Zwischen diesen etwa 15 Zentimeter langen Drähten, die zueinander einen Abstand von wenigen Millimetern haben, wird der elektrische Widerstand gemessen. Da das reine Eis ein sehr guter elektrischer Isolator ist und nur die Salzlake den elektrischen Strom leitet, lässt sich hieraus der Anteil der Salzlake direkt bestimmen. Eine einzelne Messung dauert weniger als eine Sekunde, sodass sich die zeitliche Entwicklung des Salzgehalts von Meereis erstmals direkt und mit einer unerreicht hohen Auflösung messen lässt.

Erste Versuche mit diesem Messinstrument in künstlichem Meereis, das die Wissenschaftler im Labor erzeugten, zeigten vielversprechende Ergebnisse. Die Technik schien zu funktionieren – und ergab eine nahezu perfekte Übereinstimmung der Messergebnisse mit den Voraussagen der „mushy layer“-Theorie. Aber der eigentliche Test stand noch aus: die Messung des Salzgehalts in natürlichem Meereis.

Und so kam es, dass mitten in der gefrorenen Wüste des Arktischen Ozeans plötzlich rege Aktivität herrscht, dass ein kleiner Haufen von Wissenschaftlern bei Lufttemperaturen von unter minus 30 Grad Celsius Kabel verlegt, Generatoren anschließt, Messinstrumente studiert, mit klammen Fingern an Laptops arbeitet. Und immer wieder den Blick suchend über den Horizont schweifen lässt, auf der Suche nach möglicherweise herannahenden Eisbären.

Als dann endlich die ersehnten Zahlenreihen über die Bildschirme laufen, will jedoch keine rechte Freude aufkommen. Zwar bestätigen die Messungen die Voraussagen der Theorie, dass nämlich in natürlichem Meereis der Anteil der flüssigen Salzlake teilweise deutlich höher liegt, als die bisherigen Messungen aus Eisbohrkernen vermuten ließen. Aber zugleich bedeutet der hohe Flüssiganteil, dass das Meereis in Zukunft möglicherweise weitaus schneller abschmelzen könnte, als es die derzeitigen Klimamodelle vermuten lassen.

Und das sind wahrlich keine guten Nachrichten für das „Wunderwerk aus gefrorenem Meerwasser“.



Man könnte sagen „gut im Timing“ oder „gut berechnet“ – optimierte Abläufe ermöglichen einen entspannten Alltag.

Der Mensch plant seinen Alltag, der Mathematiker berechnet ihn – anhand der Optimalen Steuerung lassen sich viele Situationen des Lebens wie das Autofahren oder die Gebirgswanderung optimieren.

# VON DISKRETEN MATHEMATIKERN UND WANDERUNGEN IM GEBIRGE

Mathematische Methoden werden erfolgreich zur Verbesserung vieler praktischer Vorgänge eingesetzt und helfen dabei, kostbare Ressourcen einzusparen. Als sehr schwierig erwies es sich bisher, zeitabhängige Prozesse mit diskreten Entscheidungen wie der Auswahl eines geeigneten Ganges zu kombinieren.

Text: Sebastian Sager

**JEDER MENSCH**, der nicht den Charakter meines Stiefvaters Rolf teilt und schon viele Minuten vor der Ankunft des Zuges geduldig am Bahnsteig wartet, wird wissen, wie man mit einem Auto in kürzestmöglicher Zeit von einem Punkt A (Wohnung) zu einem Punkt B (Bahnhof) kommt. Und dabei noch berücksichtigt, am Punkt B zum Stehen zu kommen, um das Herausspringen aus dem fahrenden Auto zu vermeiden. Man tritt das Gaspedal bis zum Anschlag durch und verharret so, bis der Moment gekommen ist, blitzartig auf die Bremse zu wechseln. Diese wird nun ebenso durchgedrückt, um das Auto haargenau und mit quietschenden Reifen am Punkt B zum Stehen zu bringen. Die Reihenfolge der Gänge ist klar, und auch die Zeitpunkte, an denen man schalten sollte, wird ein geübter Fahrer recht gut bestimmen.

Weniger sagt die menschliche Erfahrung darüber aus, wie man möglichst wenig Energie auf einer solchen Fahrt verbraucht, beispielsweise unter der zusätzlichen Einschränkung, gemütliche drei Minuten vor Eintreffen des Zuges am Bahnhof zu sein. Spätestens wenn kompliziertere Beschrän-

kungen berücksichtigt werden müssen, sind durch mathematische Optimierungsmethoden gefundene den auf Erfahrung basierenden Fahrweisen überlegen. Solche zusätzlichen Beschränkungen könnten ein Benzinvorrat oder der ungeliebte Radarkasten auf halber Strecke sein. Relevant ist Optimierung für viele Beispiele des täglichen Lebens, die Ressourcen verbrauchen oder Kosten verursachen. Schon kleine Verbesserungen des Betriebs von U-Bahnen, Raumkapseln, Destillationskolonnen, Katalysatoren oder Reaktoren sind oft bares Geld wert bzw. schonen die Umwelt.

Die mathematische Disziplin der Optimalen Steuerung widmet sich der Frage, wie man solche „Prozesse“ derart beeinflusst, dass das bestmögliche Ergebnis herauskommt. Sie stützt sich auf drei Grundpfeiler: Modellierung, Simulation und Optimierung.

Die Modellierung beschäftigt sich damit, ein mathematisches Modell für einen realen Vorgang zu erstellen. Dieses basiert auf Wissen aus dem jeweiligen Anwendungsgebiet. So ist spätestens seit Newton bekannt, dass die Beschleunigung die zweite Ableitung der zurückgelegten Strecke ist, welche sich

daher bei festem Anfangszustand und gegebener Beschleunigung berechnen lässt. Andere Beispiele sind bekannte Erhaltungssätze, die oftmals physikalischen oder che-

## DR. SEBASTIAN SAGER

- \*1975 in Westerstede
- 1994 Abitur
- ab 1995 Mathematikstudium an der Universität Heidelberg
- 2001 Diplom-Mathematiker
- 2004 Forschungsaufenthalt an der Universidad Carlos 3 und Universidad de Valladolid in Madrid
- 2002 bis 2006 Doktorarbeit an der Universität Heidelberg
- 10.2.2006 Promotion zum Dr. rer. nat.
- Seit Februar 2007 Postdoc am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen in Heidelberg
- seit April 2007 Postdoc am Mathematischen Institut SIMUMAT Madrid

sebastian@sager1.de @

T. Wegner für bdw

mischen Modellen zugrunde liegen. Alle solche Modelle sind natürlich nur Näherungen der Wirklichkeit und vereinfachen an der ein oder anderen Stelle. Von der Berücksichtigung von Reibungskräften bis zu Wechselwirkungen auf Atomebene kann ein solches Modell beliebig verfeinert werden. Eine wichtige Aufgabe des Modellierers ist es, die richtige Mischung zwischen Einfachheit des mathematischen Modells und einer genügend genauen Beschreibung der Wirklichkeit zu finden.

Ausgehend von einem mathematischen Modell lassen sich verschiedene Szenarien durchspielen. Dies nennt man Simulation. Man legt alles fest, was irgendwie beeinflussbar ist. In unserem Beispiel sind dies der Anfangszustand (Auto steht am Punkt A) und die Beschleunigung des Autos, abhängig von der Zeit. Nun lassen sich per Hand oder per Computer die Modellgleichungen lösen, und man analysiert, was passiert.

Stimmen Simulation und Realität überein, so kann man mit der Optimierung beginnen. Hier geht es nun darum, die beein-

flussbaren Größen, auch Variablen genannt, so zu bestimmen, dass ein bestimmtes Kriterium minimiert wird. Dies ist häufig die benötigte Zeit oder Energie. Wenn genau zwei Größen zu bestimmen sind, entspricht dies anschaulich der Suche nach dem tiefsten Punkt eines Gebirges. Für jede mögliche Belegung der beiden Variablen lassen sich die zugehörigen Kosten berechnen. Stellt man diese grafisch in einem dreidimensionalen Diagramm dar, so erhält man ein Gebirge, dessen tiefster Punkt der gesuchten Lösung entspricht, da an diesem die Kosten minimal sind.

