



## Jahrhundertfoto oder Studioaufnahme?

Verschwörungstheorien als Forschungsobjekt



Was ist ein Skandal?  
Beispiele in der Literatur  
von der Bibel bis heute



Woraus besteht die Welt?  
Freiburger Physiker suchen am  
CERN nach den kleinsten Teilchen



Wer legt den Genschalter um?  
Biologen verfolgen  
winzige RNA-Moleküle



# MEMBRANPUMPEN- TECHNOLOGIE VOM FEINSTEN...



- Ob für Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten – KNF Neuberger bietet ein breites Angebot an Pumpen und Systemen.

- Für unverfälschtes Fördern, Dosieren, Komprimieren und Evakuieren.

- Als OEM- oder tragbare Ausführungen.

- Mit einem variablen Produktprofil für kundenspezifische Lösungen.

... für anspruchsvolle Anwendungen  
z.B. in den Bereichen:

- Medizintechnik
- Analysetechnik
- Verfahrenstechnik
- Lebensmitteltechnik
- Reprotechnik
- Energietechnik
- Forschung



# www.knf.de

**KNF Neuberger GmbH**

Alter Weg 3 ■ D 79112 Freiburg ■ Tel. 07664/5909-0 ■ Fax -99 ■ E-Mail: info@knf.de

## Mehr entdecken, mehr wissen – mit uni'wissen.

uni'wissen ist das neue Forschungsmagazin der Universität Freiburg. Neben der Universitätszeitung uni'leben mit Nachrichten und Beiträgen rund um das Universitätsleben bietet das Magazin einen Einblick in die Forschung der herausragenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Freiburger Universität.

Ein wissenschaftlicher Beirat erarbeitet zusammen mit der Redaktion die Themenauswahl für jede Ausgabe des zweimal jährlich erscheinenden Magazins. Von Chemie und Biologie über Technik bis zur Theologie, Geschichte oder Literaturwissenschaft: die Redaktion kann aus dem Vollen schöpfen, denn die Albert-Ludwigs-Universität bietet das gesamte Spektrum der Wissenschaften und steht für Qualität in internationalem Maßstab.

Exzellenz lebt durch Köpfe: uni'wissen stellt deshalb die Forscherinnen und Forscher, ob Junior-Professorin, Doktorand oder Institutsleiterin, in den Vordergrund seiner Beiträge.

Die uni'wissen-Redaktion wünscht Ihnen viel Vergnügen beim Lesen.

## Inhalt

**Maschinen lernen soziale Kompetenzen**  
*Der Informatiker Wolfram Burgard will Robotern Manieren beibringen*

4



**Murren ist ein Skandal**  
*Andreas Gelz untersucht den „Skandal“ in der spanischen Literatur*

8



**Kleiner, fester, dichter**  
*Freiburger Forscher suchen am CERN nach neuen Materieformen*

12



**Zwergmoleküle legen Genschalter um**  
*Biologen entdecken den direkten Einfluss der Micro-RNA auf die DNA*

16



**Hitlerklone, Kennedy-Mörder und getürkte Mondlandungen**  
*Der Amerikanist Michael Butter untersucht Verschwörungstheorien*

20



**Fette Beute durch Mikroenergie**  
*„Micro Energy Harvesting“ zapft Energie aus ihrer Umgebung ab*

24



**Kleiner Baustein mit großer Wirkung**  
*Neurobiologen identifizieren neue Proteinuntereinheit der GABA<sub>B</sub>-Rezeptoren*

28



**Demokratie, Studiengebühren und Bauernmärkte**  
*Studierende erforschen in Uni-Tandems die eigene und fremde Kultur*

32



**Signale der Zukunft**  
*Auf der Suche nach neuen Wegen, Medikamente im Zielgewebe freizusetzen*

36





# Maschinen lernen soziale Kompetenzen

Der Informatiker Wolfram Burgard  
will Robotern Manieren beibringen

*von Holger Lühmann*

*Roboter können auch in die Luft gehen: Der Quadrotor als fliegender Roboter besitzt vier Propeller und erstellt während des Fluges eine Karte seiner Umgebung. Dadurch kann er völlig autonom navigieren und Hindernisse und Menschen umfliegen.*



Homer, Zora und Albert sind Stars am Institut für Informatik. Mit ihren automatischen Greifarmen, beweglichen Stereokameras und blinkenden Sensoren ziehen sie nicht nur die Blicke von Besuchern auf sich, sondern stehen auch im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Kein Wunder, dass der Informatiker Prof. Dr. Wolfram Burgard von der Egozentrik seiner mechanischen Schützlinge überzeugt ist.

## „Roboter sind wahre Egoisten“

„Roboter haben ein eingeschränktes Weltbild, in dem zunächst nur sie selbst existieren. Das macht sie zu wahren Egoisten“, erklärt Burgard, Leiter der Arbeitsgruppe „Autonome Intelligente Systeme“ am Institut für Informatik der Universität Freiburg. „Darum wollen wir unsere Roboter auf die Wirklichkeit vorbereiten, in der sie nicht allein sind. Wir wollen ihnen soziale Kompetenzen beibringen.“ Burgard und sein Team sind an einem internationalen Forschungsprojekt beteiligt, in dem sie mit Informatikkollegen der ETH Zürich, der RWTH Aachen sowie der Universitäten Oxford/Großbritannien und Löwen/Belgien die Orientierungsfähigkeit autonomer intelligenter Systeme verbessern wollen.

### Roboter in der Fußgängerzone

Geplant ist, mobile Roboter der Forscherteams durch städtische Lebensräume wie Einkaufszentren, Parks und Fußgängerzonen zu schicken, in denen sie sich eigenständig zurechtfinden müssen. Bei diesem Experiment sollen sich die Roboter an menschliche Verhaltensweisen anpassen. „Der Wunsch der Wissenschaftler war bisher, mobile Roboter zu konstruieren, die sich zielorientiert und schnell fortbewegen“, sagt Burgard. Schließlich verlangten nicht nur potenzielle Kunden Zeiteffizienz. „Vor allem zwingen uns die begrenzten Batteriekapazitäten dazu, den Roboter auf eine hohe Betriebsgeschwindigkeit zu bringen. Bei Testläufen haben wir aber gesehen, dass unsere autonomen Systeme bei einem Parcours durch urbane Szenarien wenig kooperativ agieren. Sie neigen beispielsweise eher dazu zu drängeln, als sich mit dem Strom zu bewegen.“ Dies sei die Konsequenz ihres eingespeicherten Programms, das nichts anderes als die zügige Abwicklung einer Aufgabenstellung zulasse.



Spezielle Algorithmen sollen helfen, Roboter aufmerksam und rücksichtsvoll agieren zu lassen. Bei dieser Aufgabe sind Kreativität und Geduld gefragt, da verschiedene Probleme berücksichtigt werden müssen: „Die Schwierigkeit liegt darin, dem Roboter zu erklären, wie man einen Fußweg von einer Straße unterscheidet. Der Roboter darf weder vor ein Auto geraten noch Radfahrer und Fußgänger behindern“, erklärt der Wissenschaftler. Ein weiteres Problem sei die Beachtung gesellschaftlicher Verhaltensnormen in unterschiedlichen kulturellen Kontexten. Burgard und

seine Kollegen planen darum, die Roboter nicht nur in Deutschland einzusetzen, sondern auch in anderen Ländern. Als Operationsgebiet sollen zum Beispiel die Britischen Inseln dienen. Dort müssen sich die mobilen Maschinen an den überraschenden Wechsel von Rechts- zu Linksverkehr anpassen. „Auch auf dem Bürgersteig weichen Engländer entgegenkommenden Passanten nach links aus“, sagt Burgard. „Darauf müssen sich dann auch die Roboter einstellen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass sie sich an das ungewohnte Verhalten schneller anpassen als der Mensch.“



*So könnte es bald in der Rathausgasse aussehen: Der Roboter Homer auf einer Fahrt durch die Freiburger Innenstadt. Eine einprogrammierte Karte, ein GPS-Sender und ein elektronischer Kompass sollen ihn dabei auf den richtigen Kurs bringen, damit er nicht ins „Bächle“ fährt. Montage: qu-int*

