

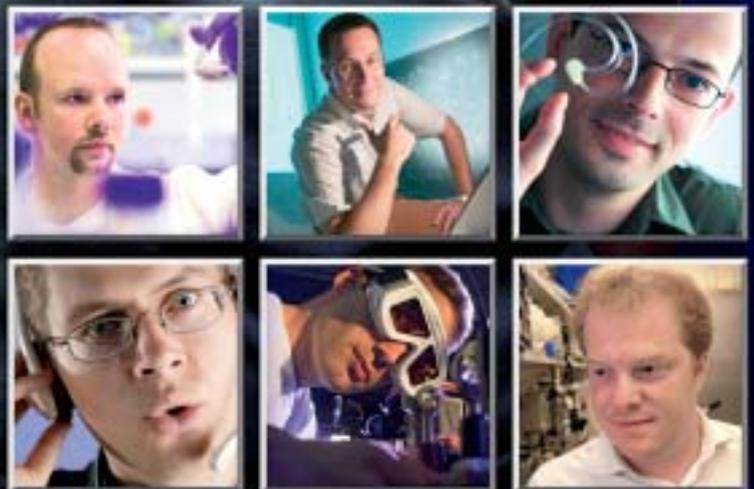
# bild der wissenschaft plus



Die Preisträger 2006

KlarText!  
KlarText!  
KlarText!  
KlarText!

Klaus Tschira Preis  
für verständliche  
Wissenschaft





Dr. h.c. Klaus Tschira betreibt Forschungsförderung auf unkonventionelle Art und hat Spaß beim Ausgestalten seines Arbeitsumfelds (Foto unten).

## Wer seine Wissenschaft verstanden hat, kann die Dinge auch einfach sagen\*

„**„DIE MORPHOLOGISCHE DIMENSION** subterranean Agrarprodukte steht in reziproker Relation zur mentalen Kapazität ihrer Produzenten.“ – Sätze wie dieser karikieren die Ausdrucksweise von Wissenschaftlern, die selbst klare Sachverhalte gerne verklausulieren. Dem dümmsten Bauern wachsen die größten Kartoffeln, lautet das in die Umgangssprache zurückübersetzt. „Die Wissenschaftsfeindlichkeit der Bevölkerung kommt von der Bevölkerungsfeindlichkeit der Wissenschaft“, behauptet der Schweizer Ökonom Gerhard Kocher.



P. Hense

Wolfgang Hess, Chefredakteur

Insofern war ein Preis für junge Wissenschaftler überfällig, die nicht nur eine glänzende Doktorarbeit abgeliefert haben, sondern die deren Inhalt und Relevanz auch noch auf zwei Druckseiten verständlich darstellen können. Klaus Tschira, Mitbegründer der SAP AG, und die Studienstiftung des deutschen Volkes zeichnen in diesem Jahr erstmals sechs Forscher aus, die Fachgutachter und Endjury überzeugt haben. Jeder der Sechs erhält dafür 5000 Euro Preisgeld.

84 Menschen, die 2005 oder 2006 in den Disziplinen Biologie, Chemie, Physik, Mathematik, Informatik oder Neurowissenschaften mit „sehr gut“ (magna cum laude) oder „mit Auszeichnung“ (summa cum laude) promoviert haben, bewarben sich um den Klaus Tschira Preis. Viele davon orientierten sich an journalistischen Stilmitteln, was uns von bild der wissenschaft als Medienpartner dieses Preises besonders freut. Überzeugen Sie sich selbst von der Qualität: Die sechs Siegerbeiträge werden in diesem „bild der wissenschaft-plus“ in der Originalfassung veröffentlicht. Anders als im Monatsmagazin beschränkte sich die Redaktion auf die Korrektur von Schreibfehlern und auf Winzigkeiten wie nicht z. B., sondern zum Beispiel zu schreiben.

Der Klaus Tschira Preis 2006 wurde am 12. Oktober im Rahmen einer Festveranstaltung an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg vergeben. Nach dem erfolgreichen Start ist die Ausschreibung für das kommende Jahr selbstverständlich. Zu wünschen bleibt, dass sich künftig noch mehr AkademikerInnen an dem Wettbewerb beteiligen. Immerhin 4051 haben im Jahr 2004 (aktuellere Angaben hat das Statistische Bundesamt noch nicht) ihre Promotion so gut abgeschlossen, dass sie sich wissenschaftlich mühelos für eine Teilnahme am Klaus Tschira Preis qualifiziert hätten.

\* so Prof. Joachim Treusch, der langjährige Vorstandsvorsitzende des Forschungszentrums Jülich und jetzige Präsident der International University Bremen

## INHALT

- 3 Zur Sache**
- 4 Tschiras tolle Tochter**  
Klaus Tschira und seine Stiftung
- 8 Die beste Form der Brutpflege**  
Die Studienstiftung des deutschen Volkes
- 11 Impressum**
- 12 Nils Huse, Physik**  
Das kurze Gedächtnis des Wassers
- 16 Peter Birkholz, Informatik**  
Simulation menschlicher Spracherzeugung
- 20 Armin Fügenschuh, Mathematik**  
Optimale Schulanfangszeiten
- 24 Christian Schmitz, Chemie**  
Modellbau im Mikrolabor
- 28 Alexander Maier, Neurowissenschaften**  
Schlechte Nachrichten für Gedankenleser
- 32 Florian Bredenbruch, Biologie**  
Fit durch Brudermord

## Zur Sache



Klaus Tschira Stiftung gGmbH

# Tschiras tolle Tochter

Die Klaus Tschira Stiftung will die Akzeptanz der Naturwissenschaften verbessern. „KlarText!“, der Preis für verständliche Wissenschaft, ist das jüngste Beispiel.

**DER MANN BEGEISTERT** sich für vieles. Nach dem Abitur konnte er sich kaum entscheiden, ob er nun Biologie, Mathematik, Chemie oder Physik studieren sollte. Schließlich machte die Physik das Rennen. Nach dem Diplom wäre er gerne in der Wissenschaft geblieben. Doch da herrschte gerade Einstellungsstopp.

Schade, dachte sich der standfeste Badener, trauerte der verpassten Chance aber nicht lange nach, sondern bewarb sich um eine Stelle als Systemberater bei der IBM. Das war 1966. Sechs Jahre später verließ er das Weltunternehmen „ganz bestimmt nicht im Frust“, wie er sagt, und gründete zusammen mit vier Kolle-

gen die „Systemanalyse und Programmentwicklung“. Dieses Unternehmen entpuppte sich als genialste Unternehmensgründung der Bundesrepublik. Was mit fünf Mann in Mannheim begann, hat heute weltweit mehr als 36 000 Beschäftigte und seit Jahrzehnten Wachstumsraten beim Umsatz, die fast immer über





Nobelpreisträger an der Wand, moderne Architektur und ein denkmalgeschützter Barockgarten – das Umfeld der KTS strahlt Atmosphäre aus.

B. Moutlien



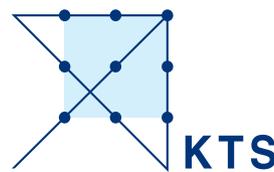
Klaus Tschira Stiftung gGmbH

20 Prozent liegen. Das Unternehmen heißt SAP, der vielseitig Interessierte Klaus Tschira.

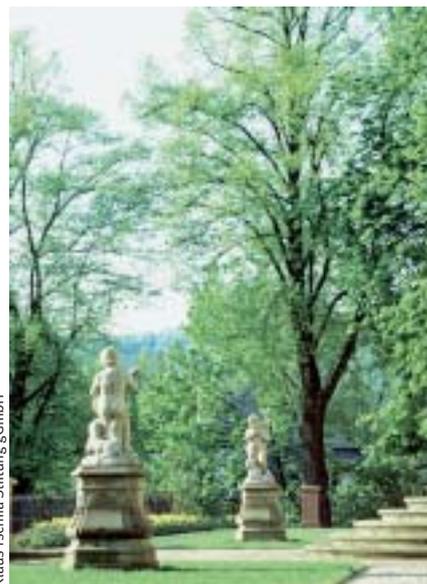
Tschira zog sich 1998 aus dem operativen Geschäft der SAP zurück. Drei Jahre zuvor hatte er bereits eine neue Karriere begonnen – als einer der größten privaten Mäzene der Wissenschaft in Europa. Als Tschira die Stiftung gründete, brachte er SAP-Aktien im Wert von 1,4 Milliarden Mark ein. Gegenwärtig beläuft sich das Stiftungsvermögen auf 800 Millionen Euro. 2005 förderte die Klaus Tschira Stiftung gGmbH gemeinnützige Projekte mit mehr als elf Millionen Euro. Tschira sagt gern, er habe die „möglicherweise dunkelhafte Überzeugung“, dass er Geld sinnvoller ausgeben könne als staatliche Stellen.

Sein Vermögen hat ihn nicht dazu geführt, die Bodenhaftung zu verlieren. Festbanketts sind ihm zuwider, Fototermine ein Graus. Auch das Wort Mäzen ist ihm eine Nummer zu groß. Er bezeichnet das, was er und andere Stifterkollegen in Deutschland für Wissenschaft und Bildung tun können, als „putzig“, als Tropfen auf den heißen Stein. „Wir können über Modellversuche lediglich Anregungen schaffen und zeigen, dass sich etwas bewegen lässt – in der Hoffnung, dass unter den Politikern auch ein paar längerfristig denkende Leute sind, die sich der Dinge flächendeckend annehmen.“

Das Ding, das Tschira vor allem voranbringen will, ist die Verbesserung der Wertschätzung für Naturwissenschaften und Technik. Schlüssel dazu ist für ihn, dass Forscher auch in Deutschland endlich lernen, sich in der Öffentlichkeit verständlich auszudrücken. Der Streit um



KLAUS TSCHIRA STIFTUNG  
GEMEINNÜTZIGE GMBH



Klaus Tschira Stiftung gGmbH

atomare Endlagerung, um Gen-Mais oder um persönliche Identifikationsmerkmale bei elektronischen Systemen würde auch deshalb so oft unversöhnlich und mit wenig Sachverstand geführt, weil Forscher in ihrem Jargon dozieren und nur wenige motiviert und fähig sind, sich auch für den „gutwilligen Laien“ verständlich auszudrücken.

Damit das Verständnis und „hoffentlich auch die Wertschätzung“ zunehmen, setzt die Klaus Tschira Stiftung auf drei Ebenen zugleich an: Bei Kindern und Jugend-

lichen, bei Wissenschaftlern und Journalisten sowie bei den Wissenschaftlern direkt. Junge Menschen – so die einhellige Meinung der modernen Gehirn- und Bildungsforschung – können viel früher an die komplexe Welt der Naturwissenschaften und der Mathematik herangeführt werden, als man über viele Jahrzehnte in Deutschland glaubte. Dass andere Länder bei PISA und ähnlichen Tests Deutschland das Nachsehen geben, liegt demnach auch daran, dass die unter 10-Jährigen dort stärker gefordert und gefördert werden. Projekte der Klaus Tschira Stiftung wie „Mit Kindern die Welt entdecken – naturwissenschaftliche Frühförderung im Kindergarten“, der „Jugendsoftwarepreis“ oder „explore science“, ein experimenteller Wettbewerb für Schüler der Klassenstufen 5 bis 13, sollen zeigen, wie die Defizite verringert werden könnten.

Ganz neu ist der Versuch, in Heidelberger Kindergärten, die sich in ihrer Sozialstruktur deutlich unterscheiden, naturwissenschaftliche Früherziehung einzuführen. Die Ergebnisse werden in Doktorarbeiten dokumentiert, die gegenwärtig

tig an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg entstehen.

Die zweite Stoßrichtung der Klaus Tschira Stiftung ist ein Schreib- und Interviewtraining für Wissenschaftler. 50 bis 60 Forscher pro Jahr verbringen seit 2001 zwei Tage in Tschiras repräsentativem Heidelberger Anwesen, der Villa Bosch. Die hat er sich, noch als SAPler, 1994 gegönnt. Erbaut wurde die Villa 1921 – von Carl Bosch, dem späteren Begründer der IG Farbenindustrie und Chemienobel-

tig in Schwung kam das damals nicht. Tschira, dem die Universität Klagenfurt 1995 die Ehrendoktorwürde für Informatik verliehen hat, meint heute selbstkritisch: „Wir hatten das Problem einer etwas dürftigen Ausbeute. Um eine breite Wirkung zu erzielen, hätte man den Preis auf andere Universitäten ausweiten müssen, mit einem Zeitaufwand, den niemand leisten wollte.“

1999 schloß der Preis für verständliche Wissenschaft fürs Erste ein. Das hieß

scher Sprache, die den Ertrag einer herausragenden Dissertation für ein breites Publikum verständlich aufbereiten und in einen größeren Zusammenhang stellen.

- Die Texte sollen zwischen 8000 und 10 000 Zeichen umfassen.
- Zugelassen sind Arbeiten, die in den Fachgebieten Biologie, Chemie, Physik, Informatik, Mathematik oder Neurowissenschaften in den Jahren 2005 oder 2006 an einer Universität in Deutschland abgeschlossen und mit magna cum laude oder



preisträger. Das Medientraining soll den jungen Wissenschaftlern einerseits offenbaren, unter welchen Bedingungen die Presse arbeitet. Darüber hinaus gibt es eine Schreibwerkstatt – beispielsweise, um zu üben, wie man den eigenen Forschungsschwerpunkt auf 80 Zeitungszeilen darstellt. Fit gemacht werden die Forscher von Göpfert & Göpfert. Göpfert 1 heißt mit Vornamen Winfried und ist Lehrstuhlinhaber für Wissenschaftsjournalismus an der FU Berlin. Göpfert 2 – er hört auf Jörg – ist Wissenschaftsjournalist, mit Winfried aber nicht verwandt.

Eine dritte Säule der Aktivitäten ist die Förderung von Promovierenden. 1996 stiftete Tschira einen Preis für verständliche Wissenschaft. Er wurde an der Universität Karlsruhe an Doktoranden vergeben, die ihre Arbeit allgemeinverständlich aufschreiben konnten. Doch so rich-

aber nicht, dass der Dickbrettbohrer Tschira aufgab. Er hielt Ausschau nach einem Partner, der eine bundesdeutsche Ausweitung der Ausschreibung ermöglichen konnte – und fand ihn auch rasch. Der Kurator der Klaus Tschira Stiftung, Prof. Siegfried Englert, empfahl die Studienstiftung des deutschen Volkes, die ihn selber einstmals unterstützt hatte. Die Studienstiftung fördert junge Talente, die sich über auffallend gute Zensuren und ausgefeilte Testouten. Mit aktuell 6300 Stipendiaten ist sie die größte Organisation dieser Art in Deutschland.