In der Praxis ist es allerdings zu aufwendig, das Gebirge komplett zu berechnen. Um den tiefsten Punkt mathematisch zu bestimmen, geht man daher so vor, wie dies auch ein Wandersmann tun könnte: Ausgehend von einem beliebigen Punkt geht man so lange bergab, bis es nicht mehr tiefer geht – zumindest nicht in der Umgebung des Standortes. Mathematisch wird dies mithilfe der Ableitungen einer Funktion festgestellt, die erste Ableitung einer Funktion gibt ja gerade deren Steigung an. Gibt es mehr als zwei Größen, so wird es anschaulich etwas komplizierter und nur geübte Star Trek Fans, die es gewohnt sind, in mehr als drei Dimensionen zu denken, finden sich noch zurecht. Mathematisch ändert sich glücklicherweise nichts, und das Abstiegskonzept kann übernommen werden. Dies ist anders, wenn die Variablen sich mit der Zeit ändern dürfen wie in dem Beispiel der Position des Gaspedals. Eine Möglichkeit, mit solchen zeitabhängigen Variablen umzugehen, besteht in der Unterteilung des betrachteten Zeitintervalles in Teilabschnitte. In jedem Teilabschnitt ist der Wert der Variablen, zum Beispiel die Position des Gaspedals, dann konstant und man hat wieder eine feste Anzahl von Größen für die Optimierung.

Mithilfe dieser grob skizzierten Vorgehensweise wurden seit der Mitte des letzten Jahrhunderts viele praktische Probleme gelöst – die gesamte Raumfahrt wäre undenkbar ohne Methoden der Optimalen

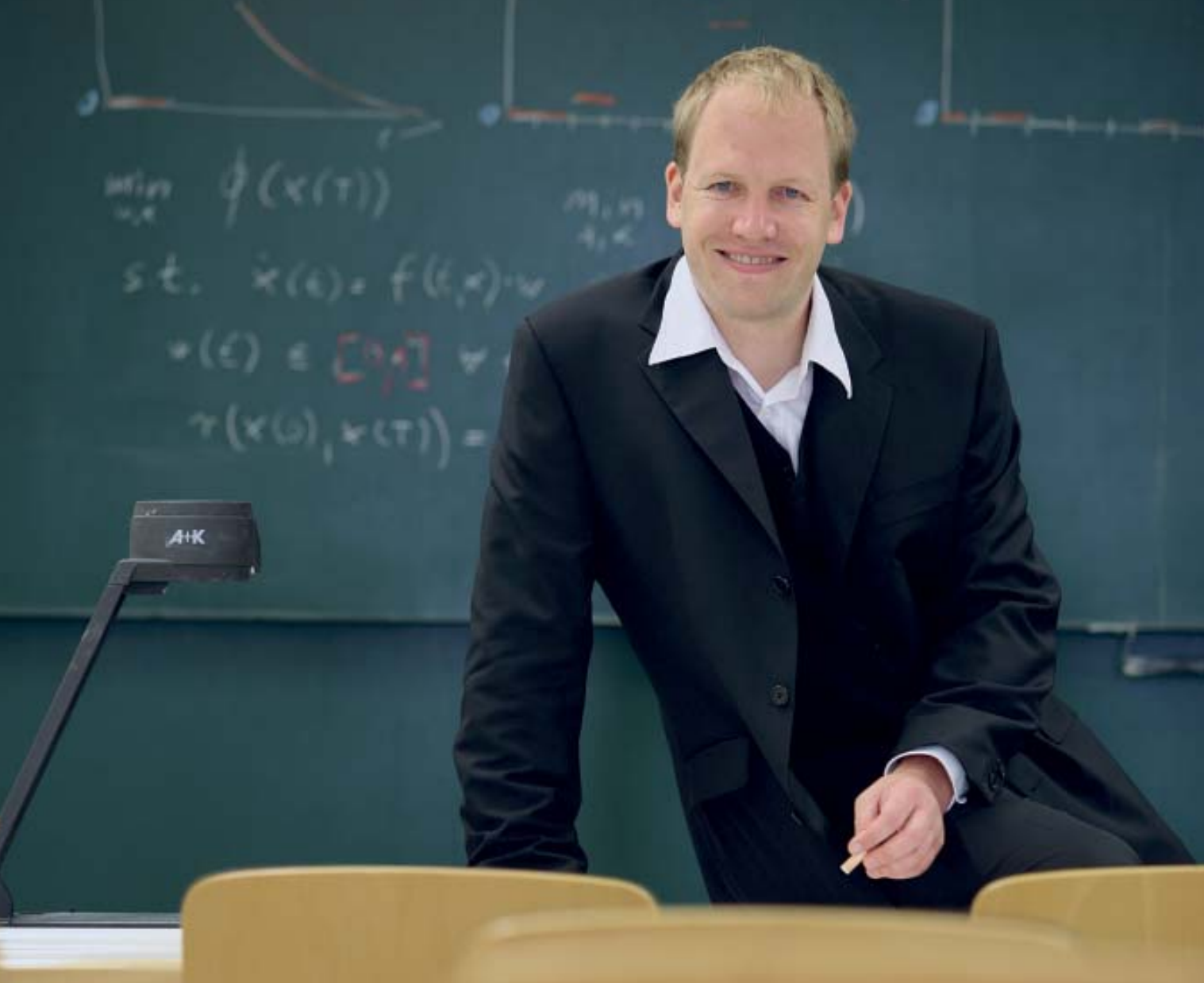
Steuerung. Was in diesen Modellen nicht berücksichtigt werden konnte, sind ganzzahlige Entscheidungen. Während ein Gaspedal jede Stellung zwischen Bodenplatte und jungfräulicher Stellung einnehmen kann, ist dies bei Gangschaltungen anders. Hier ist der Hebel entweder im zweiten oder im dritten Gang, aber nicht dazwischen. Ähnliche Einschränkungen gibt es bei Ventilen, die entweder offen oder geschlossen sind und ganz allgemein bei Entscheidungen, ob etwas gemacht wird oder nicht. Mathematisch stellen solche ganzzahlige oder diskret genannten Variablen eine erhebliche Erschwerung der Optimierung dar. Dies mag auf den ersten Blick überraschen, stehen doch nur begrenzt viele Möglichkeiten zur Verfügung, die man theoretisch alle ausprobieren kann. Anschaulich existieren keine Gebirge mehr, sondern nur noch räumlich getrennte Säulen, deren Höhe verglichen werden muss. Doch die Anzahl der Möglichkeiten (Säulen) wächst enorm schnell, wenn sich die Anzahl der Variablen erhöht. Dies ist in der ganzzahligen Optimalen Steuerung der Fall, insbesondere um genau entscheiden zu können, wann und wie oft umgeschaltet werden soll. Eine Behandlung dieser Variablen durch Ausprobieren scheidet also wegen der immensen Anzahl an Möglichkeiten aus.