## „Die Schwierigkeit liegt darin, dem Roboter zu erklären, wie man einen Fußweg von einer Straße unterscheidet“

### Lasersensoren warnen vor „Bächle“

Für einen ähnlichen Einsatz in Freiburgs Innenstadt bereitet Doktorand Rainer Kümmerle derzeit den rollenden Roboter Homer vor. In einhalb Jahren soll das Gefährt selbstständig von der Technischen Fakultät bis zum Bertoldsbrunnen manövrieren. Eine zuvor einprogrammierte Karte, ein GPS-Sender und ein elektronischer Kompass sollen ihn dabei auf den richtigen Kurs bringen. „Außerdem haben wir ihm eine Stereokamera, einen Ultraschallrezeptor und fünf Lasersensoren eingebaut“, erklärt Kümmerle. „Mit diesen wichtigen Instrumenten kann er sich gut orientieren und stürzt nicht gleich in die Freiburger Bächle.“

Diese und andere Forschungsvorhaben kann Wolfram Burgard mit seinem Team seit Kurzem völlig sorgenfrei gestalten. Nachdem er im vergangenen Jahr den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft erhalten hat, steht ihm für die kommenden sieben Jahre ein Preisgeld von 2,5 Millionen Euro zur Verfügung. „So können wir auch Projekte durchführen, für die wir bisher keine Fördergelder bekommen haben“, freut sich Burgard. Gerade in der Robotik-Forschung ist ein derart hohes Preisgeld begehrt. An der Schnittstelle von Informatik, Maschinenbau und Elektrotechnik ist das wissenschaftliche Vorankommen vor allem von finanziellen Zuschüssen abhängig. Zur Konstruktion ihrer Roboter verwenden die 22 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Burgards Team empfindliche und teure Geräte wie Sensoren, Computerchips und Feinmechanikbauteile.

Die Kosten für den Bau von Robotern sorgen noch immer für hohe Verkaufspreise im Handel. Dadurch setzen sich autonome Systeme nur langsam als Helfer in Küche und Garten durch. Außerdem haben viele Menschen Hemmungen, ihren Haushalt einer Maschine zu überlassen. Selbst Wolfram Burgard lebt ohne Roboter: „Ich würde schon gern einen haben, nur meine Frau ist nicht wirklich begeistert. Zum Ausprobieren hatten wir mal einen autonomen Staubsauger im Haus, der war aber viel zu laut.“ Für den Wissenschaftler gibt es also noch genug zu tun, um Roboter zu perfektionieren.

In der internationalen Wissenschaft ist man unterschiedlicher Meinung darüber, was eine Erfindung zu einem Roboter macht. Je nach Aufgabenbereich muss ein Roboter unterschiedlichen Ansprüchen genügen. Die „Japan Robot Association“ unterscheidet Roboter daher nach Entwicklungsstufen: Die niedrigste Stufe bilden stationäre Industrieautomaten, die höchste autonome intelligente Systeme, an denen Burgard arbeitet. Trotz der Fortschritte, die die Robotik-Forschung auf diesem Feld macht, ist die Wissenschaft noch weit von humanoiden Robotern entfernt. Darum schmunzelt der Informatiker angesichts der verbreiteten Befürchtung, eine künstliche Intelligenz könnte irgendwann die Menschheit beherrschen: „Die Roboter müssten ja deutlich höhere kognitive Leistungen bringen als der Mensch, damit wir sie zu unseren Präsidenten und Regierungschefs wählen würden. Bis sie bessere Argumente haben als wir, wird es noch dauern.“



**Prof. Dr. Wolfram Burgard** (49) ist seit 1999 Professor am Institut für Informatik der Universität Freiburg, wo er 2006 den Lehrstuhl für „Autonome Intelligente Systeme“ übernahm. Dort forscht Burgard mit 22 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an künstlicher Intelligenz und autonomer Robotik. Nach Studium und Promotion an der Universität Dortmund sowie einer Beschäftigung als wissenschaftlicher Angestellter an der Universität Bonn hat sich Burgard für den Umzug nach Freiburg entschieden. Der internationale Ruf der Freiburger Informatik war Burgard ebenso wichtig wie das wissenschaftliche Umfeld und die Ausstattung am Institut. Im Jahre 2009 hat ihm die Deutsche Forschungsgemeinschaft den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis verliehen.  
Foto: Sasse



# Murren ist ein Skandal

Andreas Gelz untersucht den „Skandal“ in der spanischen Literatur, um daran gesellschaftliche Veränderungen festzumachen – und aktuelle Probleme besser zu verstehen

von Benjamin Klaußner



Die Handlung des Romans „El Escándalo“ („Der Skandal“) ist so vorhersehbar, dass es fast schon langweilt. Trotzdem kam das Buch bei seiner Veröffentlichung 1875 in Spanien gut an. Der Autor Pedro Antonio de Alarcón lässt seine Hauptfigur ein gotteslästerliches Leben als Trinker, Frauenheld und Spieler führen – ein Skandal. Dann folgt die Wandlung, der Bösewicht bereut und tut Buße, es drängt ihn zurück in die Arme der katholischen Kirche. In einer Szene des Romans kämpft sich der wieder Gläubige dem Strom einer Menschenmenge entgegen, die während des Karnevals in ein Amüsierviertel drängt – um selbst in einem Kloster die Beichte abzulegen.

Der Ausdruck „Skandal“ wird in dem Roman so verwendet, wie es Jahrhunderte lang normal war: in religiösem Sinne. Heute ist alles zum Skandal geworden: korrupte Politiker, halb nackte Popsternen, parteiische Fußball-Schiedsrichter. Diese Säkularisierung des Skandalbegriffs sei ein modernes Phänomen, sagt der Freiburger

### Skandale gab es schon in der Bibel

Die Idee zur Untersuchung des Skandalbegriffs hatte Gelz während eines Forschungsprojekts zu Geselligkeit und Literatur im Spanien des 18. Jahrhunderts. Dabei fiel ihm der häufig verwendete Ausdruck auf. Mit seinem literaturwissenschaftlichen Ansatz betritt er wissenschaftliches Neuland: Medien- und sozialwissenschaftliche Forschung beschäftigt sich vor allem mit modernen Skandalen und blende religiöse Hintergründe des Begriffs weitgehend aus. Ein Großteil der literaturwissenschaftlichen Forschung beschränke sich auf das so genannte „Goldene Zeitalter“ Spaniens im 16. und 17. Jahrhundert. Das sei deutlich geworden bei einer Tagung zum Skandalbegriff „zwischen religiöser Norm und säkularer Gesellschaft“, die auf Gelz' Initiative im März 2010 vom Freiburg Institute for Advanced Studies (FRIAS) organisiert wurde.

## „Die Probleme der Entwicklung Spaniens kristallisieren sich im Skandalbegriff“

Romanist Prof. Dr. Andreas Gelz: „In Frankreich etwa taucht der Begriff schon im 18. Jahrhundert in vielen Texten ohne religiösen Zusammenhang auf.“ Nicht so in Spanien: Dort hielt sich die traditionelle Bedeutung bis ins 20. Jahrhundert.

An dem Ausdruck lässt sich viel festmachen. Andreas Gelz hat sich deshalb dafür entschieden, den Skandalbegriff und seine Verwendung näher zu untersuchen: in der spanischen Literatur, aber auch in historischen oder juristischen Texten, in Pamphleten oder Zeitungen. „Die Probleme der Entwicklung Spaniens in der Moderne kristallisieren sich im Skandalbegriff“, vermutet er. Der Ausdruck sei eine Art Brennglas, durch das man die spanische Geschichte betrachten könne: Verstehe man die Veränderung des Skandalbegriffs, dann könne man auch Veränderungen in der spanischen Gesellschaft nachvollziehen und die Entwicklung Spaniens in Europa erklären.

Das Buch „El Escándalo“ zeigt die Sonderstellung Spaniens in Europa: 1875 hatten sich bereits viele europäische Staaten modernisiert, die Macht der Kirche war durch Reformation und Säkularisierung zurückgedrängt worden. In Spanien dagegen erschien der Roman als Warnruf gegen solche Veränderungen, Alarcón schrieb gegen die Moderne an. Das Buch repräsentiere die Mehrheitsmeinung der damaligen Gesellschaft: In Frankreich oder Großbritannien, glaubt Andreas Gelz, wäre es kaum so begeistert gelesen worden.

Der Ursprung des Worts „Skandal“ reicht mindestens bis in die Zeit des Alten Testaments zurück. Der Ausdruck wird in der Bibel in mehrfacher Hinsicht benutzt: Für Sünde und Sünder, die Versuchung und den Verstoß gegen göttliche Gebote. Die Kirche prägte den Skandalbegriff über Jahrhunderte hinweg. Der Skandal-Vorwurf wurde zu Maulkorb und Rohrstock in einem: Die Kirche verwendete ihn bei Verstößen gegen Glaubensgrundsätze und bei moraltheologischen Fragen.