Es dauerte ein paar Jahre, ehe die Weichen gestellt waren und „KlarText! Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft“ Fahrt aufnahm. Was wörtlich verstanden werden kann: Derzeit führt eine Lok der Deutschen Bahn Inter- und Eurocitys durch die Republik mit der Aufschrift „Wissen zieht – Teilen Sie es anderen mit“. Im Oktober 2005 wurde der Preis im neuen Rahmen erstmals ausgeschrieben:

- Prämiert werden können Texte in deut-

**Oben: Interviewtraining für Wissenschaftler, KTS-Seminar. Rechts: Schülerexperimente, Werbung für KlarText! auf einer Lok. Was Tschira in die Hand nimmt, führt er fort. Um Aktionismus geht es nie.**

besser bewertet worden sind. Für die laufende Ausschreibung gelten die Abschlussjahre 2006 und 2007.

84 Bewerbungen gingen bis Ende Februar 2006 bei der Studienstiftung ein. Eine Fachjury aus Spitzenwissenschaftlern wählte die besten Arbeiten aus und nominierte zwischen drei und fünf je Fachgebiet. Anfang Juli bildete sich die Hauptjury in der Villa Bosch ein abschließendes Urteil und prämierte die sechs Arbeiten, die auf den folgenden Seiten präsentiert werden.

Klaus Tschira, wie auch die anderen Jurymitglieder Prof. Winfried Göpfert, Prof. Wolfgang Klein vom Max Planck Institut für Psycholinguistik in Nijmegen, Konrad Müller, Generalsekretär der European Life Scientist Organisation ELSO, sowie bild der wissenschaft-Chefredakteur Wolfgang Hess, sind „angenehm über-

Klaus Tschira Stiftung gGmbH (7)



rascht“ bis „sehr angetan“ von der Formulierungskunst der ausgezeichneten Wissenschaftler. Sie ermutigen den Stifter in seinem Bestreben, Wissenschaft für die Öffentlichkeit so aufbereiten zu lassen, dass die Kommunikation nicht gleich beim ersten Kontakt abbricht.

Der Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft ist auch für das kommende Jahr erneut ausgeschrieben. Ein-sendeschluss ist der 28. Februar 2007, mehr dazu auf der letzten Seite dieses



wenn es um ihr ureigenes Fachthema geht, über das sie sonst nur fachsimpeln. Mit dem Preis möchte er jungen Wissenschaftlern Mut machen, ihre Themen in die gesellschaftliche Diskussion einzubringen. „Das Wissen um physikalische, biologische oder chemische Sachverhalte gehört zu unserer Kultur“, sagt er und schwärmt: „In angelsächsischen Ländern erweist sich der eine oder andere Spitzenforscher durchaus als Bestsellerautor. Warum sollte das in Deutschland nicht auch möglich sein?“

Wer als Stifter bekannt ist, wird umschwärmt und übt eine magische Anziehungskraft auf viele aus. Auch Tschira wird das mit steigendem Bekanntheitsgrad zur Last. So erbat ein Bauer, der den Hof der Eltern beerben wollte, ihn um ein Zubrot für deren Altenteil. Auch Wissenschaftler betteln ihn an. „Als ich nach einem Vortrag an der Universität Karlsruhe das Audimax verließ, sprachen mich auf dem Weg zum Ausgang gleich vier Personen auf Fördermittel an.“

Doch Almosen verteilen ist nicht Tschiras Ziel. Die Fördermöglichkeiten sind genau definiert und im Internet unter [www.kts.villa-bosch.de](http://www.kts.villa-bosch.de) nachzulesen.



und Klaus Tschira müssen damit klar- kommen, dass der Vater sich vor allem um seine knapp elfjährige Tochter – die Klaus Tschira Stiftung – kümmert.

Von den KlarText!-Preisträgern erhofft sich Tschira, dass sie es nicht bei der einmaligen Stilübung belassen, sondern die publizistische Begabung auch künftig nutzen, um sich Gehör zu verschaffen. So wie Rainer Malaka, frischberufener Prof. für Informatik an der Universität Bremen, der den Vorgängerpreis 1997 entgegennehmen konnte. Noch immer registriert Malaka eine „attraktive Ausstrahlung“, die sein Lebenslauf durch diesen Preis erhalten hat. Mit der Verpflichtung, nicht



bild der wissenschaft-Supplements und im Internet unter [www.klaus-tschira-preis.de](http://www.klaus-tschira-preis.de).

Tschira freut sich, dass auch deutsch sprechende Naturwissenschaftler in der Lage sind, verständlich und oftmals regelrecht unterhaltsam über wissenschaftliche Themen zu erzählen – selbst dann,

Hilfe zu Selbsthilfe ja, Alimentierung nein. Auch innerhalb der Familie hält es Tschira nicht anders. „Man soll seinen Kindern so viel hinterlassen, dass sie alles machen können – aber nicht so viel, dass sie nichts zu machen brauchen“, zitiert Tschira Bill Gates, den er einmal getroffen hat. Die beiden Söhne von Gerda

nur bei öffentlichen Vorträgen, auch unter Kollegen die Worte so zu wählen, dass er Anklang findet: „Selbst Wissenschaftler verstehen einen besser, wenn man sich einfach ausdrückt. Wer es versucht, wird bemerken, dass das in den meisten Fällen sogar ohne Substanzverlust funktioniert.“ **Wolfgang Hess ■**

# „Die beste Form der Brutpflege“

Wer motivierte Studenten und strahlende Professoren sehen will, muss nach St. Johann in Südtirol kommen. Dort findet jährlich Anfang September die Sommerakademie der Studienstiftung des deutschen Volkes statt.





Zwischen den Vorlesungen: Die Arbeitsgruppe für „Formale Modelle psychischer Prozesse“ hat Spaß beim Fototermin.



**DER WEG ZUM WISSEN** führt vorbei an alten Bauernhäusern und geraniengeschmückten Balkons, an rauschenden Bächen und steilen Berghängen. In St. Johann, einem kleinen Dorf im Südtiroler Ahrntal, trifft sich alljährlich Anfang September Deutschlands studentische Elite – eingeladen von der Studienstiftung des deutschen Volkes, die die Hoffnungsträger fördert (siehe „Steckbrief der Studienstiftung“). Zwei Wochen lang wird vormittags und abends – in Vorlesungen, Vorträgen und Arbeitsgruppen – geistiges Futter gereicht, nachmittags – bei Ausflügen und Wanderungen – unberührte Natur.

Solche Sommerakademien veranstaltet die Studienstiftung auch in Olang und La Villa (Südtirol), Ftan (Schweiz) und Salem (Bodensee), Görlitz (Sachsen) und Alpach (Tirol), Rot an der Rot (Oberschwaben) und Guidel (Bretagne) – für insgesamt 1300 „Stiftis“, wie die Stipendiaten der Studienstiftung genannt werden. „Die Studenten sind in zwei Gruppen aufgeteilt: Die Studienanfänger bis zum Vordiplom und die älteren Semester samt Doktoranden. Hier in St. Johann sind letztere versammelt – etwa 150 Studenten und 20 Professoren“, erklärt Matthias Frenz, einer der Organisatoren.

Die „Stiftis“ sind im Ort mittlerweile zur Institution geworden. Seit 1983 sind sie in St. Johann zu Gast und damit länger

U. Kleinholdermann (2)



T. Lange (unten); A. Brüderte; U. Kleinholdermann

im Dorf als Pfarrer Küer, der seit 16 Jahren für das Wohl der 1800-Seelen-Gemeinde sorgt. Die beiden Hotels am Ortseingang, das „Steinpent“ und der „Bader“, erleben im Spätsommer, wenn die Sommerakademie einzieht, eine zweite Hochsaison.

Für den vormittäglichen Unterricht werden die Studenten – die in neun Arbeitsgruppen eingeteilt sind – in der örtlichen Mittelschule einquartiert. Noch sind Sommerferien in Südtirol – und die Räume stehen leer. Doch in der Zwergschule ist nicht für alle Platz. Die Stiftis aber sind nicht anspruchsvoll – und die Südtiroler erfinderisch. Die Feuerwehr-

halle, keine 50 Meter entfernt, wird kurzerhand in Beschlag genommen. Wo sich Feuerwehrleute sonst auf „Gott zur Ehr, dem nächsten zur Wehr“ einschwören, macht sich die Arbeitsgruppe „Sprachverstehende Suchmaschinen“ breit. Zusammen mit 23 Studenten wollen Manfred Pinkal, Professor für Computerlinguistik an der Universität des Saarlandes und Michael Kohlhasse, Professor für Computerwissenschaft an der School of Engineering and Science der International University Bremen, die Intelligenz von Google & Co verbessern. Eines Tages sollen sie verstehen, wo-

nach man wirklich sucht. „Wenn wir nicht nur zwei Wochen, sondern ein halbes Jahr Zeit hätten, könnten wir eine richtige Forschungsarbeit verfassen – so gut sind die Studenten“, schwärmt Michael Kohlhasse.

Jede Arbeitsgruppe wird von mindestens zwei Hochschullehrern betreut. Meist sind sie selbst ehemalige Studienstiftler. Ihr Engagement ist ehrenamtlich, der Andrang trotzdem riesig. „Wir mussten eine Dreijahres-Sperre einführen“, erklärt Organisator Matthias Frenz. „Das heißt, wer einmal dabei war, muss zwei Runden aussetzen. Außerdem versuchen wir es so einzurichten, dass die Betreuer einer Arbeitsgruppe aus unterschiedlichen Fachbereichen kommen, um die Interdisziplinarität zu fördern.“

Von Eigenbrötelei kann tatsächlich keine Rede sein. In der Arbeitsgruppe „Menschen und andere Tiere im Denken der Antike und des Mittelalters“, wo Mäusen und Eseln der Prozess gemacht wird, reihen sich Literaturwissenschaftler neben Lateinern und Juristen ein. Für „Textkritik und Edition“ und die Frage, wie der Faust entstanden ist, interessieren sich nicht nur Philologen, sondern auch Volkswirtschaftler, Physiker und Designer. Und unter die Informatiker, die Google & Co Intelligenz einzuhauchen versuchen, haben sich Linguisten, Physiker und Mathematiker gemischt. „Es gab

## STECKBRIEF DER STUDIENSTIFTUNG

**DIE STUDIENSTIFTUNG** des deutschen Volkes in Bonn ist das größte Begabtenförderungsmerk der Bundesrepublik. Sie wurde 1925 von der studentischen Selbsthilfeorganisation „Wirtschaftshilfe der deutschen Studentenschaft“ gegründet, während des Nationalsozialismus von der „Reichsförderung“ abgelöst und 1948 in ihrer ursprünglichen Form wiederbelebt. Finanziell greifen ihr der Bund, die Länder und Kommunen, der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, diverse andere Stiftungen und mehr als 6000 Privatpersonen unter die Arme. Als Schirmherr fungiert der Bundespräsident.

Die Studienstiftung unterstützt sowohl herausragende Studenten, als auch Hoffnungsträger aus Wirtschaft, Verwaltung und Kunst. Um ins Förderprogramm aufgenommen zu werden, muss ein Stipendiat vom Schulleiter oder Oberstudienleiter (für Abiturienten), einem Hochschullehrer (für Studierende) oder dem Rektor staatlicher Musik- und Kunsthochschulen (für Studenten künstlerischer Fächer) vorgeschlagen werden. Eine Auswahlkommission – bestehend aus Hochschulprofessoren, Schulleitern und ehe-



maligen Stipendiaten – prüft die Bewerber in Einzelgesprächen und Gruppenrunden. Was zählt sind nicht nur gute Noten, sondern auch soziales Engagement – ob als Fußballtrainer, Leiter der Schülerzeitung oder passionierter Geigenspieler. Parteilklüngel und Religionszugehörigkeit spielen keine Rolle. Vielmehr gilt das Motto: „Leistung, Initiative, Verantwortung“.

Neben der finanziellen Unterstützung werden auch noch Sommerakademien, wissenschaftliche Kollegs, Praktikumsmöglichkeiten, Forschungsaufenthalte im Ausland, Sprachkurse, Kontaktseminare, Doktorandenforen und Kurztagungen geboten.

Kontakt:  
Studienstiftung des deutschen Volkes  
Ahrstraße 41, 53175 Bonn  
Telefon: 0228/82096-0

[www.studienstiftung.de](http://www.studienstiftung.de)



Nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch beim Wandern sind die Studienstiftler echte Gipfelstürmer.



Eine willkommene Abwechslung: An der frischen Bergluft wird der Kopf wieder frei für gedankliche Höhenflüge.

schon Mathematiker, die nach der Sommerakademie zur Informatik gewechselt sind“, erzählt Michael Kohlhase. „Das ist die beste Form der Brutpflege.“

In diesem Jahr scheint der Nachwuchs besonders vielversprechend. „Sehen Sie, das ist Boris – unsere Wunderwaffe“ sagt Kohlhase und zeigt auf einen blonden Lockenkopf mit rotem Hemd und weißer Hose. „Er kann besser programmieren als wir alle zusammen. Da wird man richtig demütig.“

J. Doetsch, T. Kellner, F. Friese

Nicht nur Kohlhase ist von seinen akademischen Schützlingen angetan. Klug seien sie und kritisch, interessiert und

wissbegierig, so das allgemeine Urteil. Keiner kritzelt während der Vorlesungen und Referate gelangweilt Kringel aufs Papier, keiner versucht vergeblich, ein Gähnen zu unterdrücken, keiner verschanzt sich kleinlaut in der letzten Reihe. „Die Stiftis sind wie die Kinder“, sagt der Saarländer Professor Manfred Pinkal. „Sie haben sich ihre Begeisterungsfähigkeit bewahrt.“

Die Studienstiftler sind ein bunter Querschnitt bodenständiger Zwanzigjähriger. Einige tragen Jeans und frechen Kurzhaarschnitt, andere braven Scheitel und Bügelhose.

Dass sie nicht nur geistigen Genüssen, sondern auch irdischen Verlockungen erliegen, zeigt das Freizeitprogramm, das die Studienstiftler in Eigenregie organisieren. Auf dem Schwarzen Brett im Hotel Steinpent wird eingeladen: zum Tai Chi am frühen Morgen, zum Eisessen im Nachbardorf Sand in Taufers, zum Wandern in den umliegenden Bergen. Und wem Sport, Schlemmen und Seelenfrieden noch nicht reichen, der probt und bastelt – ganz nebenbei – für das krönende Ende der Sommerakademie: den Abschlussabend.