Der neue Ansatz, den ich in meiner Arbeit entwickelt habe, beruht nun darauf, dass optimale Lösungen häufig Extremwerte annehmen – wie in dem oben genannten Beispiel mit maximaler Beschleunigung beziehungsweise maximalem Bremsen. Um dies auszunutzen, erlauben wir temporär Kombinationen der ganzzahligen Variablen – also Lösungen, die sich als Summe aus ganzzahligen Lösungen darstellen lassen. Eine Schaltung, die zu 23 Prozent im zweiten Gang und zu 77 Prozent im dritten ist, wäre demnach mathematisch zulässig – unabhängig davon, ob dies technisch Sinn ergibt oder nicht. Wichtig ist, dass sich die Gewichtungen zu 100 Prozent aufaddieren. Das wichtigste theoretische Resultat meiner Arbeit sagt nun aus, dass man das Ergebnis einer jeden solchen Kombination auch durch das Hin- und Herschalten zwischen den ganzzahligen Werten beliebig genau annähern kann. Anschaulich klar ist dies für unser Auto-Beispiel. Man kann eine bestimmte Geschwindigkeit halten, indem man das



T. Wegner

**Mathematische Wanderung: Durch Ableitung lässt sich die Steigung ermitteln, die wiederum zum tiefsten Punkt und damit zur Lösung führt.**



Mit Sebastian Sagers ausgeklügelten Formeln lassen sich Lösungen für praktische Probleme nicht nur schneller finden – sie sind auch besser als die bisherigen.

Gaspedal konstant in einer bestimmten Position hält. Man kann sich dieser Geschwindigkeit aber auch durch abwechselndes Durchdrücken und Rollen lassen annähern. Je häufiger man wechselt, umso genauer. Im übrigen eine Fahrweise, die mir als Beifahrer häufig Übelkeit verursacht.

In der Arbeit wird bewiesen, dass dies für eine sehr allgemeine Problemklasse und nicht nur für den genannten Sonderfall gilt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, das beste Ergebnis einer ganzzahligen Lösung durch das Lösen eines nicht ganzzahligen Problems effizient zu bestimmen. In der Arbeit werden Methoden präsentiert, um schnell ganzzahlige, praktisch realisierbare Lösungen zu berechnen. Die Güte solcher Lösungen kann mit dem bestimmten bestmöglichen Wert verglichen werden. Ist sie

gut genug, so kann man das Problem als gelöst betrachten. Andernfalls werden weitere Optimierungsläufe gestartet. Die in der Arbeit behandelten repräsentativen praktischen Probleme lassen sich derart vergleichsweise schnell lösen, obwohl sich mitunter komplizierte Schaltstrukturen ergeben und sie von einem theoretischen Standpunkt aus betrachtet in eine sehr schwere Problemklasse gehören. Die Methoden wurden im Rahmen der Arbeit in Software umgesetzt. Mit ihrer Hilfe wurden Fahrten von Zügen der New Yorker U-Bahn, die gezielte Beeinflussung von dynamisch kodierten Informationen in Zellen und der Betrieb einer Destillationskolonne (also ei-

nes physikalischen Verfahrens zur Trennung von Stoffgemischen) optimiert. Bei letztgenannter Anwendung wurde erstmals untersucht, wie weit man den Gewinn des Verfahrens erhöhen kann, wenn man zeitlich variable Verschaltungen der Anlage zulässt. Die ganzzahligen Entscheidungen bestehen in der Frage, auf welche Böden der Kolonne die Flüsse verschiedener Reservoirs durch ein Ventil gelenkt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Arbeit einen Beitrag dazu leistet, dass mehr und mehr Probleme der Optimalen Steuerung lösbar sind – und mir in Zukunft ermöglicht, die Abfahrt zum Bahnhof noch ein wenig länger hinauszuzögern ... ■

Um die Kommunikation zwischen Gehirnzellen zu verstehen, müssen die Proteine an deren Kontaktstellen getrennt und identifiziert werden. Das gelingt mit einer neuen Magnettechnik.

## DIE NADEL IM NERVÖSEN HEUHAUFEN

Das Gehirn – Gegenstand endloser Untersuchungen, dennoch größtenteils unverstanden. Insbesondere die Kommunikation zwischen Nervenzellen, verantwortlich für unsere Reaktionen auf äußere Einflüsse, bedarf intensiver Studien, um Ursachen neurologischer und psychiatrischer Krankheiten zu verstehen und langfristig zu behandeln. Modernste Techniken zur Inventarisierung und Identifizierung neuer Proteine bilden erste wichtige Schritte.

Text: Jacqueline Burré

„**COGITO ERGO SUM** – ich denke, also bin ich.“ Dieser von dem französischen Philosophen René Descartes 1641 formulierte Satz gibt exemplarisch das währende Interesse an der spannenden Frage des Aufbaus und der Funktion des Gehirns wieder, mit der sich die Menschheit bereits seit prähistorischen

Zeiten beschäftigt. Wie ist unser Gehirn aufgebaut, welche Bereiche steuern Gedächtnis oder Emotionen, wie werden Muskelbewegungen koordiniert, wie der Tag-Nacht-Rhythmus reguliert? Nur Teilaspekte dieser Fragen sind bisher geklärt. Seit einigen Jahrzehnten wird intensiv an der Frage der Kommunikation von Nervenzellen geforscht, welche essenziell für all diese Gehirnfunktionen ist. Vom medizinischen Standpunkt aus ist diese Forschung unabdingbar, um neurologische und psychiatrische Krankheiten wie Schizophrenie, Alzheimer, Parkinson und Huntington, Epilepsien, Depressionen oder Migräne behandeln zu können und Wirkungsmechanismen von Drogen wie Kokain, Ecstasy und LSD aufzuklären oder Toxinen wie dem Tetanus- oder Botulinumtoxin entgegenwirken zu können.

Wie sprechen Nervenzellen miteinander? Das menschliche Gehirn besitzt Schätzungen zufolge etwa 100 bis 1000 Milliarden Nervenzellen, die über ungefähr 1000 Billionen Kontakte ein kompliziertes Netzwerk bilden. Bei jeder Wahrnehmung „feu-

### DR. JACQUELINE BURRÉ

\* 1978 in Darmstadt  
 1998 Abitur  
 ab 1998 Studium der Biochemie an der Universität Frankfurt  
 2003 Diplom-Biochemikerin  
 2003 bis 2006 Doktorandin an der Universität Frankfurt  
 6.10.2006 Promotion zur Dr. phil. nat.  
 seit März 2007 Postdoc am University of Texas Southwestern Medical Center in Dallas, Texas

[jacqueline.burre@cixy.de](mailto:jacqueline.burre@cixy.de)



V. Steger für bdw

Auch bei anspruchsvollen Aufgaben wie einer DNA-Analyse behält Jacqueline Burré den Durchblick.





ern“ Millionen von Nervenzellen mit Geschwindigkeiten von bis zu 360 Kilometer pro Stunde Nachrichten aufeinander und vermitteln dadurch Antworten des Körpers auf Änderungen der Umgebung. Hierin ähneln Nervenzellen Computern – sie empfangen Nachrichten, verarbeiten diese und leiten die Resultate als neue Nachrichten an andere Zellen weiter. Direkt verantwortlich sind synaptische Vesikel. Diese runden Bläschen sind zehntausend Mal kleiner als der Kopf einer Reißzwecke und befinden sich zu Hunderten in den Nervenzellen. Sie enthalten Botenstoffe, Signalsubstanzen, welche bei Aktivierung der Nervenzelle innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde aus der Zelle freigesetzt werden und an benachbarte Nervenzellen binden. Abhängig vom Botenstoff – man kennt mehr als 50 verschiedene Substanzen – unterscheidet sich die Reaktion der benachbarten Zellen. Sie können gehemmt, aktiviert oder moduliert werden, um empfänglicher oder weniger empfänglich für andere Botenstoffe zu werden. Dieser Prozess wiederholt sich wieder und wieder, sodass sich in sehr kurzer Zeit Tausende von Nervenzellen miteinander verständigen. Eine genaue Regulation dieser äußerst komplexen Vorgänge scheint daher zunächst unmöglich, ist aber absolut notwendig, um eine unkontrollierte Kommunikation zwischen Nervenzellen und da-

mit einem Kollaps des Gehirns zu verhindern. Wie schaffen es die Zellen, diese schwierige Aufgabe innerhalb solch kurzer Zeit auszuführen?