„Skandal“: In der Bibel murrten die Israeliten auf dem Weg ins gelobte Land gegen Gott – bis er Brot schickte. Der Skandalbegriff wurde ursprünglich in religiösem Sinn verwendet.



*Seit dem 18. Jahrhundert wird der Skandalbegriff zunehmend nicht-religiös verwendet: Heute unter anderem auch für bestechliche Fußball-Schiedsrichter.  
Foto: Fotolia*

Die Zensur prägte die schriftliche Kommunikation in Spanien: Autoren mussten sich an Vorgaben halten, wenn sie keine Sanktionen erleiden wollten. Ein gutes Beispiel dafür, erklärt Andreas Gelz, sei der Ausdruck des „Murrens“, auf Spanisch „murmuración“: Schon in der Bibel sei das Murren als Skandal dargestellt worden. Die Israeliten murrten beim Auszug aus Ägypten, weil sie auf der Reise ins „gelobte Land“ Hunger und Durst erleiden mussten. Das brachte sie dazu, die Allmacht Gottes infrage zu stellen. Die katholische Kirche Spaniens ächtete das Murren und seine sprachlichen Formen, etwa die „üble Nachrede“ oder die literarische Satire. Die Folge: Viele Autoren entschärften ihre Texte durch ein erklärendes Vorwort oder schrieben Kritik nur noch zwischen den Zeilen.

Noch in den 1880er-Jahren erschien in Spanien das ultrakonservative, monumentale Geschichtswerk „Historia de los heterodoxos españoles“ („Geschichte der spanischen Heterodoxie“). Der Autor wettete gegen die politische und religiöse Modernisierung, erklärt Gelz, besonders gegen die Heterodoxie, also den Abfall vom rechten Glauben. „Dieses Buch wirkte noch bis weit in die Franco-Ära hinein und prägte das Sendungsbewusstsein des Regimes.“

## „Das war eine Gratwanderung zwischen Tradition und Modernisierung“

War Spanien schlicht eine „verspätete Nation“, deren Eliten versuchten, die Moderne aufzuhalten? Andreas Gelz sieht das nicht so. „In Spanien gab es möglicherweise eine andere Modernisierung, aber keine verspätete.“ Zwar sei die katholische Kirche sehr lange mächtig geblieben, aber die Eliten hätten auf gesellschaftliche Veränderungen gedrängt. Nicht aus Freiheits- oder Revolutionsgedanken heraus, sondern aus Notwendigkeit: Sie wollten wirtschaftlich und wissenschaftlich nicht von den anderen Staaten Europas abgehängt werden. Bis zu einem gewissen Punkt hätten auch Adlige, Minister oder Beamte Veränderungen gewollt. „Das war eine Gratwanderung zwischen Tradition und Modernisierung“, sagt Gelz, „die Literatur hat diese Prozesse in Spanien mitgetragen und mitgestaltet.“

Der Freiburger Literaturwissenschaftler sieht bei seinem Forschungsthema mehrere Anknüpfungspunkte zur Gegenwart: Auch heute spielten religiöse Fundamentalisten Religion und gesellschaftliche Modernisierung gegeneinander aus: „Heute wird vielen Staaten das Label ‚verspätet‘ angeheftet. Das ist zu einfach, und dadurch wiederholt man Muster, die es im Umgang mit Spanien auch schon gegeben hat.“ So sei für den islamischen Fundamentalismus die Entwicklung der westlichen Welt ein religiöser Skandal, während westliche Publizisten gerade diese Auffassung als skandalös empfänden. Andreas Gelz bezeichnet das Aufeinanderprallen dieser beiden unterschiedlichen Skandalbegriffe deshalb als „Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen“.

### Durch „Skandal“-Forschung aktuelle Probleme erklären

Den Mechanismen, die es damals im Umgang mit dem „verspäteten“ Spanien gegeben habe, begegne man heute zum Teil wieder, sagt Gelz. Etwa im Buch „Kampf der Kulturen“, dessen Autor Samuel Huntington davon ausgeht, dass es zukünftig Konflikte zwischen Kulturen geben wird und nicht mehr zwischen Staaten. Diese Prozesse will der Freiburger Romanist durch seine Forschung zum Skandalbegriff herausarbeiten und daraus Schlüsse ziehen, die für die Lösung heutiger Probleme relevant werden könnten.

Dass das Skandal-Thema weiterhin aktuell bleibe und viel Stoff für die Forschung biete, zeige ein weiterer Trend: Heute werde der Skandalbegriff wieder zunehmend in traditionellem Sinn verwendet, auch im Westen und in Spanien: „Der scheinbar anachronistische, religiöse Gebrauch des Skandalbegriffs ist omnipräsent und schürt Fundamentalismen aller Art.“ Diese Entwicklung werde zum Teil von den Medien vorangetrieben, die Skandale potenzierten. Prominentestes Beispiel dafür ist der „Karikaturenstreit“: Die Zeichnung einer dänischen Zeitung ging um die Welt, löste Proteste aus und war das Motiv eines religiös-fundamentalistischen Attentäters, der den Karikaturenzeichner ermorden wollte.

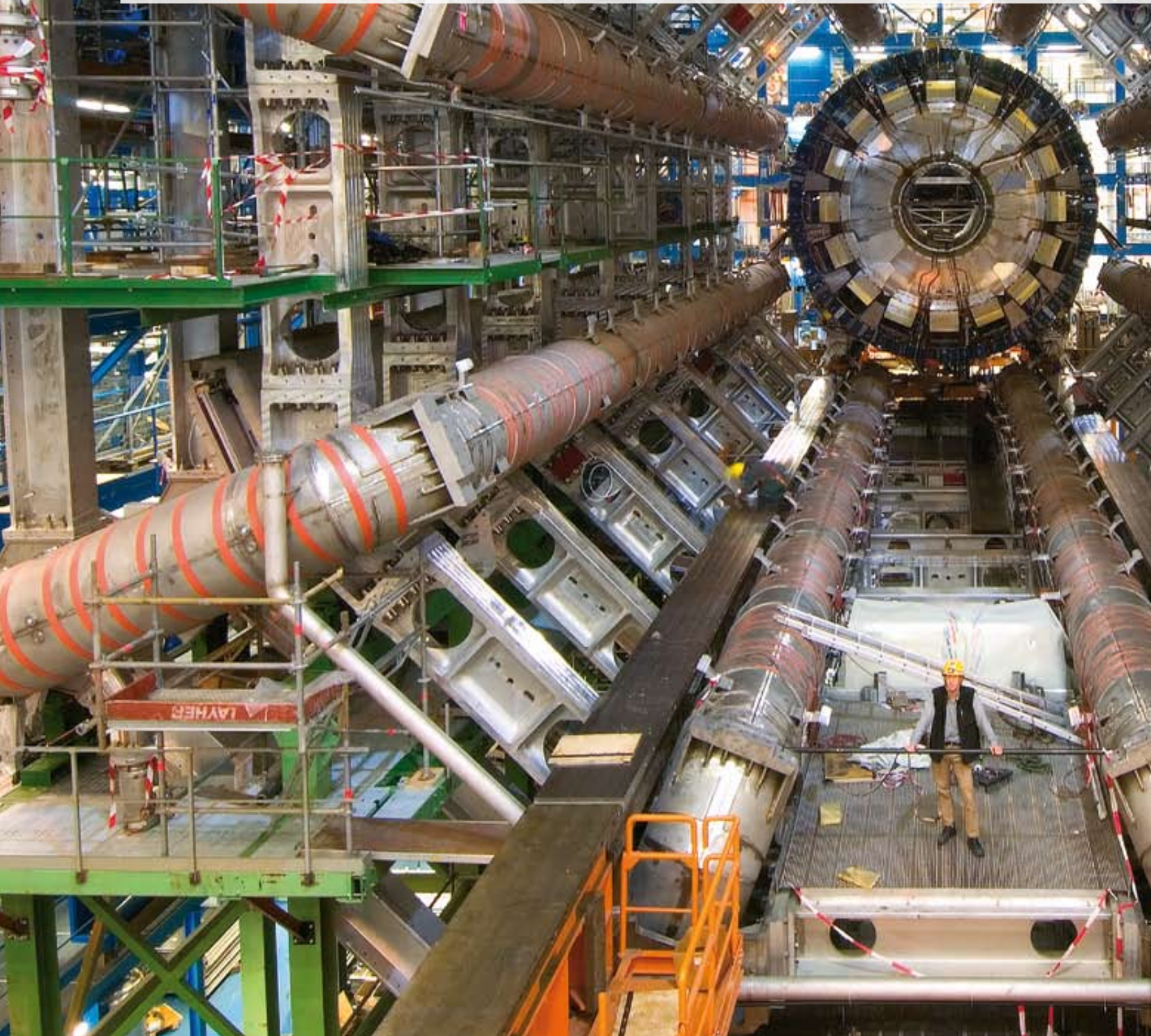


*Prof. Dr. Andreas Gelz (46) studierte von 1984 bis 1991 Romanistik und Germanistik an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. 1994 wurde er promoviert, 2002 habilitiert. Nach Lehrstuhlvertretungen an den Universitäten Greifswald, Würzburg und München erhielt er 2004 den Ruf auf eine Professur für Romanische Literaturwissenschaft an der Universität Kassel. Seit 2007 ist er Inhaber des Lehrstuhls für Romanische Philologie an der Universität Freiburg. Gelz' Arbeitsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der französischen und spanischen Literatur- und Kulturgeschichte des 17. bis 20. Jahrhunderts, der französischen Gegenwartsliteratur und der Literaturtheorie. Foto: Klaußner*