Bevor es am Samstag wieder nach Hause geht, verwandelt sich die Aula der St. Johanner Mittelschule am Freitag für drei Stunden in eine Bühne mit geradezu grandiosen Darbietungen. Wunderwaffe Boris

fetzt heiße Rhythmen am Klavier. Die Juristin, die tags zuvor über die Tierprozesse im Mittelalter referiert hat, schwebt mit ihrem Tanzpartner, dem Tai-Chi-Lehrer, übers Parkett. Ein Sketch jagt den anderen. Vier Musikanten haben – in Ermangelung von Pauken und Trompeten – den Gartenschlauch des Hotels Steinpent in Stücke geschnitten und mit Trichtern versehen. Es ist mühsam – doch den selbst gebastelten Musikinstrumenten sind tatsächlich Töne zu entlocken.

Die Sommerakademie hinterlässt einen bleibenden Eindruck. „Manch einer hat hier schon seinen Partner fürs Leben gefunden“, flüstert Michael Kohlhase, während der akademieeigene Chor, der sich bereits in den ersten Tagen spontan gebildet hat, ein buntes Repertoire zum Besten gibt. Seine Kollegin Barbara Zehnpfennig, Professorin für Politische Theorie und Ideengeschichte an der Universität Passau, drückt zum Abschied aus, was all ihre Kollegen denken: „Die Stiftis haben uns dauernd widersprochen, was wirklich unerhört ist. Es war eine ganz ungewöhnliche Erfahrung, mit so klugen, interessierten und engagierten Studenten arbeiten zu können – die noch dazu allesamt die vorgegebenen Texte gelesen hatten. Es war einfach wunderbar. Wenn das mein universitärer Alltag wäre, dann würde ich gar nicht mehr nach Hause gehen.“ **Bettina Gartner** ■

#### DIE STUDIENSTIFTUNG IN ZAHLEN:

- Mitarbeiter 65
- Studenten gesamt : 6500, davon 45 Prozent Frauen und 55 Prozent Männer
- Jährliche Neuzugänge: 2000
- Haushaltsvolumen 2005: 37 Millionen Euro
- Monatliches Stipendium für Studierende: bis zu 525 Euro (+ 80 Euro Büchergeld)
- Monatliches Stipendium für Doktoranden: 920 Euro (+ 100 Euro Forschungskostenpauschale)

## 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):** Wolfgang Hess, Cornelia Varwig, Renate Ries

**Grafische Gestaltung:** Karl Marx

**Bildredaktion:** Irene Kern-Krüger

**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  
www.klaus-tschira-preis.de

# Das kurze Gedächtnis des Wassers

Wasser – jeder kennt es und doch kennt es keiner, denn Wasser birgt trotz intensiver Forschung noch viele Geheimnisse. Seine Besonderheit beruht auf einer komplexen, sich ständig ändernden Struktur, deren Einzelheiten bis heute ein Rätsel sind. Nun ist es gelungen, das „Gedächtnis“ reinen Wassers mit modernsten wissenschaftlichen Methoden zu untersuchen.



Wassermoleküle zappeln umher. Mit ultraschnellen Infrarotblitzen lässt sich die Bewegung verfolgen und nachweisen, dass ihr „Gedächtnis“ für frühere Umgebungen innerhalb kürzester Zeit verloren geht.

**EIN EINZELNES WASSERMOLEKÜL** ist von erstaunlicher Einfachheit: Ein Sauerstoffatom, an das zwei Wasserstoffatome gebunden sind, ergibt  $H_2O$ . Doch verbinden sich Wassermoleküle – und sei es auch nur zu einem winzigen Tropfen –, entsteht eine Flüssigkeit mit erstaunlichen Eigenschaften. Die Oberflächenspannung des Wassers erlaubt es Bäumen, so weit in den Himmel zu wachsen, dass die Nadeln der Baumkrone noch in über 100 Metern versorgt werden. Im Winter friert Süßwasser zu Eis, das leichter ist als kaltes Wasser. Letzteres sammelt sich am Grund von Seen, statt an der eisigen Oberfläche ebenfalls zu erstarren, und ermöglicht Fischen die Überwinterung im isolierten Tiefenwasser.

Die Anzahl der Wasseranomalien ist groß, und ihre Gesamtheit macht Wasser so einzigartig. Das Geheimnis dieser Einzigartigkeit liegt nach wissenschaftlicher Erkenntnis in der Struktur des Wassers. Wassermoleküle bilden unter einander schwache Bindungen, die ständig brechen, um sich anschließend neu zu bilden. Es entsteht ein fluktuierendes Netzwerk von Wassermolekülen, in dem es zu einer sich zeitlich schnell verändernden Umgebung jedes einzelnen Moleküls kommt.

Nun ist es von großem Interesse zu verstehen, wie schnell und in welcher Weise sich die Umgebung eines Wassermoleküls ändert, um theoretische Wassermodelle zu bestätigen oder zu widerlegen (denn die moderne Naturwissenschaft kann kein Modell beweisen, sie kann immer nur zeigen, dass ein Modell experimentelle Beobachtungen gut oder schlecht beschreibt). Ein tieferes Verständnis des Wassers mit Hilfe des richtigen Wassermodells ist insbesondere in der modernen Biologie von enormer Be-

deutung, denn Wasser dient als Medium für die wichtigsten biologischen Vorgänge in allen Lebewesen. Zum Beispiel sind Tausende Eiweiße die Bauteile und Maschinen unserer Zellen. Eiweiße sind lange Ketten, die in komplizierter Weise auf nur eine Art gefaltet sein können, um richtig zu funktionieren. Der Mechanismus der Faltung führt nur in wässriger Umgebung zum richtigen Ergebnis und ist auf bisher nicht bekannte Weise mit den Eigenschaften des Wassers verknüpft. Auch existiert unser Erbgut als längliche spiralförmige Moleküle, ähnlich den Stufen in einer Wendeltreppe. Diese Moleküle können ebenfalls nur in wässriger Umgebung ihre natürliche Form annehmen.

Wie kann man nun die Änderung von Wasserstrukturen untersuchen? Könnte man einfach nachgucken, oder besser: gäbe es eine Kamera, mit der die Umgebung eines Wassermoleküls beobachtet

### Dr. Nils Huse

\*1972 in Hamburg  
 1989/90 Franklin High School, New Hampshire, USA, anschließend Hochschulreife  
 Zivildienst  
 ab 1994 Studium der Physik Universität Freiburg, Université de Paris-Sud, Universität Heidelberg  
 2001 Diplom-Physiker  
 2001 bis 2006 Doktorand, Humboldt-Universität Berlin  
 17.2.2006 Promotion zum Dr. rer. nat. wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, Berlin  
[huse@mbi-berlin.de](mailto:huse@mbi-berlin.de)

Hier ist der Wissenschaftler buchstäblich in seinem Element. Normalerweise erforscht Nils Huse die Anomalien des Wassers mit moderner Technik im Labor.

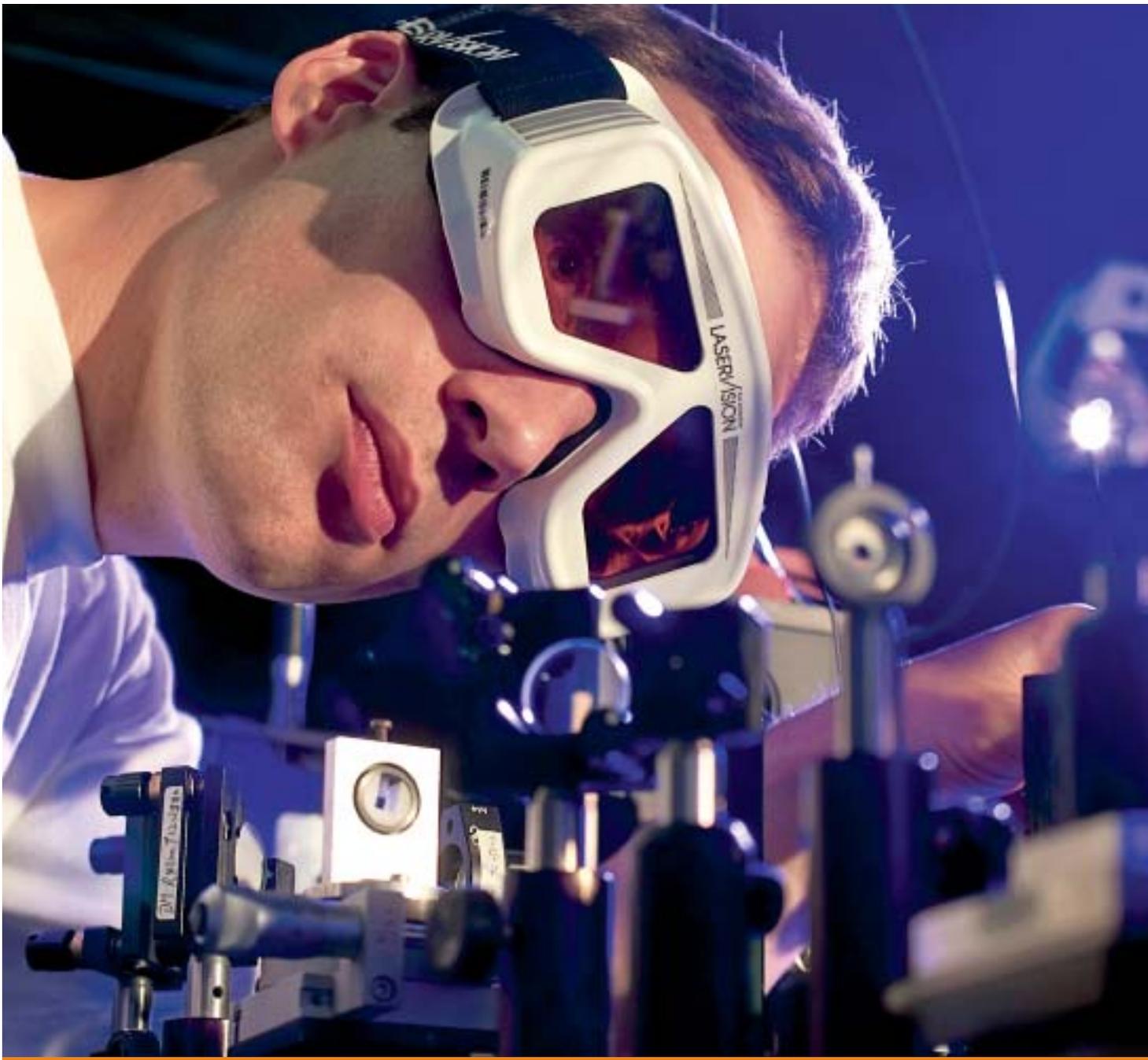
D. Gust für bdw

werden könnte, wäre die Forschung an dieser Stelle heute schon weiter. Ein Augenaufschlag dauert eine Dreißigstel-sekunde, schnelle Kameras können noch Änderungen unterhalb einer Tausendstelsekunde verfolgen, doch die Bewegungen von Molekülen in Flüssigkeiten sind unvorstellbar schnell. Sie können innerhalb einiger Femtosekunden, das heißt einiger Millionstel einer Milliardstelsekunde stattfinden! Innerhalb eines Wassermoleküls dauert die Periode der so genannten Streckschwin-

gung, bei der die Wasserstoffatome weg vom Sauerstoff und wieder zurück schwingen, nur zehn Femtosekunden. Ganze Wassermoleküle brauchen nur einige hundert Femtosekunden, um ihre Lage deutlich zu verändern. Wie lassen sich solch schnelle Veränderungen nachweisen?

Nun hängt die Frequenz der Streckschwingung eines Wassermoleküls sehr empfindlich von dessen Umgebung ab. Ändert sich die Umgebung eines Wassermoleküls, so ändert sich auch die Fre-

quenz seiner Streckschwingung. Und genau dieser Zusammenhang kann in Verbindung mit extrem kurzen Lichtblitzen genutzt werden: Die Streckschwingung eines Wassermoleküls lässt sich zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einem Lichtblitz anregen, wenn die Frequenz des Lichts der Schwingungsfrequenz eines Wassermoleküls entspricht. Fragt man die Frequenz des gleichen Wassermoleküls zu einem späteren Zeitpunkt mit einem zweiten Lichtblitz ab, wird deutlich, ob sich die Frequenz und damit die Um-



gebung des angeregten Wassermoleküls geändert hat. Dabei wird das Licht gemessen, das von der Wasserprobe ausgesandt wird.

Mit dieser Methode kann auch das so genannte „Gedächtnis“ des Wassers gemessen werden. Der Begriff „Gedächtnis“ bedeutet hier, dass es einen Zusammenhang zwischen der Wasserstruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt und der Wasserstruktur zu früheren Zeitpunkten gibt. Deshalb nennt man diesen Zusammenhang genauer das strukturelle „Ge-



**Mit extrem kurzen Lichtblitzen misst der Physiker Nils Huse, wie sich die Struktur von Wassermolekülen innerhalb von unvorstellbar kurzer Zeit verändert.**

dächtnis“ des Wassers. So ist ein kurzes strukturelles Gedächtnis vorhanden, wenn nur Wasserstrukturen, die in naher Vergangenheit existierten, die Gegenwart bestimmen, während Strukturen, die vor langer Zeit existierten, keinen Einfluss mehr haben.

Möchte man das Gedächtnis des Wassers bestimmen, das es für seine frühere Struktur hat, kann der Zusammenhang zwischen Schwingungsfrequenzen eines Wassermoleküls und seiner Umgebung ausgenutzt werden. Dazu muss man wissen, dass die Streckschwingung des Wassers sich immer innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs befindet. Schwach mit ihrer Umgebung verbundene Wassermoleküle schwingen etwas schneller als solche, die stark mit ihrer Umgebung verbunden sind. Regt man nun auf die eine oder andere Weise gebundene Wassermoleküle mit einem kurzen Femtosekunden-Lichtblitz an und fragt sogleich mit einem zweiten ebenso kurzen Lichtblitz die Schwingungsfrequenz der Moleküle ab, wird sich diese nicht verändert haben, weil keine Zeit verstrichen ist, in der die Umgebung der angeregten Moleküle sich hätte verändern können. Wartet man länger, bevor der zweite Lichtblitz die Schwingungsfrequenz abfragt, wird bei „Gedächtnisverlust“ jede Schwingungsfrequenz gleich wahrscheinlich auftreten – es gibt dann keinen Zusammenhang mehr zwischen der Schwingungsfrequenz der Vergangenheit (dem Zeitpunkt der Anregung durch den ersten Lichtblitz) und der Gegenwart (dem Zeitpunkt der Abfrage durch den zweiten Lichtblitz).