Weltweit herrscht Konsens darüber, dass man diese Zusammenhänge besser verstehen kann, sobald der Aufbau des Gehirns und dessen Unterstrukturen gelöst ist. Der Aufklärung der Zusammensetzung synaptischer Vesikel wurde dabei in den letzten Jahrzehnten besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Vesikel ähneln einem Luftballon, wobei die Haut des Luftballons aus Fetten besteht. In diese Fettschicht sind Eiweiße, auch Proteine genannt, ein- und angelagert. Proteine sind die Arbeiter der Zellen, während unser Erbgut, die DNA, lediglich als Anleitung für den Bau der Proteine dient.

Aber was arbeiten Vesikelproteine? Sie befüllen die Vesikel mit Botenstoffen, transportieren sie auf einem Schienennetzwerk innerhalb der sehr viel größeren Nervenzelle und agieren in der Freisetzung der Botenstoffe. Wie auf einem Fabrikfließband dienen sie als Schalter, Barrieren, Pumpen und Transporter, die in einer bestimmten Reihenfolge bestimmte Dinge ausführen. Klar ist: Nur durch ein genau abgestimmtes Spiel der verschiedenen Proteine lassen sich diese komplexen Aufgaben fehlerfrei ausführen. Die Identifizierung dieser Proteine und

die Aufklärung ihrer Funktion stellen Wissenschaftler vor eine große Herausforderung. Was macht die Sache so schwierig?

Bis heute stellen technische Grenzen die größte Herausforderung dar. Es klingt einfach, Vesikel zu isolieren und die Proteine zu identifizieren – die Wirklichkeit sieht anders aus. Oftmals enthalten die Proben Kontaminationen mit anderen Bestandteilen der Nervenzelle, sodass die Ergebnisse nicht verwertbar sind. Diese Problematik konnte Jacqueline Burré, Wissenschaftlerin an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main, in ihrer Doktorarbeit durch die Entwicklung einer einfach anwendbaren Technik lösen: Synaptische Vesikel werden an winzige magnetische Kügelchen gekoppelt und können mit einem Magneten aus den übrigen Bestandteilen der Zelle herausgezogen werden – wie die sprichwörtliche Nadel aus dem Heuhaufen.

Aber ist dies effizient? Ja, und wie! Dieses erste Teilziel erreicht, standen die Wissenschaftler vor dem Problem einer gründlichen Inventarisierung der Vesikelproteine. Insbesondere die Beschaffenheit der in die Fettschicht eingelagerten Proteine birgt die großen Herausforderungen unserer Zeit. Des Rätsels Lösung: die Entwicklung, Optimierung und Kombination neuer und bestehender Techniken, deren Ziel es zunächst ist, die Proteine voneinander zu trennen. Sucht man in einem Haufen unterschiedlichster Bauklötze nach einem roten Klotz bestimmter Größe und Form, so wird die Notwendigkeit einer Trennung deutlich.

Konkret bedeutet dies: Je besser die Trennung, desto höher liegen die Chancen, alle Proteine erfassen und auch bisher unbekannt Proteine entdecken zu können. Beispielsweise kann man mittels Elektrophorese Proteine über den sogenannten Siebeffekt nach Größe trennen. Ähnlich einem Küchensieb oder Kaffeefilter gelangen größere Proteine nur sehr langsam durch die Poren oder bleiben sogar stecken, während kleinere Eiweiße sehr schnell passieren können. Verwendet man hintereinander verschiedene Filter mit unterschiedlich großen Poren, so erreicht man eine sehr hohe



V. Steiger

Das Labor im Medical Center der University of Texas in Dallas ist derzeit der Arbeitsplatz der gebürtigen Darmstädterin.



**Die Biochemikerin durchschreitet eine „Neuronale Galerie“. Für ihre Doktorarbeit untersuchte sie winzige Bestandteile der Neuronen, die synaptischen Vesikel.**

Trennwirkung. Das größte zu überwindende Problem liegt hierbei darin, die Proteine nicht verklumpen zu lassen. Zum Beispiel sollte man auf Erhitzen verzichten, wie am Beispiel des Spiegeleis deutlich wird: Die flüssige Substanz wird in der Pfanne schnell fest und würde nicht mehr durch ein Sieb laufen. In ähnlicher Weise würden die Proteine verklumpen oder aggregieren und sich nicht mehr trennen lassen. Getrennte Proteine werden deshalb im nächsten Schritt mit einer biologischen Schere, dem Enzym Trypsin, in kleine Stückchen geschnitten. Intakte Proteine sind für eine Messung nicht geeignet.


Mittels Massenspektrometer, einer Art sehr empfindlicher Waage, bestimmt man die Größe, korrekterweise die Masse, dieser Peptide. Für jedes Protein ergibt sich ein unverwechselbares Muster, ein Fingerabdruck. Wie in der Kriminalistik wird anschließend dieser Fingerabdruck per Computer mit einer Datenbank von Fingerabdrücken aller Proteine verglichen. Erhält man eine Übereinstimmung, so ist das Protein identifiziert. Ein einzelner Fingerabdruck ist hier-

bei leichter, schneller und vor allem sicherer zuzuordnen als 100 oder mehr übereinanderliegende – ein weiterer Vorteil der vorherigen Proteintrennung.

Das aufsehenerregende Ergebnis unserer Forschung bestand darin, dass etwa fünfmal so viele Vesikelproteine identifiziert wurden wie bisher angenommen. Hierzu zählen auch Proteine, die völlig neu sind, über die also weder bekannt ist, was sie für Aufgaben besitzen, noch wo sie im Gehirn vorkommen. Quo vadis, Protein – was nun? In ersten Experimenten untersuchten die Forscher die Verteilung neuer Proteine im Gehirn. Faszinierenderweise konnte eines der Proteine in nur etwa zehn Prozent aller Nervenzellen und in ganz bestimmten Gehirnregionen nachgewiesen werden, was auf eine sehr spezielle Funktion hinweist. Um diese Funktion und die all der anderen unbekannt Proteine untersuchen zu können, wäre der nächste Schritt der Knockout des jeweiligen Proteins. Gezüchteten Knockout-Mäusen fehlt das Erbgut für ein bestimmtes Protein. Konkret bedeutet dies, dass die Mäuse nicht in

der Lage sind, dieses Protein herzustellen, da die Anleitung fehlt. Je nach Wichtigkeit des Proteins leben die Mäuse wie ihre normalen Artgenossen weiter oder weisen Merkmale für mentale oder psychische Krankheiten oder andere Störungen auf. Letztere sind von großem Interesse, da sich an ihnen zum Beispiel Krankheitsverläufe vom Früh- bis zum Spätstadium verfolgen und Medikamente zur Behandlung der Krankheiten testen lassen. Allerdings ist die Züchtung solcher Knockout-Mäuse ein zeit- und kostenintensiver Prozess und muss in Anbetracht der Vielzahl möglicher pharmazeutischer Angriffspunkte gut abgewägt werden.

Die spannende Frage nach der Funktion der identifizierten neuen Proteine bleibt demnach erst einmal offen und wird die Wissenschaft die nächsten Jahre und Jahrzehnte beschäftigen, ganz im Sinne des bedeutenden englischen Naturwissenschaftlers Isaac Newton (1643 – 1727): „Sein und Wissen ist ein uferloses Meer: Je weiter wir vordringen, um so unermesslicher dehnt sich aus, was noch vor uns liegt; jeder Triumph des Wissens schließt hundert Erkenntnisse des Nichtwissens in sich.“ Aber genau das ist das Reizvolle! ■



Mit zwei farbigen Leuchtstäben  
macht Miriam Spering die Fähigkeit,  
verschiedene Bewegungen  
wahrzunehmen, anschaulich.