# Kleiner, fester, dichter

Freiburger Forscher suchen am Teilchenbeschleuniger in Genf nach neuen Kräften und Materieformen

*von Doreen Fiedler*





„Ich würde nicht Jahre meines Lebens hier vergeuden, nur um etwas zu entdecken, was wir schon kennen“



„Woraus besteht die Welt? Was sind die kleinsten Teilchen?“ Den Freiburger Physiker Prof. Dr. Gregor Herten interessieren zentrale, fast philosophische Fragen. „Mein Interesse für die Grundfragen der Physik kam in der Schule im Griechischunterricht auf. Bereits die Vorsokratiker stellten sich die Frage: Sind die Teilchen eines Urstoffs immer weiter teilbar, oder gibt es kleinste Teile, die nicht weiter zerlegt werden können?“

Seine Untersuchung der Elementarteilchen betreibt Gregor Herten zusammen mit rund 8.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 85 Nationen am CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), der Europäischen Organisation für Kernforschung in Genf. Mithilfe der Experimentalphysik hoffen sie, endlich die fundamentalen Gesetze des Universums zu verstehen. Dazu läuft am CERN der leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger der Welt, der Large Hadron Collider (LHC). Darin werden Teilchen mit bisher nicht gekannter Energie aufeinandergeschossen. In den Trümmern suchen die Physiker nach Spuren der Elementarteilchen, also nach den Bausteinen der Atome.

Wer die Arbeit der Teilchenphysiker verstehen möchte, braucht vor allem ein gutes Vorstellungsvermögen. Denn die größte Maschine der Welt ist quasi unsichtbar: Sie liegt rund 100 Meter unter der Erdoberfläche bei Meyrin im Kanton Genf, eingebettet zwischen Genfer See und Juragebirge. Die knapp 27 Kilometer lange Ringbahn bohrt sich unter Feldern und Wiesen durch schweizerisches und französisches Staatsgebiet. Oberirdisch sieht man nicht viel: ein Kühlhaus, Kontrollzentren, Büros, Hotels und Restaurants für die Forscherinnen und Forscher. Verteilt auf dem riesigen Gelände des CERN, das von der UNESCO als exterritoriales Gebiet deklariert wird, stehen außerdem die Hallen der sieben kleineren Teilchenbeschleuniger. Doch wo genau unter den Füßen die Teilchen fast mit Lichtgeschwindigkeit entlangrasen, ist nirgends aufgemalt.

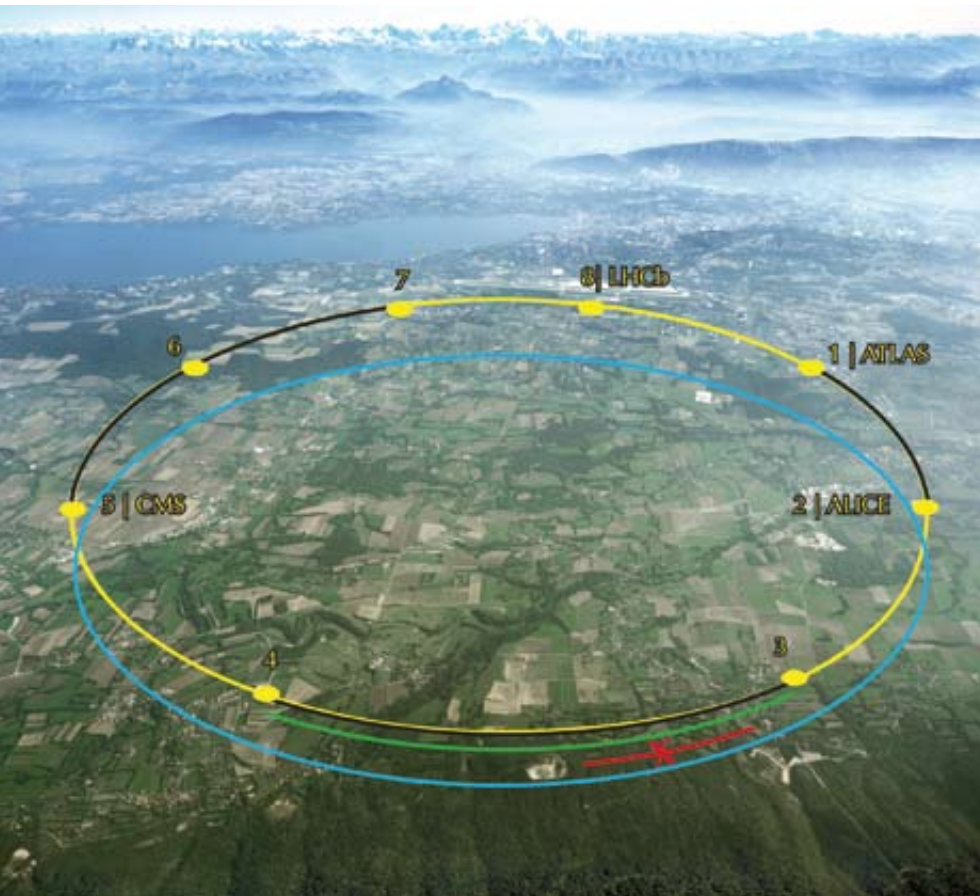
#### **So viel Energie, wie wenn zwei Mücken im Flug zusammenstoßen**

Aus Sicherheitsgründen haben Besucher keinen Zutritt mehr zur Teilchen-Rennbahn. Die Anlage ist nach einer einjährigen Verzögerung wegen eines Defekts im Kühlsystem seit November 2009 wieder im Einsatz. Während des Betriebs ist die Strahlenbelastung im Tunnel so groß, dass Besucher nicht nach unten dürfen – nicht einmal die Putzkolonne darf hinein. Im Inneren des Teilchenbeschleunigers fliegen Protonen, die aus Kernen von Wasserstoffatomen gewonnen werden, in zwei parallelen Röhren gegenläufig zueinander. In diesen Strahlröhren herrscht ein ultrahohes Vakuum, damit die Protonen nicht mit Gas-Atomen zusammenprallen. Umgeben werden sie von 1.600 Magneten, die die Teilchen auf ihrer Bahn halten. Übrigens ist der LHC auch der größte Kühlschranks der Welt: 10.080 Tonnen flüssiger Stickstoff und 60 Tonnen flüssiges Helium sind nötig, um die Magnete auf  $-271,3$  Grad herunterzukühlen. Nur so sind sie supraleitend und verbrauchen wenig Strom.