Durch die Erfindung des Lasers ist es im Laufe der letzten Jahrzehnte möglich

geworden, starke und extrem kurze Lichtblitze (auch Lichtpulse genannt) zu erzeugen, die kürzer als eine Femtosekunde sein können. Für Lichtblitze, die die Streckschwingung des Wassers anregen, ist Licht mit einer Wellenlänge von 3 Mikrometern nötig. Tatsächlich ist das menschliche Auge für Licht dieser Wellenlänge unempfindlich und solches Licht daher unsichtbar. Nur wenige Forschungsgruppen können derzeit solche Lichtpulse erzeugen, mit denen Änderungen der Schwingungsfrequenz innerhalb von nur 50 Femtosekunden wahrgenommen werden können.

In einem neuen, speziell für Wasserexperimente entwickelten Aufbau, einer ultraschnellen Frequenzkamera sozusagen, wurde nun ein dünner Wasserfilm von nur 0,5 Mikrometer Dicke untersucht. Zum Vergleich: Ein Haar ist ungefähr 30 Mikrometer dick. Auch hier wurde Neuland betreten, denn einen Wasserfilm, der so dünn und dennoch sehr stabil über Stunden ist, gab es zuvor nicht. Der Wasserfilm muss so dünn sein, weil Licht der richtigen Frequenz so stark absorbiert wird, dass nur sehr dünne Wasserfilme noch genügend Licht zur Messung durchlassen.

Erstaunlicherweise zeigte sich nun, dass ein Zusammenhang zwischen Schwingungsfrequenzen der Wassermoleküle innerhalb von nur 50 Femtosekunden weitgehend verloren geht. Wassermoleküle verlieren also ihr Gedächtnis für ihre vorherige Umgebung unglaublich schnell – viel schneller als zuvor angenommen wurde. Dieses Ergebnis schließt auch manches Erklärungsmodell für den Wirkungsmechanismus homöopathischer Medizin aus. In solchen Modellen behalten Wassermoleküle über Tage und Wochen eine Struktur, die dem Negativ eines homöopathischen Wirkstoffes entspricht und dadurch ähnlich wie der Wirkstoff selbst heilt.

Die neuen Ergebnisse haben bereits theoretische Forschungsgruppen animiert, neue Modelle zu entwickeln, die die Wirklichkeit besser beschreiben. Dennoch bleiben viele Fragen offen, die zu einem genauen Verständnis des Wassers und seiner Natur erst noch beantwortet werden müssen. Es bleibt also spannend.

*Dr. Nils Huse*



D. GUST (2)



Computerstimmen sind aus einzelnen Silben und Wörtern zusammengesetzt und klingen oft künstlich. Ein alternativer Forschungsansatz soll diesen Mangel beheben.

# Simulation menschlicher Spracherzeugung

Aktuelle Computerprogramme zur Spracherzeugung basieren fast alle auf der Verkettung vorab aufgenommener Sprachbausteine. Mit einer anderen Herangehensweise – der direkten Simulation der Spracherzeugung – würden sich jedoch ganz neue Anwendungen und Möglichkeiten ergeben. Trotz der damit verbundenen wissenschaftlichen Herausforderungen könnte der praktische Einsatz bald möglich sein.



## Dr. Peter Birkholz

\*1978 in Rostock  
1996 Abitur in Ribnitz-Damgarten  
Bundeswehr  
1997 bis 2002 Informatikstudium an der  
Universität Rostock  
2002 Diplom-Informatiker  
2002 bis 2005 Doktorand, Uni Rostock  
20. Oktober 2005 Promotion zum Dr.-Ing.  
auf dem Gebiet der Sprach- und Signalver-  
arbeitung  
seit August 2005 wissenschaftlicher Mit-  
arbeiter an der Universität Rostock  
[piet@informatik.uni-rostock.de](mailto:piet@informatik.uni-rostock.de)

Der Schall, der beim Sprechen  
normalerweise nur hörbar ist,  
kann am Computer mit einer Am-  
plitude sichtbar gemacht werden.

**DASS COMPUTER** in der Lage sind, geschriebene Texte vorzulesen, überrascht heute kaum noch jemanden. Beispielsweise lassen sich SMS vom Handy oder E-Mails auf dem Computer bequem auf Knopfdruck von einer Computerstimme vorlesen. Wer selbst mit solchen Sprachausgabeprogrammen arbeitet, wird zwar bemängeln, dass die Computerstimmen teilweise künstlich klingen oder Wörter falsch betont werden; den Textinhalt kann man jedoch in der Regel gut verstehen. Ist das Problem der Sprachsynthese also gelöst?

Ein Blick hinter die Kulissen der aktuellen Sprachsynthesatoren offenbart, dass hier das Sprachsignal nicht wirklich neu erzeugt wird, sondern aus einzelnen Bausteinen (Einzellauten, Silben, Wörtern) zusammengesetzt wird, die vorher sorgfältig aus den Aufnahmen eines menschlichen Sprechers extrahiert wurden. Vom praktischen Standpunkt aus ist diese so genannte konkatentative Synthese eine Technik, die relativ schnell zu guten Ergebnissen führt. Jedoch muss für jede neue synthetische Stimme ein hoher Aufwand betrieben werden, insbesondere mit der mehrstündigen Aufnahme der Audiodaten und der anschließenden Aufbereitung.

Christine H. Shadle und Robert I. Dampier von der Universität Southampton haben 2002 in einer schriftlichen Stellungnahme zum Stand der Sprachsyntheseforschung mehrere Anforderungen an einen „idealen“ Synthetisator formuliert. Darin fordern sie, dass dieser nicht nur so natürlich und verständlich wie ein Mensch klingen sollte, sondern auch ohne übermäßigen Aufwand die Stimme eines beliebigen realen oder fiktiven Sprechers erzeugen kann, und das in einer beliebigen Sprache! Idealerweise sollte er auch einen Nutzen haben, der über die reine Spracherzeugung hinausgeht – zum Beispiel für die phonetische Forschung oder für die Veranschaulichung des Sprechvorgangs. Konkatentative Syntheseansätze werden diesen Anforderungen nicht vollständig gerecht. Selbst die Autoren eines der besten aktuellen Synthetisatoren (AT&T Natural Voices™) sind der Meinung: „Wir verwenden konkatentative Synthese, weil es derzeit die beste verfügbare Methode ist, um Sprache von gleichbleibend hoher Qualität zu erzeugen ... jedoch glauben wir

gleichzeitig, dass konkatentative Synthese langfristig nicht die Antwort ist“. Was sind also die Alternativen?

Ein Sprachsignal ist das Ergebnis des komplexen und koordinierten Zusammenspiels der Sprechorgane (Artikulatoren), wie der Zunge, der Lippen und des Kehlkopfes. Durch ihren Einsatz wird im Sprechtrakt Schall erzeugt, gefiltert und an die Umgebung abgestrahlt.

Wenn es gelingt, diese verschiedenen Prozesse mit dem Computer direkt zu simulieren, so ist man den oben genannten Forderungen viel näher. Denn dann kann man physiologisch interpretierbare Parameter definieren, um beispielsweise unterschiedliche Stimmen und Emotionen zu simulieren. Die Spracherzeugung durch die direkte Simulation wird als artikulatorische Synthese bezeichnet und wurde seit den grundlegenden Arbeiten zur Theorie der Sprachproduktion in den Sechzigerjahren intensiv erforscht. Es ist aber bisher nicht gelungen, einen „vollständigen“ artikulatorischen Synthetisator zu entwickeln, der Sprache in akzeptabler Qualität erzeugt.

Das hat mehrere Gründe. Zunächst einmal ist die Simulation der Spracherzeugung äußerst komplex. Es werden Computermodelle der Artikulatoren, Simulationsverfahren für die Schallentstehung und -ausbreitung im Sprechtrakt sowie Methoden zur motorischen Ansteuerung der Sprechwerkzeuge benötigt. Diese Modelle dürfen nicht zu komplex sein, damit die Synthese auf aktueller Computerhardware in Echtzeit möglich ist. Andererseits müssen die Modelle die Realität hinreichend genau nachbilden, damit ein natürlich klingendes Sprachsignal entsteht. Ein weiteres Problem ist, dass noch nicht alle Vorgänge bei der Spracherzeugung im Detail verstanden sind. Das betrifft sowohl die motorische Ansteuerung der Sprechwerkzeuge als auch die Geräuscherzeugung durch Luftturbulenzen im Sprechtrakt, beispielsweise bei den Zischlauten „s“ oder „sch“.

Am Institut für Informatik der Universität Rostock beschäftigen wir uns seit zirka sechs Jahren mit der artikulatorischen Sprachsynthese. Unser Ziel ist es, einen artikulatorischen Synthetisator für



R. Frommann (2)

die deutsche Sprache zu entwickeln, dessen Qualität mit den besten konkatenativen Syntheseverfahren vergleichbar ist. Dieses System soll eine Basis dafür bieten, das Potenzial artikulatorischer Synthese auszuschöpfen.

In der Doktorarbeit mit dem Titel „3-D-Artikulatorische Sprachsynthese“ von Peter Birkholz wurden dazu Computermodelle entwickelt und implementiert, die ausgehend von einer formalen Beschreibung der gewünschten Ausgabe alle notwendigen Prozesse simulieren. Ein wesentlicher Schritt zu diesem Ziel war die Entwicklung eines dreidimensionalen Modells des Sprechtrakts, also die geometrische Modellierung der Artikulatoren und Sprechtraktwände. Die Modellierung erfolgte anhand von Röntgenaufnahmen und Magnetresonanztomographie-Bildern des Sprechtrakts. Da die Artikulatoren, insbesondere die Zunge, beim Sprechen in ständiger Bewegung sind, wurden mehrere Parameter definiert, um ihre Formänderungen zu beschreiben. Durch die gezielte zeitliche Variation dieser Parameter gelingt es, die ar-



**Peter Birkholz artikuliert deutlich für die Simulation am Computer. Zunge und Lippen sind dabei ständig in Bewegung.**

tikulatorischen Bewegungsabläufe für beliebige Äußerungen realitätsnah nachzubilden.

Aus jeder Änderung der Artikulationsparameter resultiert eine Änderung der Sprechtraktform, die wiederum die akustischen Eigenschaften des Systems bestimmt. Die Schallausbreitung im Sprechtrakt wird durch eine zeitdiskrete numerische Simulation berechnet. Damit sich Schallwellen im Sprechtrakt ausbreiten können, müssen sie jedoch zuerst erzeugt werden. Man spricht hierbei von der Anregung des Sprechtrakts, die entweder primär (durch die Schwingung der Stimmlippen) und/oder sekundär (durch Luftverwirbelungen) erfolgen kann.

Durch die primäre Anregung werden die stimmhaften Laute erzeugt (zum Beispiel „a“ und „u“). Sie ist entscheidend für den charakteristischen Klang einer Stimme, aber auch für die empfundene Natürlichkeit einer synthetischen Stimme. Ihre realitätsnahe Simulation ist daher besonders wichtig für die artikulatorische Sprachsynthese. Durch die sorgfältige Auswahl und Einstellung der Parameter unseres Stimmlippenmodells ist es gelungen, einen Großteil der Natürlichkeit in der Stimme zu simulieren.

Bei der sekundären Anregung wird der Sprechtrakt oberhalb der Stimmlippen durch ein Rauschsignal angeregt. Das Rauschen entsteht durch Luftverwirbelungen in der Umgebung einer Engstelle, die entweder mit der Zunge („s“, „sch“) oder der Unterlippe und den Zähnen („f“) gebildet wird. Die Geräuscherzeugung durch Turbulenzen ist ein kaum verstandenes wissenschaftliches Problem. Durch die Einführung verschiedener vereinfachender Annahmen hinsichtlich der Position und der spektralen Zusammensetzung der Geräuschquellen

konnten wir diesen Prozess jedoch hinreichend genau nachbilden, um auch Zisch- und Plosivlaute in hoher Qualität zu simulieren.

Um die Artikulationsbewegungen zu erzeugen, die für eine bestimmte Äußerung notwendig sind, müssen die Parameter des Sprechtrakt- und Stimmlippenmodells zeitlich variiert werden. Hierzu haben wir das Synthesystem um ein Steuermodell ergänzt, das aus abstrakten artikulatorischen Gesten entsprechende Parameter-Zeit-Verläufe generiert. Dabei war zu berücksichtigen, dass ein Laut, insbesondere ein Konsonant, in Abhängigkeit von den angrenzenden Lauten immer leicht unterschiedlich realisiert wird. So klingt das „t“ in „ata“ beispielsweise anders als in „utu“. Ohne die Berücksichtigung dieser koartikulatorischen Phänomene ist keine Sprachsynthese in hoher Qualität möglich. In unserer Arbeit wurde ein einfacher Algorithmus zur artikulatorischen Steuerung gefunden, der dies leistet.

Die von uns entwickelten und implementierten Modelle sind in ihrem Zusammenspiel in der Lage, Sprache in hoher Qualität zu simulieren. Einige Beispieläußerungen sind auf der Projekt-Webseite zu finden, inklusive Animationen des Sprechtraktmodells bei der Artikulation. ([http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/~piet/new\\_vocal\\_tract.html](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/~piet/new_vocal_tract.html)) Die dreidimensionale bildliche Darstellung der Artikulation hat einige Anwendungen, die über die eingangs erwähnten Vorteile artikulatorischer Sprachsynthese hinausgehen. So wird zum Beispiel gegenwärtig der Einsatz des Modells bei der Therapie von Sprechstörungen untersucht. Weiterhin könnte es zukünftig als Hilfestellung beim Erlernen von Fremdsprachen oder auch für die Gesichtsanimation in der Computergrafik eingesetzt werden.

Bis zum praktischen Einsatz unseres Systems als „Vorleseautomat“ bleibt aber noch einiges zu tun. So müssen die Simulationsmethoden noch beschleunigt werden, denn für eine Sekunde Sprache muss ein moderner PC gegenwärtig noch zirka 8 Sekunden rechnen. Außerdem arbeiten wir aktuell an der Umwandlung von geschriebenem Text in „artikulatorische Gesten“, die momentan den Ausgangspunkt für die Berechnungen bilden.

Dr. Peter Birkholz



Durch eine Staffelung der Schulanfangszeiten lassen sich Schulbusse wirtschaftlicher einsetzen. In Deutschland können dadurch jährlich an die 100 Millionen Euro eingespart werden.