# WENN DAS GEHIRN AM STEUER SITZT

Ein Moment der Unachtsamkeit im Straßenverkehr kann schwerwiegende Konsequenzen haben. Neurowissenschaftliche Experimente haben gezeigt, wie intelligente Zellen im Gehirn den Menschen vor den Folgen der Ablenkung schützen können.

**Die Augen können gleichzeitig Bewegungen in verschiedene Richtungen wahrnehmen. Um bei Ablenkungen – zum Beispiel beim Autofahren – nicht vom Kurs abzukommen, sorgen Nervenzellen im Bewegungszentrum des Gehirns für schnellen Ausgleich.**

*Text: Miriam Spering*

**IRGENDWO** im tropischen Regenwald. Akrobatisch schwingt sich ein Affe von Baum zu Baum, auf der Suche nach essbaren Früchten. Rasch taxiert er mit seinem Blick den nächsten Ast, bevor er sich erneut durch die Luft gleiten lässt. Eine derartige Situation stellt das Gehirn des Affen vor eine Herausforderung: Die Distanz zum nächsten Ast muss exakt bestimmt und dessen Eigenschaften müssen eingeschätzt werden, um Bewegungsabläufe entsprechend zu planen.

Obwohl sich der Mensch zur Nahrungssuche nicht von Ast zu Ast hangelt, muss auch er Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit von Objekten einschätzen, um sich sicher durch seine Umwelt bewegen zu können. Wie entscheidend Bewegungswahrnehmung für den Alltag ist, wird besonders deutlich, wenn diese Fähigkeit verloren geht. So berichtet der deutsche Neuropsychologe Josef Zihl in einer 1983 erschienenen Falluntersuchung von einer Patientin, die infolge einer Durchblutungsstörung im Gehirn Bewegungen nicht mehr wahrnehmen konnte, also „bewegungsblind“ war. Goss die Patientin Kaffee in eine Tasse, konnte sie das Ansteigen der Flüssigkeit nicht wahrnehmen und brachte so die Tasse regelmäßig zum Überlaufen. Das Überqueren einer Straße war ihr kaum möglich, da sie die Geschwindigkeit von Fahrzeugen nicht einschätzen konnte. Ebenso fühlte sich die Patientin im Gespräch mit anderen Personen unsicher, da sie Veränderungen in deren Mimik und Gestik nicht erfassen konnte. Die Forscher schlossen aus diesen Beobachtungen, dass der geschädigte Gehirnbereich der Patientin eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Bewegungsinformation spielen müsse. Ein Problem all-

gemein gültiger Schlussfolgerungen aus Patientenstudien ist allerdings, dass in den meisten Fällen nicht nur ein spezifischer Gehirnbereich geschädigt wurde, sondern mehrere Bereiche zerstört sind. Um herauszufinden, wo genau im Gehirn das „Bewegungszentrum“ liegt, sind Untersuchungen am gesunden Sehsystem notwendig. Solche Untersuchungen wurden an Affen durchgeführt, deren Gehirn dem des Menschen strukturell sehr ähnlich ist.

Der amerikanische Neurobiologe William Newsome und seine Kollegen fanden 1989 heraus, welche Zellen im Gehirn von Affen für die Wahrnehmung der Bewegungsrichtung eines Objektes verantwortlich sind. Weiter konnten sie belegen, dass die gleichen Zellen im Bewegungszentrum aktiv waren, wenn die Affen mit ihren Augen ein sich bewegendes Objekt verfolgten. Diesen spannenden Befund – nämlich dass

## DR. MIRIAM SPERING

\*1976 in Celle (Niedersachsen)

1995 Abitur

ab 1995 Psychologiestudium an der Universität Konstanz, Exeter University, Universität Heidelberg

2002 Diplom-Psychologin

2003 bis 2006 Doktorandin an der Universität Gießen

22.9.2006 Promotion zur Dr. rer. nat.

seit Januar 2007 Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Allgemeinen Psychologie an der Universität Gießen

[miriam.spering@psychol.uni-giessen.de](mailto:miriam.spering@psychol.uni-giessen.de)

dieselben Gehirnzellen für Bewegungswahrnehmung und Ausführung der Augenbewegungen verantwortlich sind – machen sich nun Forscher zunutze, um auch bei Menschen den Vorgang der Verarbeitung von Bewegungsinformation zu analysieren. Dazu werden Augenbewegungen von Testpersonen während der Betrachtung sich bewegender Objekte gemessen. Die Eigenschaften der Augenbewegungen lassen dann Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Verarbeitungsprozesse im Gehirn zu. Typischerweise sitzt die Testperson bei einer solchen Untersuchung im Labor vor einem Computerbildschirm, auf dem sich ein Lichtpunkt bewegt, und hat die Aufgabe, den Lichtpunkt möglichst genau mit den Augen zu verfolgen. Dabei werden die Augenbewegungen der Person mittels einer hochsensitiven Videokamera erfasst.

Bei der anschließenden Auswertung wird die Augenposition zu jedem Zeitpunkt mit der Position des Objektes auf dem Bildschirm in Übereinstimmung gebracht, sodass sich eine Aussage über die Genauigkeit der Augenbewegung machen lässt. Augenbewegungen erlauben also einen direkten Einblick in das Bewegungszentrum im Gehirn. Bisherige Untersuchungen dieser Art gehen von dem einfachsten Fall aus, bei dem eine Person mit einem einzigen sich bewegenden Objekt konfrontiert wird. Das ist im Alltag allerdings selten der Fall. Vielmehr nehmen wir häufig eine Vielzahl von visuellen Objekten wahr, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in verschie-



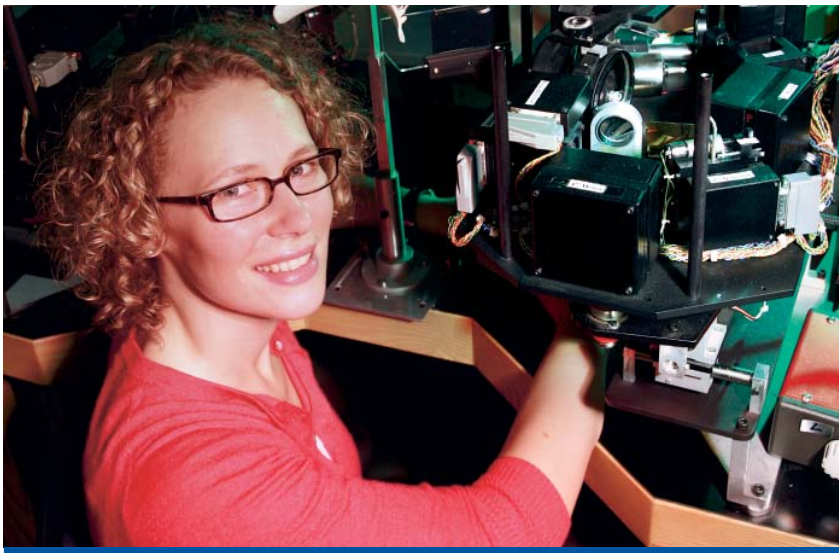
**Wenn das Bewegungszentrum im Hirn gestört ist, werden alltägliche Dinge, wie Kaffee einschenken, zum Problem.**