*So groß wie das Freiburger Rektoratsgebäude und vollgestopft mit Sensoren: Die Physikerinnen und Physiker der Universität Freiburg arbeiten am ATLAS-Detektor mit. Sie suchen nach Zwillingsteilchen der Elementarteilchen.*

*Foto: CERN*



Nach dem Defekt 2009 wurde repariert:

Neue Druck-Ablass-Ventile ergänzt

Verbesserung des Magnet-Sicherheits-Systems

Reinigung des Vakuum-Strahl-Rohrs

Dipole- und Quadrupol-Magnete sowie elektrische Verbindungen ersetzt

LHC-Ring

X  
Störfall

Die Teilchen – meistens Protonen, aber teilweise auch Ionen – werden im so genannten Beschleuniger nicht immer schneller. Die annähernde Lichtgeschwindigkeit, genau 99,9999991 Prozent davon, haben sie schnell erreicht. Vielmehr werden sie auf höhere Energien gebracht. Schließlich lassen die Forscher die Protonen mit der enormen Energie von sieben Tera-Elektronenvolt (TeV) aufeinander prallen. „Das ist so viel Energie, wie wenn zwei Mücken im Flug zusammenstoßen“, sagt Hertzen. „Der Unterschied jedoch ist: Eine Mücke besteht aus zig Milliarden Atomen. Hier ist die Energie aber auf zwei Protonen konzentriert.“ Die Teilchenphysiker schießen nicht nur einzelne Protonen aufeinander. In den Röhren des LHC kreisen zwei dicke Protonenstrahlen. „Ein Strahlbündel ist so dünn wie ein Haar und wenige Zentimeter lang, besteht aber aus 100 Milliarden Protonen“, sagt Hertzen. Bei vollem Betrieb haben alle Protonen zusammen eine Energie von 300 Millionen Joule. „Damit könnte man eine Tonne Kupfer verdampfen.“

Im Moment läuft der Teilchenbeschleuniger noch mit halber Kraft. Nach den Problemen im Vorfeld fahren die Wissenschaftler momentan jeden Strahl mit 3,5 TeV, was eine Kollisionsenergie von 7 TeV ermöglicht. Ab dem Jahr 2011 soll es doppelt so viel Energie sein. „Das ist genau wie bei einem neuen Auto: Beim ersten Start fährt man nicht gleich mit voller Geschwindigkeit“, erklärt Hertzen. So habe man genügend Zeit, um die Messdaten mit den Theorien zu vergleichen und zu schauen, ob alles richtig funktioniert. Trotz der unglaublich hohen Energiedichte im LHC simulieren die Forscher übrigens keinen Urknall. Doch sie versuchen, sich an den Urknall heranzuarbeiten. Ihre Teilchenkollisionen entsprechen dem Geschehen etwa eine milliardstel Sekunde nach dem Big Bang, sagt Hertzen. „Und wenn wir die Vorgänge kurz danach verstehen, dann können wir am Computer hochrechnen, was damals beim Urknall passiert ist.“ Ihm und seinen Kolleginnen und Kollegen geht es also um keine geringere Frage als die nach dem Ursprung des Kosmos.

#### Eine milliardstel Sekunde nach dem Urknall

An vier Stellen der Ringbahn stehen Detektoren, die die Kollisionen beobachten und erfassen. Die Freiburger Physiker arbeiten am so genannten ATLAS-Experiment mit, dem größten der vier Teilchendetektoren mit einem Durchmesser von 25 Metern. „So groß wie das Freiburger Rektoratsgebäude, vollgestopft mit Sensoren“, erklärt Hertzen. Dabei besteht der Detektor aus vielen Lagen, die alle etwas anderes messen. „Man muss sich das wie eine Zwiebel vorstellen.“

Freiburg ist am LHC mit bis zu 50 Physikerinnen und Physikern stark vertreten. Die meisten von ihnen werden über Drittmittel finanziert. Sie sind vor allem für die Entwicklung, den Bau und den Betrieb der äußersten Kammern des Detektors zuständig, den so genannten Myonenkammern sowie für die Siliziumzähler im Innenbereich. „Aus den Eigenschaften, die wir mit unseren Geräten messen, können wir rekonstruieren, welches Teilchen es war, welche Energie es hatte und welchen Impuls“, sagt Hertzen. Der Durchgang der Teilchen wird dabei mit einer Präzision von wenigen tausendstel Millimetern erfasst.



Der Kontrollraum des ATLAS-Projekts. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter filtern aus einem riesigen Informationsberg das Wichtige heraus.

Die Messdaten laufen alle auf den Computerbildschirmen im Kontrollraum zusammen, der an die großen NASA-Zentren aus Hollywood-Filmen erinnert. Nur dass in Meyrin, anders als im Houston-Nachbau, viele Monitore unbeobachtet bleiben und viele Stühle leer sind. „Am Anfang war der Raum voller Menschen“, sagt Hertens. „Aber je mehr wir verstehen, desto mehr können die Computer die Arbeit übernehmen. Wir sind nur noch da, um schnell zu reagieren, wenn etwas schief läuft.“ Die besondere Schwierigkeit bestehe darin, aus der Fülle an Daten das Wichtige herauszufiltern. „Man muss eine Milliarde Teilchenstöße aufnehmen, damit man ein interessantes Ereignis findet“, sagt Hertens.

### Dem Phantom-Teilchen auf der Spur

Doch nach was genau wird eigentlich in den Detektoren gesucht? Die Freiburger Professoren Karl Jakobs und Markus Schumacher fahnden zusammen mit ihren Arbeitsgruppen nach dem so genannten Higgs-Boson. Der englische Physiker Peter Higgs hat bereits 1964 in seinem theoretischen Modell erklärt, dass Teilchen ihre Masse durch Wechselwirkung mit einem bestimmten Feld, dem Higgs-Feld, erhalten. Heute geht die Mehrzahl der Physiker davon aus, dass es das Higgs-Feld tatsächlich gibt und dass es eine Art Pseudopartikel, das Higgs-Teilchen, hervorbringt. Wenn das Higgs-Teilchen existiere, würde es auch am LHC entdeckt, sagt Jakobs.

Gregor Hertens Gruppe sucht nach den supersymmetrischen Teilchen, also nach Zwillingsteilchen der Elementarteilchen. Nach dem gängigen Standardmodell besteht die Welt aus Materieteilchen (wie Quarks und Elektronen) und

Kraftteilchen, die dafür sorgen, dass die Welt nicht auseinander fällt. Der Supersymmetrie zufolge gibt es zu allen Materieteilchen supersymmetrische Partner, die sich wie Kraftteilchen verhalten, und umgekehrt. Damit wäre die strikte Trennung zwischen Materie und Kraft überwunden. Hertens ist sich sicher, dass bei der anstehenden Zunahme der Intensität im LHC diese unbekannt Teilchen bald auftauchen. „Wenn die supersymmetrischen Teilchen wirklich da sind, dann müssten sie sich bald zeigen.“

### Neue Erkenntnisse für die Physik?

„Für so etwas Nutzloses werden vier Milliarden Euro ausgegeben“, ist ein häufiger Vorwurf gegenüber dem CERN. Tatsächlich belief sich das Jahresbudget 2007 auf 650 Millionen Euro, ein Fünftel der Summe wurde von Deutschland getragen. Nun hoffen die Forscher, dass sie nach 15 Jahren des Aufbaus am LHC nicht nur Netzwerke schaffen, sondern endlich etwas Neues für die Physik entdecken können. Und zwar keine schwarzen Löcher – denn diese werden wohl auch in Zukunft nicht auftauchen. Vielmehr erwartet Hertens, supersymmetrische Teilchen zu entdecken. Das wäre eine Sensation in der Physikerwelt. „Ich würde nicht Jahre meines Lebens hier vergeuden, nur um das zu entdecken, was wir schon kennen.“



**Prof. Dr. Gregor Hertens** (55) studierte Physik. 1983 wurde er an der Rheinisch-Westfälischen Hochschule Aachen (RWTH) promoviert und war anschließend als Fellow am CERN in Genf tätig. Seit 1992 hat er an der Universität Freiburg den Lehrstuhl für Teilchenphysik inne. Hertens forscht daran, in Teilchenreaktionen bei hohen Energien neue physikalische Gesetze zu entdecken. Im Rahmen seiner Tätigkeit beim ATLAS-Experiment am Large Hadron Collider (LHC) im Genfer CERN war Hertens Vizepräsident des CERN-Aufsichtsrats und leitet das Collaboration Board des Experiments, das für alle wichtigen Entscheidungen in Bezug auf ATLAS zuständig ist. Fotos: Fiedler

# Zwergmoleküle legen Genschalter um

Biologen entdecken mithilfe von Moos den direkten Einfluss der micro-RNA auf die DNA

*von Jürgen Schickinger*



**D**er kleine Bruder zeigt Muskeln: Winzige Ribonukleinsäuren (RNA) schalten Gene ab – direkt an ihrem großen Bruder, der DNA. Das haben Freiburger Biologen um Privatdozent Dr. Wolfgang Frank und Prof. Dr. Ralf Reski in Moospflanzen entdeckt. Dabei galten RNA lange nur als Handlanger der DNA. mRNA durften Abschriften von Abschnitten des Erbguts transportieren. tRNA und rRNA hatten gemeinsam mit Proteinen nach diesen Bauplänen Eiweiße zusammensetzen. Dann zeigte sich aber, dass

miRNA bestehen aus etwa 20 Bausteinen. Die Abfolge der Nukleotide, also die Sequenz einer miRNA, passt zu einer bestimmten mRNA. Über die sich entsprechenden Sequenzen erkennt die miRNA ihren Partner. Sie binden aneinander und bilden einen Komplex. Seine Anwesenheit blockiert bei Tieren die Protein-Biosynthese der mRNA. Dagegen zerschneidet der Komplex in Pflanzen die Ziel-mRNA. In beiden Fällen entsteht kein Protein.