**LISA IST FAHRSCHÜLERIN.** An jedem Schultag verlässt sie um kurz nach sieben das Elternhaus und wartet an der Haltestelle auf ihren Bus. Im nächsten Schuljahr kann Lisa ausschlafen, da ihre Schule statt um 7.50 erst um 8.30 Uhr anfangen wird. Doch darüber kann sie sich nicht recht freuen: „Ich werde viel später heimkommen“, sagt Lisa. „Wenn wir Unterricht bis zur sechsten Stunde haben, bin ich erst nach zwei zu Hause. Meinen Sportverein um halb drei kann ich vergessen.“

Auch Lisas Eltern sind über die neuen Anfangszeiten nicht glücklich. Die Grundschule, die Lisas kleiner Bruder besucht, wird künftig eine halbe Stunde früher um 7.30 Uhr beginnen, nur bei der Berufsschule der älteren Schwester bleibt es bei 8 Uhr. Da die Kinder zu unterschiedlichen Zeiten heimkommen, ist ein gemeinsames Mittagessen nicht mehr möglich. „Die Mikrowelle wird der beste Freund der Familie“, befürchtet Lisas Mutter.

Die hier dargestellte Ausgangslage ist typisch für viele Landkreise in Deutschland. Traditionell liegt die Schulanfangs-

zeit zur ersten Unterrichtsstunde um 8 Uhr herum. In dünn besiedelten, flächigen Landkreisen sind Fahrschüler die größte Kundengruppe. Für ihre Beförderung gelten gesetzliche Vorgaben bezüglich der maximalen Fahrzeit und der Höchstwartedauer vor und nach dem Unterricht.

Das Angebot an Buslinien ist auf diese Bedürfnisse ausgerichtet. Dieses führt zu einer morgendlichen Verkehrsspitze, da für den kurzen Zeitraum vor Schulbeginn zwischen 7 und 8 Uhr alle Busse im Einsatz sind. Während der übrigen Zeit stehen die meisten davon ungenutzt im Depot. Verkehrsspitzen sind jedoch Kostenspitzen. Die Kosten werden vom Landkreis getragen, der laut Gesetz für den Schülerverkehr verantwortlich ist und daher die Monatskarten bezahlt. Angesichts leerer öffentlicher Kassen sind neue Ideen gefragt, die politisch umsetzbare Einsparungen ermöglichen.

Eine derartige Idee ist die integrierte Koordinierung von Schulanfangszeiten und des Nahverkehrsangebots (IKOSANA). Diese basiert auf dem Ansatz, bei mindestens gleichwertigem Angebot einen wirtschaftlicheren Fahrzeug- und Personaleinsatz zu ermöglichen. Dabei ist die Verschiebung der Schulanfangszeiten ein wesentlicher Aspekt. Rechtlich ist eine Anfangszeit zwischen 7.30 und 8.30 Uhr durch die Landesschulgesetze gedeckt. Solange aber alle Schulen eines Landkreises zum selben Zeitpunkt beginnen, kann ein Bus jeweils nur einen Schulstandort bedienen. Bei gestaffelten Anfangszeiten könnte derselbe Bus noch einen weiteren Schulstandort erreichen. Dabei werden zunächst die Schüler zur frühen Schule gebracht, und in einer weiteren Runde die Schüler zur späten Schule. So kann ein zweites Fahrzeug gespart

## Dr. Armin Fügenschuh

\*1974 in Cuxhaven  
1994 Abitur in Aurich  
Bundeswehr  
ab 1995 Studium der Mathematik und Informatik an der Universität in Oldenburg  
2000 Diplom-Mathematiker  
seit 2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt  
24. Juni 2005 Promotion zum Dr. rer. nat  
fuegenschuh@mathematik.tu-darmstadt.de

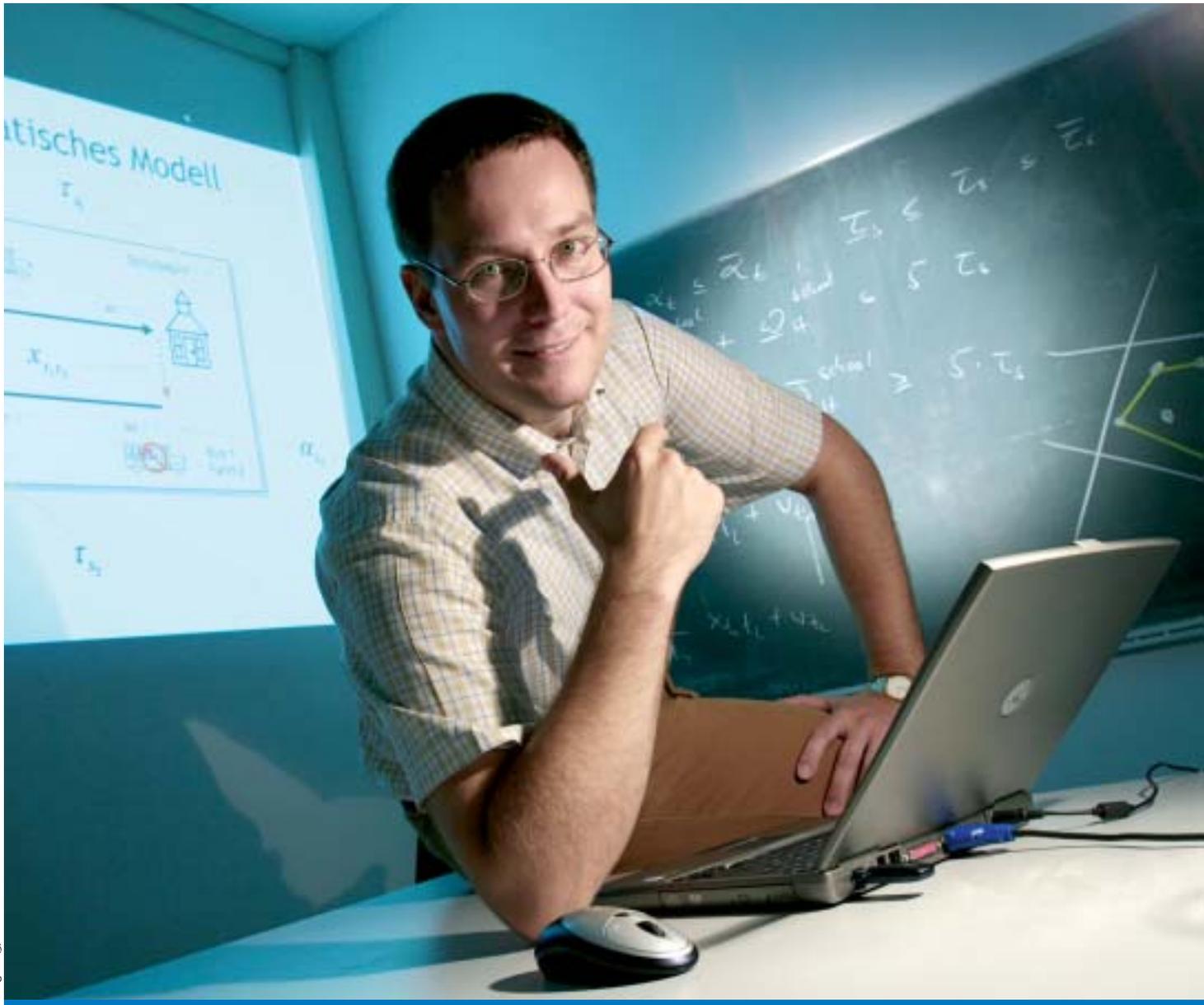


T. Wegner für baw

Noch haben sie gut lachen: Vielleicht müssen die Schüler schon bald früher aufstehen, um ihren Bus zu kriegen.

# Optimale Schulstartzeiten





T. Wegner (3)

werden. Fahrtenangebot, Fahrdauer und Linienverlauf bleiben hingegen konstant. Deshalb geht diese Optimierung nicht durch sonst übliche Angebotsverschlechterungen wie Linienausdünnung, Umwegfahrten oder überfüllte Busse zu Lasten der Fahrgäste. Im Gegenteil: Die neuen Busabfahrts- und Unterrichtszeiten ermöglichen Einsparungen, von denen ein Teil in Angebotsverbesserungen oder in die Ausstattung von Schulen investiert werden kann.

So weit die Idee – wie kann diese jedoch realisiert werden, wenn wir es mit einem Landkreis zu tun haben, in dem 10000 Fahrschüler zu 100 Schulen mit möglichst wenig Bussen befördert wer-

den sollen? Dieses Planungsproblem ist so komplex, dass auch ein erfahrener Planer kaum eine Chance hat, gute Lösungen von Hand zu finden. Hier erweist sich die Diskrete Optimierung als Schlüssel zum Erfolg.

Die Diskrete Optimierung ist ein junges Teilgebiet der Mathematik. Ihre Ursprünge liegen etwa in der Mitte des 20. Jahrhunderts. An ihrem Anfang stand der Wunsch, komplexe unternehmerische Planungsprobleme, die eine Vielzahl von Entscheidungen verlangen, nicht mehr einzig mit Hilfe des Erfahrungswissens von Experten durchzuführen. Man war vielmehr an Methoden interessiert, die den Planungsvorgang automatisiert, effi-

zient und vor allem mit einer vorhersagbaren Qualität ermöglichen und damit den Experten beratend unterstützen. Auch IKOSANA ist ein Planungsproblem: Für jede Schule ist eine Entscheidung bezüglich des Unterrichtsbeginns und für jede Fahrt eine Entscheidung über die Abfahrtszeit zu treffen. Ferner muss entschieden werden, welche Fahrten nacheinander vom selben Bus bedient werden.

Der Übergang von einem Planungsproblem zu einem mathematischen Problem wird als Modellierung bezeichnet. Aus den einzelnen Entscheidungen werden binäre Entscheidungsvariablen, die genau zwei Werte annehmen können: 0 oder 1, entsprechend für „nein“ oder „ja“.

**Dass ihr Fahrservice ein hochkompliziertes mathematisches Problem ist, ahnen die Kinder nicht. Armin Fügenschuh will dafür sorgen, dass die Schulbusse ohne Überfüllung regelmäßig fahren.**



Konkret bedeutet das: Für jede Schule und jede mögliche Schulanfangszeit wird eine Entscheidungsvariable eingeführt, mit der Bedeutung: „Soll Schule S zur Zeit T starten: ja oder nein?“ Gleiches gilt für die Busfahrten: „Soll Busfahrt B zur Zeit T starten: ja oder nein?“ – auch dieses wird für jede Fahrt und jede mögliche Abfahrzeit durch jeweils eine Entscheidungsvariable abgebildet.

Entscheidungen stehen zumeist in einer gegenseitigen Abhängigkeit. Manche bedingen einander, andere schließen sich gegenseitig aus. Zum Beispiel: „Wenn Busfahrt B, die Schüler zur Schule S befördert, zur Zeit T startet, dann kann Schule S frühestens zur Zeit T1 und muss spätestens zur Zeit T2 starten (da sonst die Schüler entweder noch nicht da sind oder zu lange warten müssten)“. Diese Randbedingungen werden mathematisch in Form von Gleichungen übersetzt. Modelliert man auf diese Weise den Busverkehr und die Schulen eines gesamten Landkreises, so kommt man schnell auf einige 10 000 Variablen und ebenso viele Randbedingungen.

Das Modellieren hat ein komplexes Planungsproblem in ein komplexes mathematisches Problem verwandelt. Nun braucht es ein Verfahren (Algorithmus), um letzteres zu lösen. Da es nur endlich viele Entscheidungsvariablen gibt, die jeweils nur zwei Werte annehmen können, sind auch nur endlich viele Lösungen möglich. Man könnte sie der Reihe nach ausrechnen, um auf diese Weise die beste

mit nur einer Entscheidungsvariablen zu tun, so gibt es nur zwei Möglichkeiten (ja oder nein). Modelle mit zwei Variablen haben vier Lösungen (ja-ja, ja-nein, nein-ja oder nein-nein), bei drei Variablen sind es schon acht.

Im Allgemeinen sind bei  $n$  binären Entscheidungsvariablen  $2^n$  verschiedene Lösungen möglich. Die Anzahl der Lösungen wächst exponentiell mit der Anzahl der Entscheidungen. Dieses Wachstum ist derart rasant, dass selbst moderne Rechner mit diesem Verfahren in annehmbarer Zeit nicht über  $n = 30$  Entscheidungsvariablen hinauskommen. Durch die Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten wird der Lösungsraum derart groß, dass man durch simples Durchprobieren aller Möglichkeiten hoffnungslos verloren ist. Dieses Phänomen ist auch als „kombinatorische Explosion“ bekannt. Die Optimallösung ist unter allen denkbaren Lösungen versteckt wie die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen.

Umso bemerkenswerter mag es daher erscheinen, dass bereits im Jahre 1954 ein Modell mit  $n = 861$  Variablen gelöst wurde. Es handelte sich um das Problem des Handlungsreisenden, bei dem eine Reihe von Städten durch eine Rundreise minimaler Länge zu verbinden ist. Für jedes Städtepaar lautet die Entscheidung: „Sind die Städte A und B in der Rundreise benachbart: ja oder nein?“ Die amerikanischen Mathematiker George Dantzig, Ray Fulkerson und Selmer Johnson fanden für ein 42-Städte-Problem (daher  $n = 42 \times 41 / 2 = 861$ ) nicht nur eine Rundreise, sondern zudem – und das ist der entscheidende Punkt – einen lückenlosen Nachweis dafür, dass es keinen kürzeren Weg als den ihren geben kann. Ohne Zweifel ist diese Arbeit ein Meilenstein der Diskreten Optimierung. Die Krux zum Bezwingen der kombinatorischen Explosion ist, das Problem nicht direkt anzugehen, sondern es – *divide et impera* – in eine Reihe von Unterproblemen zu zerlegen (*divide*; teile), die allesamt deutlich einfacher lösbar sind (*impera*; herr-

Lösung zu finden. Aber ist dieser naive Algorithmus auch effizient? Haben wir es

sche). Die einzelnen Teillösungen werden hernach zu einer Lösung des Ausgangsproblems zusammengesetzt.

Das Verfahren von Dantzig, Fulkerson und Johnson ist nicht auf das Handlungsreisenden-Problem beschränkt. Es lässt sich universell auf nahezu jedes Planungsproblem anwenden, so auch auf IKOSANA. Zum Testen standen Datensätze aus fünf Landkreisen in drei Bundesländern zur Verfügung. Es konnte nachgewiesen werden, dass dort durch eine Verschiebung der Schulanfangszeiten Einsparungen zwischen 10 und 30 Prozent in der Anzahl der eingesetzten Busse möglich sind.