K. Schöne

dene Richtungen bewegen. In ihrer Doktorarbeit hat sich Miriam Spering an der Justus-Liebig-Universität Gießen daher mit der Frage auseinandergesetzt, wie unser visuelles System reagiert, wenn es mehrere sich bewegende Objekte gleichzeitig erfassen muss. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für unser motorisches Handeln? Aus eigener Erfahrung wissen wir, dass wir in der Regel problemlos in der Lage sind, bei dichtem Verkehr auf der Autobahn die Spur zu wechseln oder den Ball im Fußballspiel an einen mitlaufenden Spieler abzugeben. Aber warum gelingt uns das eigentlich so gut? Was sind die Verarbeitungsprozesse, die der Integration mehrerer visueller Bewegungssignale aus dem Umfeld zugrunde lie-

gen? Zur Untersuchung dieser Fragen erhielten Testpersonen die Aufgabe, einen Lichtpunkt, der sich auf einem Computerbildschirm entlang der Horizontalen bewegte (das „Target“), mit den Augen zu verfolgen. Zu einem nicht vorhersehbaren Zeitpunkt spaltete sich aus dem Target ein weiterer Lichtpunkt ab, der sich entlang der Vertikalen bewegte (der „Distraktor“). Diesen Distraktor sollten die Testpersonen ignorieren und weiter das Target verfolgen. Während des Experiments wurden die Augenbewegungen der Testpersonen aufgezeichnet. Verschiedene Verhaltensweisen der Augen sind dabei vorstellbar: Zunächst ist denkbar, dass Testpersonen dem Distraktor „widerstehen“ und mit den Augen weiterhin das Target verfolgen. Alternativ könnten die Augen in Richtung des Distraktors abgelenkt werden. Ein solches Verhalten wird als Mittelung von Bewegungsvektoren bezeichnet und stellt nach Annahme einiger Forscher einen verbreiteten Algorithmus zur Berechnung von Bewegung im Gehirn dar. Im hier untersuchten Fall würde das bedeuten, dass sich die Augen der Testpersonen nach Auftauchen des Störeinflusses kurzzeitig in eine diagonale Richtung (gemittelt aus horizontaler Targetrichtung und vertikaler Distraktorrichtung) bewegen.

In der Tat berichteten die Testpersonen nach dem Experiment, dass sie sich von dem Distraktor „angezogen“ fühlten, und nur schwer weiterhin dem Target folgen konnten. Eine Auswertung der Augenbewegungen erbrachte aber dem subjektiven Empfinden der Testpersonen sowie den Erwartungen entgegengesetzte Befunde: Die Testpersonen reagierten auf den Distraktor, allerdings bestand ihre Reaktion darin, dass die Augen zum Zeitpunkt des Auftretens des Distraktors in die entgegengesetzte Richtung ausgelenkt wurden. Die Personen wichen dem störenden Objekt also aus, und bewegten den Blick kurzzeitig von diesem weg! Dass die Testpersonen selbst die Auslenkung in die Gegenrichtung nicht wahrnahmen, ist nicht verwunderlich, denn die gemessene Positionsveränderung des Au-



K. Schöne

**Mit einer aufwendigen Apparatur misst Miriam Spering die Augenbewegungen der Versuchsteilnehmer.**



ges ist klein und dauert nur etwa 200 Millisekunden an. Für das Gehirn sind 200 Millisekunden aber eine lange Zeit, bedenkt man, dass ein visuelles Signal vom Auge bis zum Bewegungszentrum gerade mal 70 Millisekunden benötigt.

In einer aufwendigen Serie von Experimenten wurde als Nächstes gezeigt, dass es sich bei der Reaktion auf den Distraktor nicht um einen reinen Reflex, also eine Art Schreckreaktion des Auges handelt, sondern dass die Bewegung kontrolliert und willentlich ausgeführt wird. Wie lässt sich aber der Impuls für dieses „Ausweichmanöver“ der Augen erklären, und wozu dient er? Da die Testpersonen berichteten, von dem Distraktor beeinflusst worden zu sein, muss der störende Lichtpunkt die Aufmerksamkeit der Personen auf sich gezogen haben. Weitere Untersuchungen belegten diese Annahme. Eine plausible Erklärung wäre nun, dass der Distraktor als plötzlich auftauchender Lichtpunkt die Aufmerksamkeit kurzzeitig vom Target ablenkt. Ein Objekt, das unsere Aufmerksamkeit beansprucht, zieht häufig auch unseren Blick auf sich. Die Testpersonen waren jedoch instruiert,

weiter den Blick auf dem Target zu halten. Die Auslenkung des Auges in die dem Distraktor entgegengesetzte Richtung könnte also eine Ausgleichsbewegung des Auges sein, um die Ablenkung der Aufmerksamkeit zu kompensieren und um eine zusätzliche Ablenkung des Auges in Richtung des Störeinflusses zu vermeiden.

Dieser Kompensationsmechanismus könnte zum Beispiel zum Einsatz kommen, wenn wir trotz Konzentration auf eine motorische Handlung – wie etwa das Lenken eines Fahrzeugs – von einem Ereignis in der Umgebung abgelenkt werden. Dass der Ablenkung der Aufmerksamkeit nicht unmittelbar das Fahrzeug folgt, haben wir vermutlich Zellen im Bewegungszentrum im Gehirn zu verdanken, die blitzschnell für Ausgleich in die Gegenrichtung sorgen. Eine solche Kompensationshandlung kann offenbar, wie im beschriebenen Experiment der Fall, unbewusst ausgeführt werden.

Das motorische System programmiert also auf eine visuelle Ablenkung hin eine Kompensationsbewegung in die Gegenrichtung zum störenden Objekt. Dieses Verhalten deutet darauf hin, dass Gehirnzellen im

#### Über Spiegel und Linsen wird ein Infrarot-Lichtsignal auf die Augen gelenkt.

Bewegungszentrum neben einer Mittelung von Bewegungsvektoren noch andere Algorithmen verwenden. Die hier gewonnenen Erkenntnisse tragen somit zum grundlegenden Verständnis unserer visuellen Wahrnehmung und der Steuerung unseres Verhaltens bei, haben darüber hinaus aber auch ganz praktische Konsequenzen. Schon jetzt können auf dieser Grundlage Trainingsprogramme für Patienten mit Bewegungsblindheit entwickelt werden. Langfristig könnte Wissen über die Funktionsweise der Bewegungswahrnehmung auch in der Sensorentwicklung für die automatische Fahrzeugführung zum Einsatz kommen. Es ist vorstellbar, dass Autos in Zukunft nicht nur mit Einpark- und Navigationshilfen, sondern auch mit Kollisionswarnsystemen mit automatischer Gegenlenkung ausgestattet werden. Bis diese Systeme jedoch ein unfallfreies Fahren erlauben und ebenso sensitiv und angepasst reagieren wie der Mensch, ist wohl noch eine Reihe von Probefahrten notwendig. ■

Eine Hand voll Hoffnung: Die Kerne und Früchte der *Ximenia americana* tragen heilende Proteine in sich.



**RIPROXIMIN:**  
**SCHAMANEN-PULVER ODER**  
**KREBSMEDIKAMENT?**



**Eingeborenen-Stämme behandeln ihre Kranken mit Heilmitteln aus der Natur. Die heutige Medizin steht vielen dieser Praktiken mit Skepsis gegenüber, aber ausgerechnet ein Pulver aus Afrika bringt überraschende Erkenntnisse im Kampf gegen den Krebs.**

Text: Cristina Voss

**WAS WÄRE** Ihr erster Gedanke, wenn Sie eine Tüte Pulver in die Hand gedrückt bekämen, mit dem Hinweis, dass man damit Krebs heilen könne? Viele Menschen, die an unheilbarem Krebs erkrankt sind, vertrauen bereitwillig jedem, der ihnen Hoffnung geben kann. Ihr Vertrauen wird aber leider sehr oft von selbst ernannten Heilern missbraucht. Krebswissenschaftler sind darum sehr kritisch gegenüber solchen Schamanenpulvern und den damit verbundenen Heilungsversprechen. Uns in der Arbeitsgruppe „Toxikologie und Chemotherapie“ am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg ging es nicht anders, als wir ein erdfarbenes, vermutlich pflanzliches Pulver aus Afrika auf dem Labortisch hatten. Der Zustand eines Krebs-Patienten sollte sich durch die Einnahme des Pulvers erheblich verbessert haben.