*Es grünt sehr grün,  
wenn Moose die richtige  
Grundlage gefunden haben.*

*Foto: Fotolia*

manche RNA chemische Reaktionen katalysieren. Andere regulieren die Proteinbiosynthese. Und nun legen kurze, so genannte microRNA (miRNA) sogar Genschalter an der DNA um.

Frank und Reski veröffentlichten diesen neuartigen Regulationsweg gerade in der renommierten Fachzeitschrift „Cell“. Beschrieben wurden miRNA erstmals Anfang der 1990er-Jahre. 1998 deckten US-Forscher auf, dass im Fadenwurm *C. elegans* kurze RNA über der DNA entsprechende Sequenzabschnitte die Regulation einzelner Messenger-RNA (Boten-RNA) beeinflussen und die Expression bestimmter Gene dadurch verhindern. Für diese Entdeckung der RNA-Interferenz erhielten sie den Nobelpreis – nach acht Jahren. „Der kurze Zeitraum zeigt, welche Bedeutung die Fachleute in kleinen RNA sehen“, sagt Reski. Seine Arbeitsgruppe hat die Zwergmoleküle nun erneut zu RNA-Stars gemacht.

Auf diese Art regulieren miRNA die Biosynthese von Proteinen von 20 Prozent aller mRNA in Tieren und Pflanzen. Dazu brauchen sie die so genannten DICER-Proteine. „Während Tiere in der Regel nur ein DICER-Gen und -Protein haben, besitzen Pflanzen meist vier davon“, sagt der Biologe.

#### **Liebling der Forscher: Das Kleine Blasenmützenmoos**

Reski und Frank wollten an ihrem Lieblingsforschungsobjekt, dem Kleinen Blasenmützenmoos „*Physcomitrella patens*“, herausfinden, welche Aufgaben die verschiedenen DICER-Proteine erfüllen. Dazu eignet sich *P. patens* bestens: Die Mooszellen tauschen effizient DNA-Stücke gegeneinander aus, wenn diese sich entsprechende Abschnitte haben. Mit der homologen Rekombination, bei der sich DNA-Abschnitte



Dr. Marco Vervliet Scheebaum vom „International Moss Stock Center“ am Lehrstuhl von Ralf Reski befördert die Moospflänzchen in den Kälteschlaf.  
Foto: Kunz

von einem Chromosom zum anderen bewegen können, findet eine Neuorientierung von genetischem Material statt. Allerdings nur, wenn in der DNA-Sequenz möglichst viele Übereinstimmungen bestehen. Damit können die Freiburger Biologinnen und Biologen gezielt neue Gene in ihre Pflanzen einschleusen sowie vorhandene Gene verändern oder entfernen. Knockout-Moose oder Null-Mutanten, denen ein Gen fehlt, entwickeln sich häufig anders als vollständige Organismen. An den Unterschieden lässt sich erkennen, welche Funktion das entfernte Gen besitzt.

## „Es ist mein Traum, einmal ein im Moos produziertes Medikament in der Apotheke kaufen zu können“

*P. patens* hat noch weitere Vorteile: Das Moos ist haploid, das heißt, es besitzt nur eine Ausgabe eines Gens statt zwei Genvarianten wie die meisten Organismen. Deshalb zeigen sich Genveränderungen beim Moos recht schnell. Zudem wächst es im Fotobioreaktor unter kontrollierten, immer gleichen Bedingungen. Umwelteinflüsse und Schädlinge können die Ergebnisse von Experimenten also nicht verfälschen. Ebenso kann aus dem geschlossenen Reaktor nichts nach außen dringen. Es besteht keine Gefahr, dass veränderte Moose oder ihre Produkte freigesetzt werden. Reski will mit den Moosen sogar

Arzneimittel herstellen: „Es ist mein Traum, einmal ein im Moos produziertes Medikament in der Apotheke kaufen zu können.“ Das ist noch Zukunftsmusik. „Ich finde es aber toll, dass wir nach langer Zeit mit dem Moos einen weiteren Modellorganismus für die Biologie entwickelt haben“, betont er.

### Moos-Bibliothek im Tiefkühlschrank

Über Jahre hinweg hat Reskis 30-köpfige Arbeitsgruppe die homologe Rekombination optimiert und mit 75.000 Mutanten eine funktionelle Genomanalyse von *P. patens* durchgeführt. 2008 hat Reski für 10 Millionen US-Dollar das komplette Moos-Genom sequenzieren lassen. Schließlich fanden die Freiburger noch eine Möglichkeit, Moospflanzen dauerhaft in flüssigem Stickstoff aufzubewahren. So entstand vor Ort das International Moss Stock Center – eine Referenz-Bibliothek, in der tiefgekühlte *P. patens*, Mutanten und Ökotypen aus aller Welt lagern. „Das war der letzte Punkt, der fehlte, um das Moos endgültig als Modellorganismus zu etablieren“, freut sich Reski.

Nicht minder freut die beiden Wissenschaftler der Erfolg mit den Moos-miRNA. Zusammen mit ihren Kooperationspartnern vom Tübinger Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie untersuchten sie zunächst Knockout-Moose für die nahezu identischen DICER-Untereinheiten 1a und 1b. „Das Moos ohne die Untereinheit 1a ist fast nicht lebensfähig. Das entsprach unseren Erwartungen“, sagt Frank. Die Mutante enthält keine reifen miRNA. Überraschender fand er die Moos-Mutanten, denen DICER 1b fehlt: „Sie sollten eigentlich auch keine miRNA bilden – taten sie aber doch!“ Bruchstücke zerschnittener Ziel-mRNA konnte er dennoch nicht nachweisen. Damit war klar: Die Untereinheiten haben verschiedene Aufgaben. 1a ist für die Reifung der miRNA notwendig und 1b für das Zerschneiden der Ziel-mRNA.

## „Ich finde es toll, dass wir nach langer Zeit mit dem Moos einen weiteren Modellorganismus für die Biologie entwickelt haben“

Dann folgte die nächste Überraschung: Die 1b-Null-Mutanten ohne RNA-Schere enthielten viel zu wenige mRNA – nur ein Prozent der normalen Menge. „Wir konnten für fünf Ziel-mRNA zeigen, dass ihre Transkription gestört ist“, sagt Frank. Gemeinsam mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Basel Khraiwesh, M. Asif Arif und Gotelinde Seumel entdeckte er, dass an den mRNA-Genen in 1b-Null-Mutanten viel mehr Methylgruppen sitzen als im natürlichen Moos. Solche Gruppen blockieren den Transkriptionsapparat durch Methylierung. Das heißt, er kann Gene, die durch Methylgruppen modifiziert werden, nicht ablesen und keine entsprechenden mRNA herstellen. „Unsere Idee war, dass das mit den miRNA-mRNA-Komplexen zu tun hat“, erzählt der Forscher. Weil die Komplexe nicht gespalten werden, häufen Mutanten ohne DICER 1b sie an. Dasselbe geschieht, wenn natürliche Moose, die Wildtypen, künstliche miRNA im Überschuss produzieren. Die Freiburger Biologen stellten fest, dass anschließend immer genau jene Gene durch Methylierung abgestellt werden, die die zugehörigen mRNA kodieren. Eine kleine Sensation.

### Durch Moos-Forschung menschliche Depressionen erklären

Der Mechanismus funktioniert selbst unter lebensechten Bedingungen: Wenn Salz oder Trockenheit die Moose belastet, produzieren sie viel Abscisinsäure. Mit diesem Hormon können Forscherinnen und Forscher Moose stressen. Um ihr Überleben zu sichern, bilden die Moose dann widerstandsfähige Dauersporen. Sie fahren ihren Stoffwechsel herunter und stellen die Photosynthese ein. Dabei nimmt die Menge gewisser mRNA schnell ab, die ihrer entsprechenden miRNA nimmt dagegen ebenso zu wie die Methylierung der Ziel-mRNA-Gene. „Die Pflanzen brauchen die mRNA ja sowieso nicht mehr“, erklärt Frank. Statt sie dauernd zu erzeugen, nur um sie dann zu zerschneiden, dreht das Moos den Nachschub auf DNA-Ebene ab.