In der Praxis ist es mit einer einmaligen Berechnung einer Optimallösung meist nicht getan. Das Finden von Lösungen ist vielmehr ein iterativer Prozess, der sich bis zu einem Jahr hinziehen kann. Dabei arbeiten die Mathematiker der Technischen Universität Darmstadt und Verkehrsplaner des Zentrums für Integrierte Verkehrssysteme (ZIV) eng zusammen.

Wie in der (fiktiven) Geschichte von Lisa und ihrer Familie angedeutet, kann eine Veränderung der Schulanfangszeiten weit reichende persönliche Konsequenzen haben. Die Umsetzung erfordert daher großes Fingerspitzengefühl und Verhandlungsgeschick. In zahlreichen, vom ZIV durchgeführten Informationsveranstaltungen für Eltern, Schüler und Lehrer sowie Abstimmungsrunden mit den Entscheidungsträgern aus der Politik sowie den Verkehrsunternehmen wird eine für alle Interessengruppen annehmbare Kompromisslösung erarbeitet. Auftretende Kritikpunkte werden in Form von neuen Randbedingungen in das Modell aufgenommen, und die Berechnung wird nochmals durchgeführt.

Zum Schluss eine kleine Hochrechnung. Die Erfahrung hat gezeigt, dass nach allen Abstimmungsrunden je Landkreis im Durchschnitt zehn Busse durch die Schulzeitstaffelung gespart werden konnten. Jeder Bus wird mit etwa 30 000 Euro bezuschusst. Rechnet man dieses auf alle 323 Landkreise Deutschlands hoch, so ergibt sich ein Einsparungspotenzial von etwa 100 Millionen Euro für die kommunalen Haushalte – Jahr für Jahr. Worauf warten wir noch?

*Dr. Armin Fügenschuh*



Ein Mikrolabor soll verstehen helfen, was sich in der Rinde einer biologischen Zelle abspielt. Der Nachbau erfordert superkleine Elemente, eine trickreiche Anordnung und einen scharfen Verstand.

**EIN UNSCHEINBARES** zentimetergroßes Glasplättchen, nicht mal einen halben Millimeter dick, liegt unter dem Mikroskop. Nur die vielen Plastikschläuche lassen vermuten, dass hier mehr verborgen ist. Ein Blick in das Mikroskop zeigt dann auch eine ganz andere Welt: Flüssigkeitsgefüllte Kanäle und Kammern sind zu erkennen, mikrometergroße Kügelchen fließen in die Strukturen hinein, eine Luftblase bewegt sich und blockiert den Zufluss ...

Die Dynamik der Vorgänge erinnert an ein lebendes System – und das nicht von ungefähr. Wissenschaftler der Universität Heidelberg haben dieses Mikrolabor mit Strukturen entwickelt, die bis zu tausendmal kleiner als ein Millimeter sind, um die besonderen mechanischen Eigenschaften einer biologischen Zelle zu ergründen: Zellen bestehen zwar zum Großteil aus Wasser, verhalten sich aber völlig anders als ein einfacher mit Flüssigkeit gefüllter Beutel. So besitzen sie in

der Regel eine definierte Gestalt und können wie ein fester Körper einwirkenden Kräften standhalten. Sie sind aber auch in der Lage, ihre Form zu verändern und sich kriechend fortzubewegen.

Eine Schlüsselrolle bei dieser mechanischen Anpassungsfähigkeit spielt das Protein Aktin, ein Molekül mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern. Das entspricht dem millionsten Teil eines Millimeters und ist damit zunächst viel zu klein, um der mehr als tausendmal größeren Zelle Festigkeit zu verleihen. Allerdings können sich Aktinmoleküle zusammenlagern und mikrometerlange stabile Fasern ausbilden. Andere Proteine verknüpfen solche Fasern wiederum zu festen Bündeln und dichten Netzwerken. So entsteht innerhalb einer Zelle eine Struktur, die verantwortlich ist für ihre anpassungsfähigen Eigenschaften: die Zellrinde, ein schalenförmiges dünnes Fasernetzwerk, welches das Zellvolumen vollständig umschließt.

Die einzigartigen regulierbaren Materialeigenschaften der Rindenstruktur faszinieren die Forscher: Grundlage des außergewöhnlichen Verhaltens ist das enge Zusammenspiel chemischer Proteinreaktionen und physikalischer Kraftwirkungen innerhalb des biologischen Systems, das noch weitgehend im Dunkeln liegt. Um dieses aufzuhellen, kombinieren die Heidelberger Wissenschaftler Methoden und Techniken aus Chemie, Biologie und Physik. „Biophysikalische Chemie“ nennt sich daher ihre Fachrichtung.

Die besondere Beschaffenheit zellulärer Strukturen wie der Zellrinde stellt die Experimentatoren allerdings vor eine große Herausforderung: Auf der einen Seite sollen Wechselwirkungen untersucht werden, auf der anderen Seite ist es gerade die ungeheure Vielzahl von Komponenten innerhalb einer Zelle, die einen

## Dr. Christian Schmitz

\* 1975 in Prüm (Eifel)  
 1995 Abitur  
 Zivildienst  
 ab 1996 Chemiestudium an der Universität Kaiserslautern  
 2001 Diplom-Chemiker  
 November 2001 bis Februar 2003 Forschungsaufenthalt am Deutschen Krebsforschungszentrum  
 2003 bis 2005 Doktorand an der Universität Heidelberg  
 22. Dezember 2005 Promotion zum Dr. rer. nat.  
 seit 2006 Postdoc am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart und an der Universität Heidelberg  
[schmitz@mf.mpg.de](mailto:schmitz@mf.mpg.de)

T. Wegner für baw

Plastikschläuche, ein Plättchen und Laserlicht, mit dem winzige Objekte festgehalten werden: Das sind die sichtbaren Bestandteile des Heidelberger Mikrolabors.



# Modellbau im Mikrolabor



**Christian Schmitz nutzt große Geräte, um die winzige Rinde einer Zelle nachzubauen. Komplexe biologische Systeme werden so durchschaubar.**

einfachen Zugang erschwert. Die isolierte Betrachtung und Manipulation bestimmter Zellbestandteile ist aufgrund der unzähligen interagierenden Zellstrukturen und Zellprozesse oft nicht möglich. Eine experimentelle Untersuchung scheint damit unmöglich – auf diesem Weg.

Die Wissenschaftler haben sich daher entschieden, sich dem System auf eine völlig andere, elegante Weise zu nähern. Ihr ehrgeiziges Ziel: „Wir bauen eine künstliche Zellrinde – so komplex wie nötig, so einfach wie möglich!“ So soll ein definiertes Modellsystem entstehen, dessen Zusammensetzung gezielt verändert werden kann. Mit dessen Hilfe, so das Ziel der Forscher, lassen sich dann Experimente durchführen, welche einen tieferen Einblick in die Funktionsweise des zellulären Fasernetzwerks erlauben.

Doch wie lassen sich solche Systeme aufbauen? Die Anforderungen, die es zu erfüllen gilt, sind hoch: Form und Größe eines realistischen Modells sollten den zellulären Abmessungen entsprechen und damit im Mikrometerbereich liegen. Darüber hinaus sind für den Aufbau des Modells und die Experimente Mikrowerkzeuge notwendig, mit denen sich sowohl chemische Reaktionen steuern als auch mechanische Eigenschaften messen lassen. Die zu bewältigende Aufgabe besteht damit darin, ein komplettes Labor zu schrumpfen!

Dass eine solche extreme Miniaturisierung einer Vielzahl von Elementen möglich ist, zeigt die eindrucksvolle Entwicklung der Mikroelektronik und Computerchipherstellung in den letzten Jahrzehnten. Immer kleiner werdende elektronische Bauteile können durch optische Verfahren auf Siliziumchips erzeugt werden. Die Schlüsseltechnik für den Her-

stellungsprozess ist die Photolithografie: Durch Belichtung lassen sich die Schaltkreisstrukturen von einer Photomaske auf einen speziellen Photolack und schließlich auf das Silizium übertragen.

Seit Anfang der Neunzigerjahre interessieren sich auch Chemiker vermehrt für die Technik, denn sie lässt sich nicht nur zur Herstellung von Computerchips einsetzen, sondern ermöglicht auch die Erzeugung von Mikro-Kanalstrukturen. In diesen können dann kleinste Flüssigkeitsmengen und darin gelöste Stoffe transportiert werden. Unterschiedliche Lösungen lassen sich in Mikroreaktionskammern kontrolliert miteinander vermischen und zur chemischen Reaktion bringen. Ein echtes Chemielabor entsteht so auf einem Chip. Auch die Heidelberger Forscher haben die Photolithografie-Technik aufgegriffen, um ihr Mikrolabor zu konstruieren. Damit sind sie in der Lage, winzige Flüssigkeitsmengen von weniger als einem Nanoliter zu handhaben. Dies bedeutet, dass ein Milliliter Lösung prinzipiell zur Durchführung einer Million Experimente ausreicht.

Sogar schaltbare Elemente, bestehend aus kleinen, gezielt in die Kanäle injizierten Luftblasen, konnten die Wissenschaftler in ihrem Mikrolabor erzeugen. Die einzelnen Kanäle lassen sich damit separat öffnen und schließen. Eine kontrollierte Mikro-Chemie ist durchführbar. In ersten Anwendungen nutzen die Forscher das Mikrolabor, um aus einer Aktin-Lösung durch Zugabe von Salzen die mikrometerlangen Fasern zu gewinnen. Auch deren Verknüpfung zu einem dichten dreidimensionalen Mikro-Netzwerk gelingt. Ein erstes Teilziel auf dem Weg zum gezielten Nachbau der Zellrinde im Maßstab 1:1 ist erreicht.

Dem Mikrolabor fehlt jedoch noch eine entscheidende Komponente, ein physikalisches Mikrowerkzeug, denn zwei Anforderungen an das Zellrinde-Modell sind noch nicht erfüllt:

Zum einen entspricht die räumliche Struktur der erzeugten Fasernetzwerke nicht den natürlichen Verhältnissen in der Zelle. Die Zellrinde weist eine sehr flache Form auf, daher sollte auch ihr künstliches Gegenstück in einer dünnen Schicht angeordnet sein. Zum anderen

mangelte es an einer Technik, mit der sich die mechanischen Eigenschaften des Netzwerks ermitteln lassen. Dazu ist es notwendig, Kräfte an bestimmten Stellen auf das Modell auszuüben und an anderen Stellen zu messen.

Um diese Aufgaben zu erfüllen, haben sich die Wissenschaftler für eine besondere Art von Mikropinzetten entschieden und in ihr Labor integriert.

Mikropinzetten? Ein weiterer Blick ins Mikroskop überrascht zunächst: Kleine



T. Wegner (2)

Pinzetten oder winzige mechanische Elemente sind nirgendwo zu entdecken. Lediglich einige Kügelchen, die sich in den mit Wasser gefüllten Kanälen hin und her bewegen. Doch plötzlich ordnen sich die Kügelchen in einem Quadrat an und bewegen sich zielgerichtet scheinbar ohne fremde Hilfe in eine Seitenkammer. Hin-

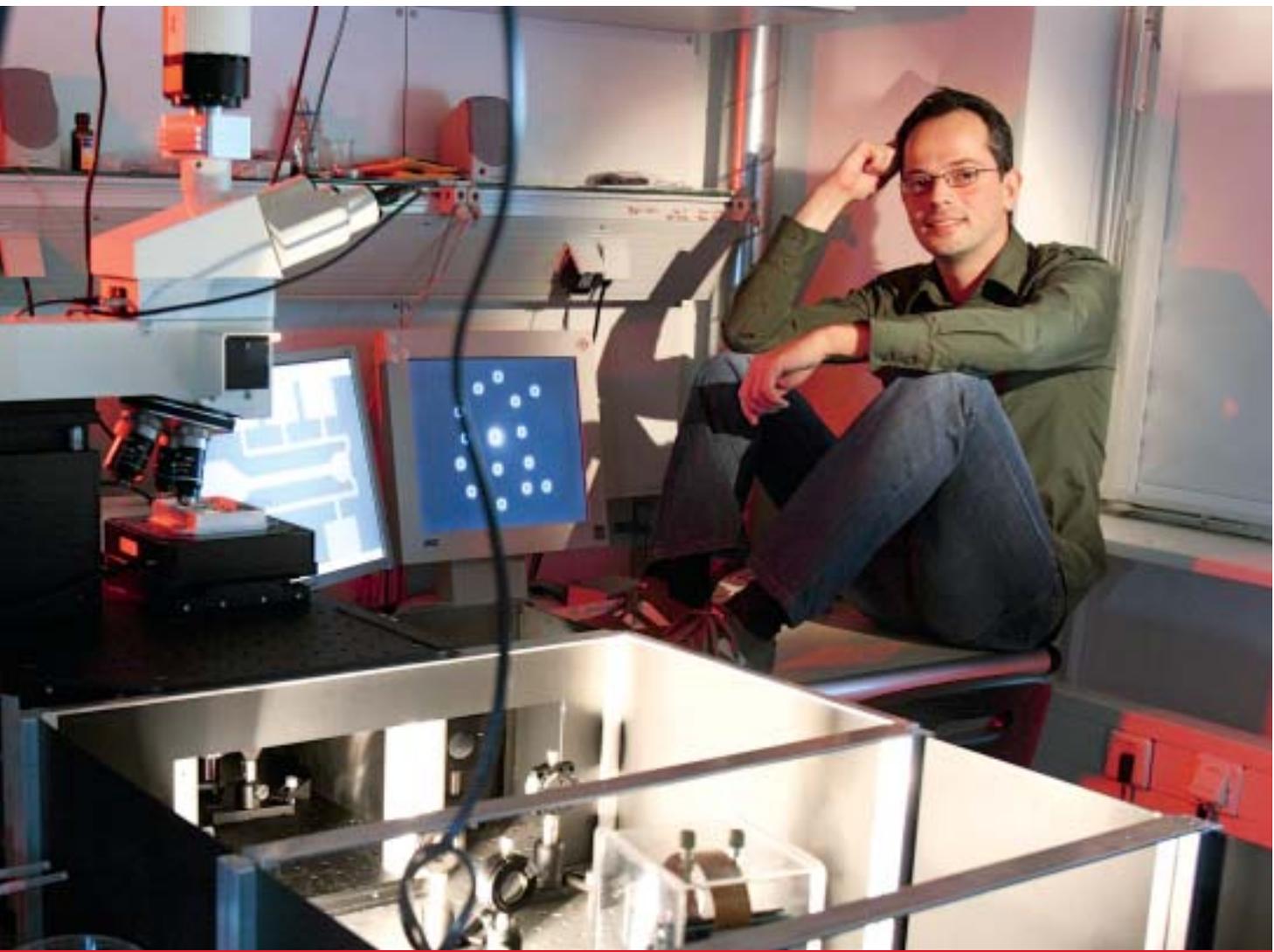
ter den Geisterhänden verbergen sich in der Tat kleine Zangen ganz besonderer Art: Es handelt sich um optische Pinzetten. Diese Werkzeuge werden allein durch Licht gebildet und benötigen keine materiellen Bestandteile. Der Aufbau wirkt sehr einfach. Ein Laserstrahl wird auf einen Mikrometergroßen Fleck fokussiert. Doch dann passiert etwas Erstaunliches: Befindet sich ein kleines transparentes Objekt in der Nähe des Brennpunkts, so wird das Teilchen in den Fokus hineingezogen und

ten Blutzelle. Für ein mikroskopisches Modellsystem sind diese aber ideal geeignet: In den Kanalstrukturen ihres Mikrolabors können die Heidelberger Forscher eine beliebige Anzahl optischer Pinzetten erzeugen. Objekte lassen sich anordnen und bewegen, und winzige Kräfte können übertragen und gemessen werden – berührungslos allein durch Licht.