Es waren die Details des Berichts, die unser Interesse erweckten. Die „Wunderheilung“ war einem Arzt in Afrika aufgefallen, der in Deutschland ausgebildet wurde und in Kontakt zum Deutschen Krebsforschungszentrum steht. Er hatte die Diagnose „metastasierter Prostata-Tumor“ mit modernen Untersuchungsgeräten gestellt und dem Patienten damals erklärt, dass keine wirksame Therapie für sein Leiden existiere. Der Patient entschied sich, zum Sterben in sein Heimatdorf zu gehen. Monate später kam er zurück und verlangte eine Nachuntersuchung. Der Arzt stellte dabei mit großer Überraschung fest, dass der Tumor sich zurückgebildet hatte. Der Patient berichtete, dass er ein Pulver eingenommen hatte, welches er vom Dorfmediziner bekam.

Dieses Pulver brachte der Arzt bei seinem nächsten Deutschland-Besuch Professor Dr. Martin R. Berger mit. Es wurde zu meiner Aufgabe herauszufinden, ob es mit

dieser merkwürdigen Geschichte etwas auf sich hatte. Was ich damals nicht wusste: Dies war der Anfang der vielleicht aufregendsten Zeit in meiner wissenschaftlichen Laufbahn.

Um neue Krebsmedikamente im Labor zu testen, werden Krebszellen benutzt, die aus Tumoren stammen. Sie wachsen nun im Reagenzglas, ähnlich wie im Körper eines kranken Patienten. Unbehandelt vermehren sie sich so lange, bis sie keine Nährstoffe mehr haben. Solche Zellen behandeln wir nun mit einem wässrigen Extrakt, einer Art kaltem Tee, zubereitet aus dem Pulver. Drei Tage später konnten wir unseren Augen kaum trauen: Unter dem Mikroskop sah man, dass die behandelten Krebszellen sich deutlich weniger vermehrt hatten. Bei höheren Dosierungen waren sie so-

## DR. CRISTINA VOSS

\*1969 Brasov (Rumänien)

1987 Abitur

ab 1987 Biochemie-Studium an der Universität Bukarest, Rumänien

1992 Diplom-Biologin

1992 bis 1993 Assistentin an der Medizinischen Fakultät, Universität Brasov

1994 bis 1995 Gastwissenschaftlerin am Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie in Heidelberg

1996 bis 1998 Erziehungszeit

1999 bis 2006 Wissenschaftlerin am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg, ab 2002 dort Doktorandin

2006 Promotion zur Dr. Sc. hum

seit Oktober 2006 Koordinatorin bei der Heidelberg Pharma AG in Ladenburg

[c.voss@hdpharma.com](mailto:c.voss@hdpharma.com)





T. Wegner

Das Pflanzenmaterial wird erst schockgefroren und dann zermörsert.

gar abgestorben. Die Menge an Pulver, die dies bewirkt hatte, war so niedrig, dass es sich eindeutig um ein sehr potentes „Zellgift“ handelte. Die Wirksamkeit war damit nachgewiesen. Das Pulver enthielt einen Wirkstoff, der für die Krebszellen schädlich, also „zytotoxisch“, war.

Handelte es sich aber um ein allgemeines Gift? Eine Substanz, die Tumorzellen tötet, könnte auch gesunde Zellen angreifen. Die größte Herausforderung in der Krebstherapie liegt darin, Krebszellen zu zerstören, ohne die gesunden Zellen im Körper zu schädigen. Darum war es wichtig, mehrere Tumorzellarten und auch normale Zellen zu untersuchen. Würden alle sterben, wäre der Extrakt zu giftig. Aber: Fast zu schön, um wahr zu sein, ließen die Experimente keine Zweifel daran, dass der unbekannte Wirkstoff nicht nur potent, sondern auch selektiv war. Während einige Zellarten bereits bei einer sehr niedrigen Konzentration starben, überstanden Zellen, die nicht von Tumoren stammten, eine mehr als 100-fache Dosis. Ermutigt durch diese Ergebnisse verabreichten wir den Extrakt Ratten mit Lebermetastasen, und zwar intraperitoneal, also in den Bauchraum gespritzt, oder peroral, das heißt über die Nahrung aufgenommen. Zu unserer großen Begeisterung entwickelten Ratten, die den Extrakt bekommen hatten, signifikant weniger Tumor und litten dabei unter keinen erkennbaren Nebenwirkungen. Wir hielten also ein Ge-

misch mit überragender krebshemmender, „antineoplastischer“ Wirkung in der Hand.

Was war nur dieser Wirkstoff? Wir bekamen keine weiteren Informationen über das Material. Vermutlich war das Pulver pflanzlich. Unter dem Mikroskop waren tatsächlich Pflanzenfragmente zu erkennen. Wie alles Lebende bestehen Pflanzen aus vier Hauptgruppen von Stoffen: Eiweißen, auch Proteine genannt, Zuckern (Saccharide), Fetten (Lipide) und dem Erbmateriale (Nucleinsäuren). Diese Substanzklassen sind gut definiert und unterscheiden sich deutlich in ihren physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften. Außerdem enthalten Pflanzen häufig sogenannte „sekundäre Metabolite“. Dazu gehören die Gruppe der Tannine, denen die krebsvorbeugende Wirkung von Tee und Rotwein zugeschrieben wird, aber auch viele hochwirksame Substanzen, die als Medikamente verwendet werden.

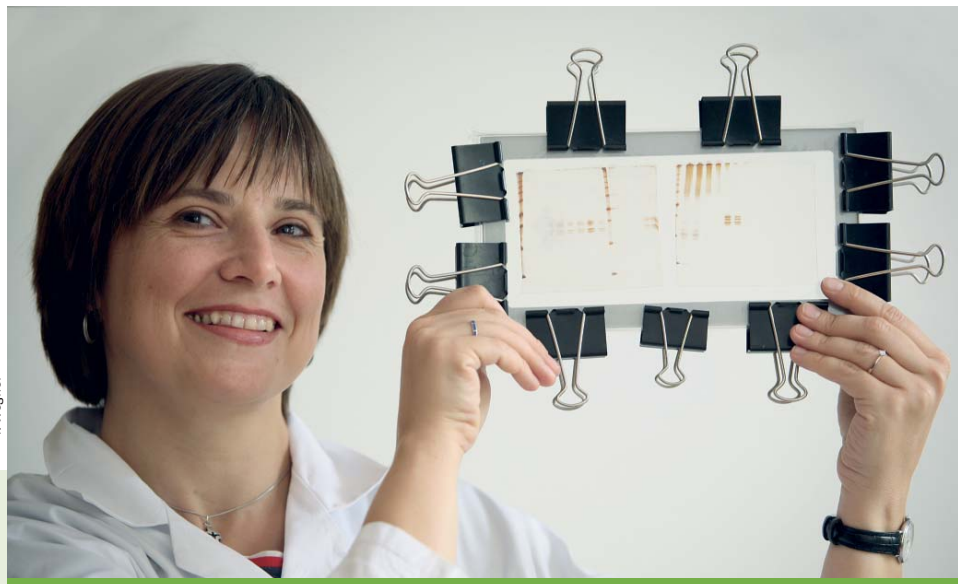
Die erste Aufgabe, die es zu bewältigen galt, war darum die Identifizierung der Substanzgruppe, zu welcher der unbekannte Wirkstoff gehörte. Wir untersuchten dazu seine physikalischen und chemischen Eigenschaften, zum Beispiel die Löslichkeit, die Stabilität, die Größe. Der Erfolg jedes Experiments wurde an den Zellen im Reagenzglas gemessen. War der Wirkstoff in einer bestimmten Lösung vorhanden und aktiv, so mussten Krebszellen, die damit behandelt wurden, sterben. Die meisten pflanzlichen Medikamente sind kleine, fettlösliche

Moleküle. So kostete es uns viel Überwindung zu glauben, dass unsere Ergebnisse für ein großes, wasserlösliches Molekül sprachen – wahrscheinlich ein Protein. Schlussendlich lieferte ein biologischer Test den Beweis. Ein Enzym, das ausschließlich Proteine zerschneidet, minderte deutlich die Zytotoxizität – die „Giftigkeit“ für Zellen.