Frank und Reski glauben, dass sie einen neuen, generellen Mechanismus gefunden haben, mit dem Pflanzen und Tiere rasch auf Veränderungen und Stress reagieren. „Wir müssen noch testen, ob er auf andere Organismen übertragbar ist“, sagt Reski. Eine Rolle spielt die DNA-Methylierung in Menschen, Mäusen und Ratten auf jeden Fall: Sie ändert sich bei Stress und Traumata im frühen Kindesalter. Die Tiere verhalten sich zeitlebens ängstlich, und Menschen erkranken als Erwachsene häufiger an Depressionen. Die Methylgruppen beeinflussen also die Aktivität von Genen.

Die Epigenetik, die sich mit diesen übergeordneten Steuerungsmechanismen der Genregulation befasst, hat in den vergangenen Jahren enorm an Bedeutung gewonnen: Methylierungsmuster können stabil sein und werden zum Teil wahrscheinlich sogar vererbt. „Ich erwarte aber, dass die Methylierungen, die wir beobachtet haben, reversibel sind“, sagt Wolfgang Frank. Allerdings vermuten er und Ralf Reski, dass es auch in *P. patens* stabile, erworbene Methylierungsmuster gibt. Da warten weitere Aufgaben auf die Freiburger Biologen. Ihre erfolgreiche Moos-Forschung wird wohl noch einige erstaunliche Ergebnisse liefern.

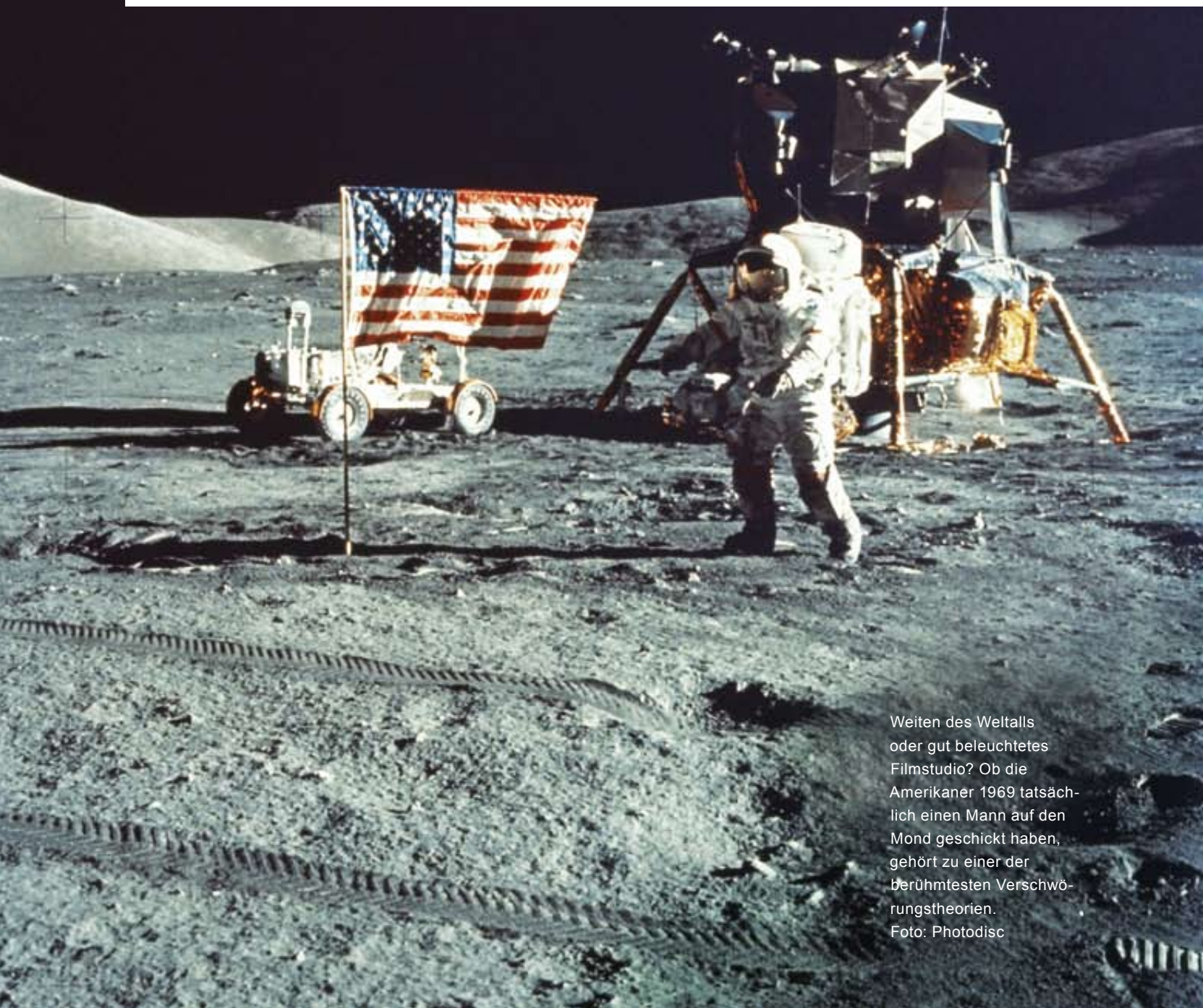


**Prof. Dr. Ralf Reski** (51) studierte Biologie, Chemie und Erziehungswissenschaften an den Universitäten Gießen und Hamburg. In Hamburg wurde er 1990 im Arbeitsbereich Genetik promoviert und habilitierte sich dort 1994 in Allgemeiner Botanik. 1999 wurde er als Professor an die Universität Freiburg berufen, wo er den neu gegründeten Lehrstuhl für Pflanzenbiotechnologie bekam. Seit 2004 lehrt er ebenfalls an der Ecole supérieure de biotechnologie Strasbourg (ESBS). Reski ist Leitender Wissenschaftler zweier von der Exzellenzinitiative geförderter Einrichtungen: der Spemann Graduiertenschule für Biologie und Medizin (SGBM) und dem Exzellenzcluster Zentrum für Biologische Signalstudien (BIOSS).  
Foto: Kunz

# Hitlerklone, Kennedy-Mörder und getürkte Mondlandungen

Der Amerikanist Michael Butter  
untersucht Verschwörungstheorien

von Eva Opitz



Weiten des Weltalls  
oder gut beleuchtetes  
Filmstudio? Ob die  
Amerikaner 1969 tatsäch-  
lich einen Mann auf den  
Mond geschickt haben,  
gehört zu einer der  
berühmtesten Verschwö-  
rungstheorien.  
Foto: Photodisc

Was wäre, wenn Hitler den Krieg gewonnen hätte? Das ist der vorherrschende Plot eines berühmten Romans des Schriftstellers Robert Harris. Andere Autoren entwerfen Geschichten, in denen Hitler nicht gestorben, sondern in die USA ausgewandert ist. „Oder was wäre passiert, wenn der Krieg noch länger gedauert hätte? Das ist ebenfalls ein Thema der ‚Was-wäre-wenn‘-Literatur“, erklärt Dr. Michael Butter. Der Amerikanist gehört zur Gruppe der Junior Fellows, die für einige Jahre am Freiburg Institute for Advanced Studies (FRIAS), dem Forschungskolleg der Albert-Ludwigs-Universität, arbeiten. Am FRIAS genießt der Wissenschaftler die Art von Unabhängigkeit, die amerikanische Universitäten ihren Assistant Professors bieten. Sie können völlig auf sich selbst gestellt ihre wissenschaftlichen Themen wählen und darauf eine Karriere bis hin zum ordentlichen Professor aufbauen. Auch Butter ist am FRIAS keinem Professor zugeordnet. Prof. Dr. Wolfgang Hochbruck vom Englischen Seminar betreut jedoch seine Habilitation.

### Bronze macht glücklicher als Silber

Zur Amerikanistik kam Michael Butter durch sein Interesse an amerikanischer Gegenwartsliteratur. Etwa durch zeitgeschichtliche Romane, die ohne Berührungängste kontrafaktische Themen aufgreifen, das heißt Inhalte, die sich mit einer „Was-wäre-wenn“-Hypothese beschäftigen. Eine bekannte Studie des kontrafaktischen Denkens, das Psychologen, Soziologen, Historiker, Politiker und Literaturwissenschaftler erforschen, beschäftigt sich zum Beispiel mit der Verleihung der Bronzemedaille. Untersuchungen haben gezeigt, dass Gewinner der Bronzemedaille unter Umständen zufriedener sind als Silbermedaillengewinner. Für sie spielt der Gedankengang: „Was wäre, wenn ich gar nichts gewonnen hätte?“ eine größere Rolle als der Verlust höherer Medaillengewinne. Untersucht hat Butter auch Romane, die davon handeln, dass heimlich Nixons Gehirn gegen das von Hitler ausgetauscht wird oder ein Klon Hitlers das personifizierte Böse darstellt. „Bei all diesen Romanentwürfen geht es nicht um die Person Hitlers, sondern darum, amerikanisches Verhalten gegenüber dem Bösen zu legitimieren. Gegen das absolut Böse sind so auch Maßnahmen wie Folter gerechtfertigt.“

Von der kontrafaktischen Literatur bis zur wissenschaftlichen Beschäftigung mit Verschwörungstheorien als Thema seiner Habilitation war es für den Amerikanisten kein weiter Weg. In seiner Dissertation über Hitler als Verkörperung des Bösen in „The Epitome of Evil: Hitler in America 1939–2002“, die letztes Jahr veröffentlicht wurde, waren Verschwörungstheorien nur ein Randgebiet. Doch mit zunehmender Beschäftigung entdeckte er, dass sich, abgesehen von ein paar Arbeiten aus den 1960er-Jahren des Historikers Richard Hofstadter, kaum jemand wissenschaftlich mit Verschwörungstheorien vor 1945 beschäftigt hatte.