Nun wird auch die Welt des Mikrolabors unter dem Mikroskop klarer und verständlicher: Die quadratisch in einer

sen zwischen Kugeln. Eine künstliche Zellrinde, aufgespannt an einem Gerüst optisch gefangener Mikrokugeln, ist entstanden.

Jetzt können die Wissenschaftler damit beginnen, dieses Modell ungestört in ihrem Mikrolabor zu untersuchen: Was passiert, wenn einzelne Kugeln des Gerüsts mit dem Laser ausgelenkt werden? Wie verteilt sich die Kraft in dem Fasernetzwerk? Wie verändern andere Proteine die mechanischen Eigenschaften?



dort stabil festgehalten. Das Licht überträgt Kräfte auf die Mikroobjekte, bewegt sie so und hält sie fest.

Gewöhnlich beobachten wir solche Phänomene allerdings nicht. Der Grund liegt in der Größe der übertragenen Kräfte von nur einigen Piconewton. Das entspricht gerade mal dem Gewicht einer ro-

Ebene angeordneten Kügelchen werden immer noch fest durch die optischen Fallen fixiert. Aus einem Nebenkanal strömen Fasern in die Kammer und heften sich an die eingefangenen Kugeln. Eine Luftblase bewegt sich und gibt den Auslass des letzten Kanals frei, die eintretende Lösung führt zum Vernetzen der Fa-

Mit dem Mikrolabor besitzen die Forscher einen Baukasten, der eine besondere Art des Experimentierens ermöglicht, mit dem Ziel: Verständnis biologischer Systeme durch Nachbau – ganz im Sinne von Richard Feynman: „Was ich nicht erschaffen kann, verstehe ich nicht.“

*Dr. Christian Schmitz*

A close-up photograph of a child's face, looking intently at two white cards held in front of their eyes. The card on the left features a large, solid red apple with a black stem and leaf. The card on the right features a colorful butterfly with orange, black, and red wings. The child's hands are visible at the bottom, holding the cards. The background is a blurred mix of blue and yellow.

# Schlechte Nachrichten für Gedankenleser

Tübinger Hirnforschern ist es gelungen, anhand der Aktivität von einzelnen Gehirnzellen korrekte Aussagen darüber zu gewinnen, ob ein Bild bewusst wahrgenommen wird. Nun stellt sich heraus, dass es keinen stabilen Zusammenhang zwischen einzelnen Nervenzellen und bewusstem Erleben gibt.

Pfiffige Tests haben jetzt gezeigt: Im menschlichen Gehirn gibt es keine spezifischen Areale, die nur für das Bewusstsein zuständig sind. Vielmehr werden dafür mal diese, mal jene Zellen herangezogen.

**DIE AUGEN WERDEN** in der Lyrik auch als das „Tor zur Seele“ bezeichnet. Tatsächlich spielte der Gesichtssinn stets eine herausragende Rolle bei der wissenschaftlichen Ergründung eines Zusammenhangs zwischen Geist und Gehirn. Der französische Philosoph René Descartes (1596-1650), der sich als Erster dieser Aufgabe widmete, folgerte schlüssig, dass unsere einheitliche Wahrnehmung nur durch das Zusammenführen der Bilder beider Augen zustande kommen kann. Er begann sich intensiv mit dem Gehirn zu beschäftigen, um herauszufinden, wo dieser Vereinheitlichungsschritt stattfindet. Er glaubte schließlich das Rätsel gelöst zu haben, als er herausfand, dass das Gehirn nur eine einzige Struktur enthält, die lediglich in einfacher Ausführung vorhanden ist: nämlich die Zirbeldrüse (glandula pinealis). Es zeigte sich jedoch bald, dass die Zirbeldrüse nicht das Tor zur Seele, sondern vielmehr Teil sehr weltlicher Funktionen ist. Folglich werden „cartesianische“ Vorstellungen der Arbeitsweise des Gehirns nicht mehr allzu hoch in Ehren gehalten. Doch noch immer haben Hirnforscher keine zufriedenstellenden Antworten auf die beiden ursprünglichen Fragen: Wie vereinheitlicht das Gehirn die Information beider Augen zu einem einzigen Bild? Und vor allem: Wo und wie entstehen die Inhalte, die wir bewusst erleben?

Erst vor wenigen Jahren begannen Wissenschaftler sich ernsthaft mit diesen Fragen auseinander zu setzen. Unter anderem vorangetrieben vom Entdecker der DNA-Struktur und Nobelpreisträger Francis Crick (1916-2004), entwickelte sich eine „Neurowissenschaft des Bewusstseins“, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, den mysteriösen Zusammen-

hang zwischen Gehirn und Geist zu ergründen. Es ist vielleicht ironisch, dass ein Großteil jener Forschung immer noch der Descartes'schen Idee folgt, hierfür die Zusammenführung beider Augen zu einheitlich wahrgenommenen Bildern zu ergründen. Anstatt jedoch nach vereinzelt Hirnstrukturen Ausschau zu halten, machen sich die Wissenschaftler eine Kuriosität zu eigen, die immer dann auftritt, wenn man jedem Auge ein anderes Bild präsentiert. Hält man sich zum Beispiel die Fotografie eines Schmetterlings vor ein Auge und das Abbild eines Apfels vor das andere, so stürzt man das Gehirn in ein Dilemma. Es muss die widersprüchlichen Bilder zu einem sinnvollen Ganzen integrieren. Interessanterweise mündet diese Herausforderung in einen Kompromiss. Wie man sich leicht selbst überzeugen kann, sieht man unter diesen Umständen abwechselnd das Bild des einen Auges und das des anderen. Es ist, als ob

### Dr. Alexander Maier

\* 1976 in München  
 1996 Abitur  
 ab 1997 Studium der Biologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
 2002 Diplom-Biologe  
 2002 bis 2005 Doktorand am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik und der Graduate School for Behavioral and Neurosciences, Tübingen  
 4. Februar 2005 Promotion zum Dr. rer. nat.  
 seit 2004 Research Fellow an den National Institutes of Health (NIH) Bethesda, Maryland, USA  
[maiera@mail.gov](mailto:maiera@mail.gov)

Präsentiert man einem Auge das Bild eines Apfels, dem anderen das eines Schmetterlings, bekommt das Gehirn ein Problem.

M. Kaatz für bfw



**Alexander Maier konnte nachweisen, dass das bewusste Erleben nicht an bestimmte Zellen im Gehirn gekoppelt ist.**

das Gehirn sich nicht entscheiden könnte, welchem Auge es traut, und so abwechselnd dem einen oder dem anderen Auge einen exklusiven Zugang zum Bewusstsein zugesteht. Dieses faszinierende visuelle Phänomen wird schlicht „binokularer Wettstreit“ genannt. Es hat der Hirnforschung in den vergangenen Jahren tiefe Einblicke in die Gehirnvorgänge erlaubt, die dem bewussten Sehen zugrunde liegen.

Naturwissenschaftliche Experimente fußen oft darauf, alle Randbedingungen eines Experiments so gleich wie möglich zu halten und nur einen einzigen Parameter zu verändern. Auf diese Weise lässt sich studieren, wie sich die einzelne Veränderung auf die Messungen auswirkt. Wie aber lassen sich Bewusstseinsvorgänge wie zum Beispiel eine Wahrnehmung, ein Gedanke oder eine Erinnerung im Versuch kontrolliert verändern? Dies ist der Punkt, an dem der wissenschaftliche Wert des „binokularen Wettstreits“ zum Tragen kommt. Schließlich wechselt hierbei die bewusste Wahrnehmung spontan von einem Auge zum anderen. Der einzig änderliche Parameter ist demnach der Inhalt der bewussten Wahrnehmung selbst.

Es ergibt sich somit die Möglichkeit festzustellen, welche Gehirnaktivitäten das bewusste Sehen begleiten. Man muss lediglich herausfinden, welche Art von Nervenaktivität mit den Wahrnehmungswechseln im Einklang steht. Es zeigt sich, dass weite Teile des Ge-

hirns ihren Zustand ändern, wenn das Bild des einen Auges von dem des anderen abgelöst wird. Besonders erstaunlich ist, dass selbst einzelne Hirnzellen ausreichend sein können, um zu bestimmen, welches Bild wahrgenommen wird und welches nicht. Hirnzellen kommunizieren miteinander in einer Art Morse-Code, indem sie immer dann elektrische Impulse abgeben, wenn ein bevorzugter Reiz auftritt. Verschiedene Hirnzellen bevorzugen hierbei sehr unterschiedliche Reize. So gibt es zum Beispiel Hirnzellen, die auf das Bild eines Schmetterlings hin stark aktiv werden, für weitere Bilder – wie das eines Apfels – aber so gut wie keine Impulse aussenden. Misst man die Aktivität einer solchen Zelle mittels winziger Elektroden, ist es vielfach möglich, aufgrund ihrer Aktivitätsschwankungen festzustellen, welches Bild im Gehirn während des binokularen Wettstreits abwechselnd wahrgenommen wird.

Dass diese Art des „Gedankenlesens“ tatsächlich möglich ist, zeigten Nikos Logothetis, Direktor am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen, David Leopold (mittlerweile am amerikanischen National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland) und David Sheinberg (nun an der Brown University, Providence) vor einigen Jahren in einer Serie von aufsehenerregenden Forschungsarbeiten.

Die Ergebnisse ihrer Arbeiten warfen viele Fragen auf. Hatte Descartes doch Recht mit seiner Annahme, dass gewisse Hirnstrukturen einen exklusiven Zugang zu unserem bewussten Seelenleben ermöglichen und andere nicht? Gibt es sogar einzelne Hirnzellen, die sich in ihren Eigenschaften derart von anderen Zellen unterscheiden, dass ihre Aktivität in direktem Zusammenhang steht mit dem, was wir bewusst sehen? Und worin bestünde die Besonderheit dieser Zellen?

In Anbetracht dieser Fragen kommt ein weiterer Vorteil des binokularen Wettstreits zum Tragen. Da während dieser Illusion immer nur ein Auge vollends ein Bild wahrnimmt, ganz unabhängig davon, was dem anderen Auge gleichzeitig präsentiert wird, lässt sich der Wahrnehmungszustand aufrecht erhalten, während man einen wichtigen Parameter des Experiments radikal verändert. Sieht

man etwa den Schmetterling in dem einen Auge, so kann man den Apfel im anderen Auge gegen das Abbild einer Kirchsche austauschen, ohne dass dies einen Einfluss auf die alles umfassende Wahrnehmung des Schmetterlings hätte. Auf diese Weise wird es möglich zu testen, ob ein und derselbe Wahrnehmungsinhalt auf immer gleiche Art und Weise im Ge-



M. Katz (2)

hirn zustande kommt. Wäre Descartes' Annahme einer besonderen „Seelenstruktur“ korrekt, so sollten sich die zugehörigen Nervenzellen auch stets gleich verhalten. Dies würde bedeuten, dass sie etwa immer dann aktiv sind, wenn der Schmetterling gesehen wird, unabhängig davon, was währenddessen dem anderen Auge gezeigt wird.

Unter der Betreuung von David Leopold und Nikos Logothetis führte Alexander Maier am Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik hierzu Experimente durch, in denen untersucht werden sollte, ob einzelne Hirnzellen diesem Descarteschen Kriterium entsprechen. Zunächst wurden wie in den vorangegangenen Experimenten Hirnzellen be-

stimmt, deren Aktivität Aussagen über den Wahrnehmungszustand während des binokularen Wettstreits ermöglichen. Im Folgenden wurde das Bild im nicht wahrnehmenden Auge gegen eine andere Abbildung ausgetauscht. Zur Überraschung der Forscher zeigte sich, dass diese Manipulation große Auswirkungen auf die Aktivität der ausgewählten Hirnzellen hatte. Viele der „Gedankenleser“-Zellen verloren ihre besondere Eigenschaft und zeigten keine Aktivitätsschwankungen mehr, die im Einklang mit den Wahrnehmungswechseln des binokularen Wettstreits standen. Umgekehrt begannen andere Zellen den Einfluss der wechselnden Wahrnehmungsinhalte anzuzeigen, die vordem als „nicht zum Gedankenlesen geeignet“ bestimmt worden waren.

Ob eine einzelne Gehirnzelle am bewussten Erleben teilnimmt oder nicht, scheint folglich flexibel bestimmt zu werden. Denkbar wäre demnach, dass nicht die Verschaltung des Gehirns, sondern vielmehr jeweils die Aktivitätsmuster selbst – also mehr eine Frage der Software als der Hardware – ausschlaggebend sind für das, was sich in unserem bewussten Erleben niederschlägt.

Mehr als vierhundert Jahre sind vergangen, seit Descartes die erste testbare Hypothese über den Ort des Bewusstseins im Gehirn publik machte. Obwohl seine ursprüngliche Vermutung widerlegt wurde, sind Descartes' Überlegungen grundsätzlich immer noch zeitgemäß. Doch das Tor zum Bewusstsein scheint sich nicht so leicht verorten zu lassen. Das Gehirn mit seiner enormen Komplexität und Plastizität widerstrebt hartnäckig unseren Versuchen, es auf wenige Grundprinzipien zu reduzieren.

Die Idee, einzelne Gehirnzellen für Bewusstseinsinhalte verantwortlich zu machen, scheint ein solcher Fall zu sein, der sich bei genauerer Betrachtung als problematisch erweist. Die Experimente der Tübinger Forscher zeigen, dass es wohl keine isolierten Hirnstrukturen gibt, deren Aktivität eindeutig verraten würde, was im Inneren einer Person vor sich geht. Eine gute Nachricht für all diejenigen, welche die Möglichkeit des Gedankenlesens fürchten.