Nebenbei suchten wir nach Informationen über die Pflanze, aus der das Pulver stammte. Es gelang uns, diese über die Analyse des Erbmateriale (der DNA) zu identifizieren. Das Pulver stammte von *Ximenia americana*, einer semiparasitischen, subtropischen Pflanze. Spätere Untersuchungen zeigten, dass der Wirkstoff vor allem in den Kernen und Früchten dieser Pflanze zu finden ist, die übrigens in Afrika in Hungerzeiten als Nahrung dienen – ein weiterer Hinweis auf die Verträglichkeit des Wirkstoffes!

Nun galt es, den Wirkstoff zu isolieren. Um eine Substanz aus einer Lösung herauszutrennen, braucht man ein festes, unlösliches Material, an das sie möglichst alleine bindet. Wir fanden solche Materialien, aber auch die so gewonnene angereicherte Lösung enthielt immer noch Hunderte von Proteinen! Um weiter zu kommen, mussten wir mehr über den Wirkstoff wissen. Wie so oft in der Wissenschaft galt es, die bisher gesammelten Erkenntnisse mit dem bereits vorhandenen Wissen zu kombinieren, um auf neue Ideen zu kommen.

Pflanzliche Proteine sind nicht toxisch. Sie sind zu groß, um die Zellmembran zu



T. Wegner

Nach der Gel-Elektrophorese sind die eingefärbten und aufgereinigten Proteine deutlich zu erkennen.



Bei heißen Temperaturen fühlt sich die aus Afrika stammende Pflanze besonders wohl. Ihre Früchte dienen dort in Hungerzeiten auch als Nahrung.

durchdringen. Es gibt aber einige Beispiele von pflanzlichen Proteinen, die tatsächlich in Zellen gelangen und dort toxisch wirken. Diese Proteine binden an Zuckerreste der Zellmembran. So kamen wir auf die Idee, dies auch für unseren Wirkstoff zu prüfen. Und tatsächlich, nach Kontakt mit der zuckerhaltigen Festphase verlor der Extrakt seine Wirkung. Der Wirkstoff konnte anschließend von der Festphase wiedergewonnen werden. Diese spezifische Bindung ermöglichte den Durchbruch: Die so gewonnene Lösung enthielt nur noch zwei Proteine!

Nur was waren das für Proteine? Waren sie vielleicht schon bekannt? Wir untersuchten die getrennten Proteine mit einer Methode, die Einblicke in ihr Inneres, in die Aminosäurenkomposition, gewährt. Der Datenbankabgleich zeigte schnell, dass die Proteine unbekannt waren. Wir fanden allerdings Ähnlichkeiten (Homologien), die bewiesen, dass die neuen Proteine zur Klasse der Ribosomen-inaktivierenden Proteine (RIPs) gehören. Mit Methoden der Molekularbiologie bestimmten wir anschließend die komplette Gensequenz. Diese charakterisiert die Komposition und Struktur des

neuen Wirkstoffs. Wir nannten ihn, in Anlehnung an die Proteinklasse und an den Pflanzennamen, Riproximin.

Im Labor reproduzierten die zwei Proteine alle bekannten Effekte des Extrakts. Auch an Ratten mit Lebermetastasen zeigten die gereinigten Proteine die gleiche krebshemmende Wirkung wie der Gesamtextrakt. Sehr überraschend und begeisternd war, dass sie ihre Wirkung sogar bei peroraler Gabe entfalteten, da Proteine in der Regel im Magen-Darm-Trakt zerstört werden und daher nicht intakt in die Blutbahn gelangen. Die afrikanische „Wunderheilung“ bestätigte sich also in einem etablierten Tiermodell.

Genau das unterscheidet das Riproximin von einem Schamanenpulver. Riproximin ist heute ein in seiner Zusammensetzung und Wirkung charakterisierter Wirkstoff. Riproximin ist trotzdem immer noch kein Krebsmedikament. Viele weitere Schritte sind dazu erforderlich. Ein reproduzierbares und kontrollierbares Produktionsver-

fahren muss her. Die Wirksamkeit an verschiedenen Krebsarten muss in weiteren Tierversuchen überprüft werden. Toxikologie- und Pharmakologie-Studien sind notwendig, um lebensbedrohliche Nebenwirkungen auszuschließen. Erst wenn die Ergebnisse dieser sogenannten „präklinischen“ Untersuchungen positiv ausfallen, kann Riproximin zum ersten Mal am Menschen getestet werden. Und erst wenn die Effektivität im Vergleich zu herkömmlichen Mitteln in streng kontrollierten klinischen Studien erwiesen ist, kann ein Medikament mit dem Wirkstoff Riproximin von Ärzten verschrieben und in Apotheken verkauft werden. Die bisherigen Ergebnisse sind jedoch so vielversprechend, dass das Deutsche Krebsforschungszentrum und ein Pharmaunternehmen sich auf eine Kollaboration zur präklinischen Erforschung von Riproximin verständigt haben. So wäre es am besten, Riproximin heute als „ein Protein auf dem Weg zum Krebsmedikament“ zu bezeichnen. ■

2008



**Klaus Tschira Preis**  
für verständliche  
Wissenschaft

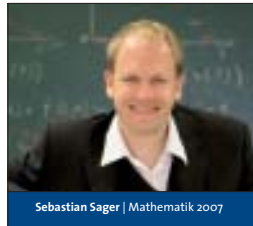
2008 vergibt die Klaus Tschira Stiftung zum dritten Mal bundesweit den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft. Dieser Preis zeichnet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus, die ihre herausragende Dissertation allgemein verständlich darstellen.



Cristina Voss | Biologie 2007



Jacqueline Burré | Chemie 2007



Sebastian Sager | Mathematik 2007



Dirk Notz | Physik 2007



Miriam Spering | Neurowissenschaften 2007

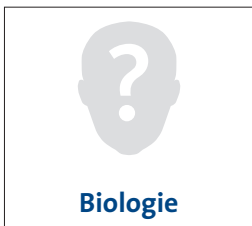
# Sind Sie der nächste Preisträger?



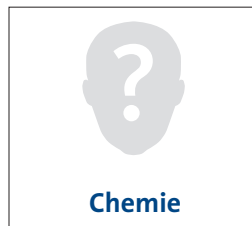
Informatik

Um den Preis bewerben können sich Promovierte der Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften, Physik und angrenzender Fächer. Die Dissertation muss im Jahr 2007 abgeschlossen worden sein.

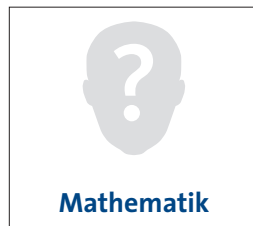
Mit dem Preis ausgezeichnet werden Artikel, die den Ertrag der Dissertation in deutscher Sprache anschaulich und prägnant darstellen. Es werden bis zu sechs Preise à 5.000 Euro vergeben. Die ausgezeichneten Beiträge werden in der Zeitschrift *bild der wissenschaft* veröffentlicht.



Biologie



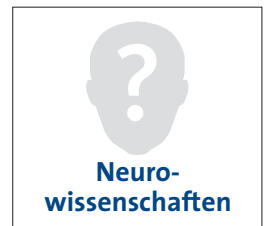
Chemie



Mathematik



Physik



Neuro-  
wissenschaften

[www.klaus-tschira-preis.info](http://www.klaus-tschira-preis.info)

Einsendeschluss für die Beiträge ist der 29. Februar 2008.



Klaus Tschira Stiftung gGmbH  
Villa Bosch  
Schloss-Wolfsbrunnenweg 33  
69118 Heidelberg

Medienpartner:

bild der  
wissenschaft