*Dr. Alexander Maier*





Bakterien, die sich in der Lunge zu Biofilmen zusammenfinden, bedrohen Menschenleben: Wenn man die Kommunikation solcher Mikroben stört, bekommt man vielleicht sogar Mukoviszidose in Griff.

**Bakterienkolonien bieten Überlebensvorteile. Sie sind auch gegen Antibiotika besser geschützt - ein zentrales Problem im Kampf gegen Mukoviszidose. Wer den Informationsaustausch der Bakterien stört, hat einen Hebel gegen die chronische Infektion in der Hand.**

# Fit durch Brudermord

**Mukoviszidose-Patienten leiden häufig unter sehr schweren Lungenentzündungen. Mittlerweile sind diese die häufigste Todesursache bei Menschen, die von der Erbkrankheit Mukoviszidose betroffen sind. Auch mit Antibiotika lassen sich die bakteriellen Infektionen kaum therapieren: Die Erreger verfügen über ein ausgeklügeltes Kommunikationssystem, das sie im Kampf gegen die Medikamente stark macht. Wenn man es richtig verstehen und gezielt stören könnte, würde dies zu neuen Strategien für bessere Medikamente führen. Florian Bredenbruch vom Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig hat deshalb in seiner Doktorarbeit das molekulare Vokabular der Bakterien unter die Lupe genommen.**

„KEIN KIND DARF mehr an Mukoviszidose sterben“ – so lautet der letzte Satz in einem TV-Spot des Mukoviszidose-Vereins. Tausende Menschen leiden an dieser schweren Erbkrankheit. Die Organe ihres Körpers produzieren einen zähen Schleim, der schlecht abgebaut und abtransportiert wird. Besonders dramatisch sind die Folgen für die Lunge. Sie verschleimt bei Mukoviszidose-Patienten regelrecht. Die Betroffenen haben schwere Atemprobleme, ihr Körper wird nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Noch zu Beginn der Achtzigerjahre hatte das vor allem für Kinder zumeist tödliche Folgen. Nur eines von hundert Mukoviszidose-Kindern erreichte das Erwachsenenalter.

Zwar ist die Situation seitdem besser geworden und die Lebenserwartung der Patienten gestiegen. Trotzdem sterben heute noch über 90 Prozent der Betroffenen an einer Folge der Mukoviszidose: einer chronischen Lungeninfektion, die das eigentlich harmlose Umweltbakterium *Pseudomonas aeruginosa* hervorruft. Es kann sich optimal an die Bedingungen in der Lunge von Mukoviszidose-Patienten anpassen und ist mit den gängigen

Therapieverfahren von dort kaum noch zu vertreiben. Die molekularen Mechanismen dieser hartnäckigen und lebensbedrohlichen Infektion herauszufinden, ist ein wichtiges Ziel der Mukoviszidose-Forschung. Nur auf dieser Basis lassen sich bessere Therapien entwickeln.

Bakterien sind Meister der Anpassung an die verschiedensten Umweltbedingungen. Diese mikroskopisch kleinen Lebewesen wachsen meist einzellig und auf sich allein gestellt in fast allen Lebensräumen der Erde. Aber sie sind nicht nur eigenbrötlerische Einzelgänger, sondern wachsen auch in großen dreidimensionalen Zellverbänden, in so genannten Biofilmen. Diese bilden sich auf allen möglichen Oberflächen, auf Abwasserrohren ebenso wie auf Herzschrittmachern, Kathetern oder aber auf dem zähen Schleim in der Lunge von Mukoviszidose-Patienten. Innerhalb der Biofilme haben die Bakterien wichtige Überlebensvorteile. So sind sie beispielsweise besser gegen Antibiotika-Angriffe geschützt.

Im Biofilm bilden die Mikroorganismen eine erstaunliche genetische Vielfalt. Sie entwickeln sich gewissermaßen weg von der Monokultur. Ein natürlicher

Mischwald ist viel besser als eine Fichten-Monokultur vor einem Borkenkäferangriff geschützt. Genauso überleben die Bakterien im Biofilm mit ihrer großen Diversität eine Therapie mit Antibiotika eher als die frei im Blut zirkulierenden, einander sehr ähnlichen Artgenossen. Sie halten die Infektion aufrecht. Diesen gefährlichen Trick setzt auch das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* in der Lunge von Mukoviszidose-Patienten ein. Die von ihm hervorgerufenen Infektionen

## Dr. Florian Bredenbruch

\*1976 in Langenhagen  
1995 Abitur  
Bundeswehr  
1996 bis 2002 Biologiestudium an der Universität Hannover  
2002 Diplom-Biologe  
2002 bis 2005 Doktorand  
12. Januar 2006 Promotion zum Dr. rer. nat.  
Seit 2006 Postdoc beim Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig  
[Bredenbruch@helmholtz-hzi.de](mailto:Bredenbruch@helmholtz-hzi.de)

lassen sich mit den derzeit zur Verfügung stehenden Antibiotika nicht heilen.

Um einen Biofilm bilden zu können, müssen die Bakterien sehr koordiniert zusammenarbeiten. Da sie jedoch weder Augen noch Ohren oder einen Mund haben, „unterhalten“ sie sich mit Hilfe von sehr kleinen Signalmolekülen. Diese Substanzen scheiden sie kontinuierlich aus. Ist eine bestimmte Konzentration an Signalstoffen überschritten, registrieren die Bakterien dies mit ihren Rezeptoren. Sie „wis-

sen“ dann, dass sie in sehr großer Zahl beisammen sind und bilden einen Biofilm. Nur wenn diese Kommunikation funktioniert, können die Bakterien Biofilme aufbauen und von der damit verbundenen Vielfalt profitieren. Gelingt es aber, die Kommunikation geschickt zu stören, kann man auch die gefährlichen Infektionen unterbinden, die von Biofilmen ausgehen.

Schon lange Zeit erforschen Wissenschaftler deshalb die Signalmoleküle, mit denen sich die Bakterien unterhalten.

Kürzlich wurde bei *Pseudomonas aeruginosa* ein neues Molekül entdeckt, das eine zentrale Rolle bei der Ausbildung der Biofilme und der Krankheit zu spielen scheint. Der Name des Moleküls lautet „Pseudomonas Quinolone Signal“ oder kurz PQS. Außer der Struktur war den Forschern bisher wenig über die Synthese und den Wirkmechanismus dieses Signalmoleküls bekannt.

Florian Bredenbruch, Wissenschaftler am Helmholtz-Zentrum für Infektionsfor-



schung in Braunschweig, hat in seiner Doktorarbeit die Kommunikation der *Pseudomonas*-Bakterien genau unter die Lupe genommen und Erstaunliches festgestellt: Die Kooperation der Bakterien geht über eine „einfache“ Kommunikation weit hinaus. PQS ist nämlich weniger ein Signalmolekül als vielmehr ein Stressmolekül. Die Bakterien, die das PQS-Molekül produzieren, töten sehr große Teile der eigenen Gemeinschaft.

Zunächst ist das überraschend – Bakterien bringen ihre Artgenossen um! Wenn man aber genauer hinsieht, erkennt man das Motiv für diesen Brudermord. Wichtig ist, dass man dafür den Blickwinkel ändert und nicht nur auf die einzelne umgebrachte Zelle schaut, sondern die ganze Population betrachtet. Dann wird schnell klar: Unter Stressbedingungen, wie zum Beispiel bei Nährstoffmangel oder unter Antibiotikastress, kann es durchaus zum Überleben der Art beitragen, wenn sich Teile der Gemeinschaft opfern und damit Ressourcen für die Überlebenden bereitstellen.

Wie wirkt nun dieses geheimnisvolle Mordsignal PQS? Um diese Frage zu beantworten, untersuchte Bredenbruch die Wirkung von PQS auf die Bakterien. Er testete dazu, wie die Mikroorganismen reagieren, wenn man PQS in ihr Nährmedium gibt. Um einen möglichst großen Überblick über die dann folgenden Reaktionen zu bekommen, verwendete er ein modernes Analyseverfahren mit so genannten DNA-Chips. Mit diesen lässt sich feststellen, welche Gene in einem Bakterium aktiv sind. Bredenbruch verglich die angeschalteten Gene von Bakterien, zu denen er PQS gegeben hatte, mit den aktiven Genen der Bakterien ohne PQS in ihrer Umgebung.

Das Verfahren zeigte, dass es zwei Gruppen von Genen gibt, die bei den *Pseudomonas aeruginosa*-Kulturen mit PQS im Medium deutlich aktiv waren. Auf der einen Seite schaltet PQS sehr viele Gene an, die auch ein Eisenmangelstress aktiviert. Diese Beobachtung hatte bisher noch kein *Pseudomonas*-Forscher gemacht: PQS bildet mit dem Eisen einen stabilen Komplex. Für die Bakterien ist dieses Eisen nicht mehr verfügbar – sie geraten in Eisenmangelstress. Andererseits regelt das PQS viele Gene hoch, die



Florian Bredenbruch analysierte ein rätselhaftes Mordsignal, das Teile eines Bakterienvolks tötet, um andere zu erhalten..

die Bakterien bei oxidativem Stress einschalten. Dieser tritt zum Beispiel auf, wenn *Pseudomonas* mit so genannten Radikalen, also besonders reaktionsfreudigen Molekülen, bombardiert wird. Radikale haben die Eigenschaft, unkontrolliert mit allen sich in der Nähe befindlichen Biomolekülen wie der DNA – dem Erbinformationsträger Desoxyribonukleinsäure – zu reagieren und diese zu zerstören. PQS verstärkt diesen oxidativen Stress.

Was bewirkt PQS? Bakterien, die PQS produzieren und in ihre Umgebung abgeben, setzen sehr viel DNA frei. Diese Substanz trägt nicht nur den genetischen Code, sondern kann auch als Nährstoff und sogar als wichtiges Baumaterial für das Aneinanderheften der Bakterien in Biofilmen verwendet werden. Bredenbruch verglich *Pseudomonas*-Bakterien, die PQS produzieren, mit solchen, die eine Mutation in der Erbinformation für die PQS-Bildung tragen. Letztere begehen zwar keinen Brudermord, setzen aber auch keine DNA frei. Bemerkenswert ist vor allem die Tatsache, dass sie nicht in

der Lage sind, die enorme genetische Vielfalt in Biofilmen aufzubauen, die wahrscheinlich eine sehr große Rolle für das Überleben der *Pseudomonaden* und damit für die Aufrechterhaltung der chronischen Infektion bei Mukoviszidose-Patienten spielt. Die genetische Vielfalt im Biofilm ist also von der PQS-Produktion abhängig, von der Fähigkeit, Geschwister-Bakterien zu töten und dennoch die Population fit für den Überlebenskampf zu machen.

Der Gedanke, dass Bakterien keineswegs niedere, einzellige Lebewesen sind, sondern über ein komplexes, multizelluläres Verhalten verfügen, ist gleichzeitig erschreckend und faszinierend. Ebenso, dass *Pseudomonas aeruginosa* in der Lage ist, hochgradig organisierte dreidimensionale Strukturen – Biofilme – auszubilden und sich auf diese Weise der etablierten Antibiotikabehandlung und unserem Immunsystem zu entziehen. All dies geschieht durch Kommunikation und Kooperation. Ihr Verständnis, die Aufklärung der molekularen Mechanismen, öffnet neue Horizonte. Am Beispiel des PQS-Moleküls kann man sehen, wie wichtig jeder einzelne Faktor in einem komplizierten Kommunikationsnetz ist, damit die Bakterien ihre Schutzmechanismen gegen widrige Einflüsse wie Antibiotika aufrecht erhalten können. Ein Verlust der Abwehr führt zum Verlust ihrer Resistenz. Sie werden bekämpfbar und die Infektion heilbar.

Doch dafür muss man den richtigen Ansatzpunkt, die Achillesferse des Biofilms, finden: Damit nicht alle Bakterien einer Population dem Selbstmord zum Opfer fallen, gibt es wahrscheinlich einen an die Produktion des PQS-Moleküls gekoppelten Schutzmechanismus. Legt man ihn mit einem Medikament lahm, ist es wahrscheinlich, dass sich die Population ungebremst selbst umbringt. Zusätzlich zu den herkömmlichen Antibiotika wäre uns mit solch einer Substanz das Handwerkszeug gegeben, um chronische *Pseudomonas*-Infektionen von Mukoviszidose-Patienten erfolgreich zu bekämpfen. Damit tatsächlich nie wieder ein Kind an Mukoviszidose sterben muss.

Dr. Florian Bredenbruch

KlarText!  
KlarText!  
KlarText!  
KlarText!

**Klaus Tschira Preis**  
für verständliche  
Wissenschaft

# Ihr Wissen interessiert uns!



In einer gemeinsamen Initiative vergeben die Studienstiftung des deutschen Volkes e.V. und die Klaus Tschira Stiftung gGmbH den Klaus Tschira Preis für verständliche Wissenschaft. Dieser Preis zeichnet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus, die ihre herausragende Dissertation allgemein verständlich darstellen.



Um den Preis bewerben können sich Promovierte der Biologie, Chemie, Informatik, Mathematik, Neurowissenschaften, Physik und angrenzender Fächer. Ihre Dissertation sollte im Jahr 2006 oder 2007 an einer Universität in Deutschland mindestens mit magna cum laude bewertet worden sein.



Mit dem Preis ausgezeichnet werden Artikel, die den Ertrag der Dissertation in deutscher Sprache anschaulich und prägnant darstellen.

Einsendeschluss für die Beiträge ist der 28. Februar 2007. Es gilt das Datum des Poststempels.

Pro Jahr werden bis zu sechs Preise à 5.000 Euro vergeben. Die ausgezeichneten Beiträge werden in der Zeitschrift *bild der wissenschaft* veröffentlicht.

Detaillierte Informationen und Bewerbungsunterlagen finden Sie unter [www.klaus-tschira-preis.de](http://www.klaus-tschira-preis.de).

Weitere Fragen beantwortet:  
Studienstiftung des deutschen Volkes,  
[info@klaus-tschira-preis.de](mailto:info@klaus-tschira-preis.de), Telefon 0228/82096-284.



**Klaus Tschira Stiftung**  
Villa Bosch  
Schloss-Wolfs-  
brunnenweg 33  
69118 Heidelberg



**Studienstiftung  
des deutschen Volkes**  
Ahrstraße 41  
53175 Bonn