Ausgehend von der amerikanischen Geschichte und einem kulturwissenschaftlichen Ansatz, der auch Essays, Pamphlete und fiktionale Literatur einschließt, fand Butter die ersten handfesten Verschwörungstheorien schon bei den Puritanern, die im 17. Jahrhundert den amerikanischen Osten besiedelten. Ihrer Meinung nach hatte sich der Teufel mit den Indianern zusammengetan, um ein Komplott gegen die Puritaner zu schmieden. Die Kämpfe mit den Indianern wurden so zur Auseinandersetzung zwischen Gott und Satan. „Das diente vor allem der Festigung der Gruppenidentität“, sagt der Forscher. Ende des Jahrhunderts kam es zu den schlimmsten Hexenverfolgungen auf dem amerikanischen Kontinent. „Überall wurde der Feind gesehen, der in Gestalt dieser armen Frauen die Gesellschaft infiltrierte“, erklärt der Wissenschaftler. Auch der Papst blieb von Verschwörungstheorien nicht verschont. Ihm wurde von Protestanten unterstellt, mithilfe des katholischen Europas und insbesondere der auswandernden Iren das puritanisch geprägte Land erobern zu wollen. „Aus dieser Zeit rühren unter anderem Vorurteile gegenüber Katholiken in den USA.“



**Dr. Michael Butter**  
(33) studierte Anglistik, Germanistik und Geschichte in Freiburg und Norwich/England. Danach ging er zur Promotion in amerikanischer Literatur- und Kulturwissenschaft nach Bonn und an die Yale University/USA. Er übernahm Lehraufträge und war Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Nordamerika-Studienprogramm der Universität Bonn. Es folgte die Ko-Koordination des DFG-Netzwerks „The Futures of (European) and American Studies“. Seit April 2008 bereitet er am FRIAS seine Habilitation vor.  
Foto: Klaußner

*Am 11. September 2001  
rasten zwei Flugzeuge  
in die Türme des World  
Trade Center.  
Wusste die amerikani-  
sche Regierung über  
die Anschläge Bescheid?  
Für Verschwörungs-  
theoretiker eine legitime  
Frage.*



„Entscheidend ist, dass viele Menschen  
diese Verschwörungstheorien glauben“

In den 60er- und 70er- Jahren des 20. Jahrhunderts waren es nicht mehr Hexen und bekehrungswütige Iren, die den Feind repräsentierten. Die Verschwörungstheorien wechselten die Perspektive und gingen zu einer neuen Erzählung über, wie zum Beispiel Theorien über die erste Mondlandung zeigen. Alle diese Geschichten, wie auch die zur Ermordung Kennedys, sollten laut Butter ernst genommen werden: „Nicht in dem Sinne, dass sie mit der Realität übereinstimmen, sondern dass sie sehr deutlich auf Probleme der amerikanischen Kultur hinweisen. Die Diskussion der Verschwörungstheoretiker soll klären, wem die Ereignisse nützen und wer es geplant hat.“ Hintergrund ist unter anderem ein starkes Misstrauen gegenüber der Zentralregierung, die zum Beispiel durch Ereignisse wie 9/11, also die Attentate des 11. September 2001, an Macht gewinnt. „Wer gegenüber der Regierung auf der Strecke bleibt, ist der Steuerzahler und der Bürger mit seinen individuellen Rechten“, sagt der Forscher.

Butter kommt zu dem Schluss, dass es eine untergeordnete Rolle spiele, ob die Theorie der getürkten Mondlandung stimme oder ob die amerikanische Regierung die Zerstörung der Twin-Towers geduldet habe. Allein der Effekt zählt: „Entscheidend ist, dass viele Menschen diese Verschwörungstheorien glauben und sich entsprechend verhalten, also zum Beispiel der eigenen Regierung immer skeptischer gegenüberstehen.“

Das FRIAS ist eine wichtige Station für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler auf ihrem Weg von der Promotion zur Habilitation. Gemäß den Vorgaben am FRIAS bräuchte Butter wie die anderen Fellows keine Lehrverpflichtungen einzugehen, aber der Wissenschaftler möchte den Kontakt zur Lehre und zu den Studierenden während seiner Zeit als Mitglied der School of Language and Literature nicht verlieren.

### Neue Impulse durch die Lehre

„Ich biete pro Semester ein bis zwei Lehrveranstaltungen an, weil es mir Spaß macht, mit den Studierenden zu diskutieren und von ihnen auch neue Impulse zu bekommen“, sagt Butter. Darüber hinaus sei es akademischer Selbstmord, als Nachwuchswissenschaftler aus der Lehre aussteigen. „Ich brauche bei einer Bewerbung den Nachweis, dass ich über die nötigen Kompetenzen in der Lehre verfüge, Prüfungen abnehmen und den Kontakt zu den Studierenden herstellen kann.“ Dass er am FRIAS in einer Ausnahmesituation arbeitet, ist ihm bewusst. Es ist vor allem das Klima des freien wissenschaftlichen Austausches, das ihn begeistert. „Ich bekomme viele Anregungen, die meine Forschung bereichern, und zudem werden meine Argumente hinterfragt.“

**„Es stimmt nicht, dass 9/11 die amerikanische Politik und Kultur umgekrempelt hat“**

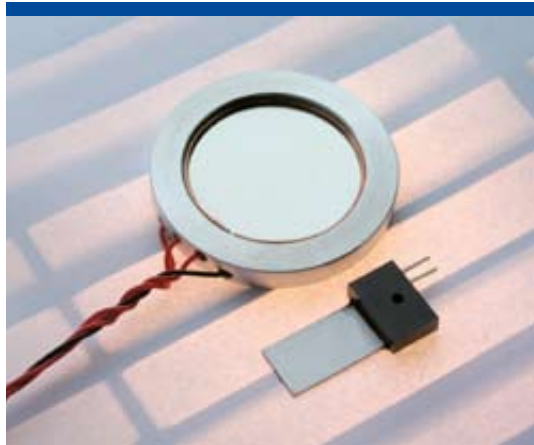
Der interkulturelle Ansatz seiner Arbeiten und die forschungsintensive Atmosphäre am FRIAS ermöglichen es dem Nachwuchswissenschaftler, Themen aufzugreifen, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit seiner Habilitation stehen. Demnächst erscheint eine Buchveröffentlichung über den Gouverneur von Kalifornien: Arnold Schwarzenegger als Verkörperung des amerikanischen Traums vom Tellerwäscher zum Millionär. „Er ist jemand, der sich ständig neu erfunden hat und eine große kulturelle Bedeutung genießt“, sagt Michael Butter. Für nächstes Jahr ist ein Buch über die Folgen des 11. September 2001 geplant. „Es stimmt nicht, dass 9/11 die amerikanische Politik und Kultur umgekrempelt hat. Die Tendenzen waren auch schon vorher vorhanden, sie sind lediglich verstärkt worden.“

# Fette Beute durch Mikroenergie

Weder Kabel noch Batterien: „Micro Energy Harvesting“  
zapft Energie aus ihrer Umgebung ab

*von Benjamin Klaußner*





*Piezoelektrische Generatoren gewinnen Energie, wenn sie durch Vibration oder Stöße bewegt werden.*

### „Micro Energy Harvesting“

Die „Energie-Ernte“ funktioniert über verschiedene Wege:

**Piezoelektrisch:** Wenn Piezo-Kristalle verformt werden, zum Beispiel indem man sie zusammendrückt, geben sie elektrische Ladung ab. Das liefert genug Energie, um etwa einen Lichtschalter oder einen Temperatur-Sensor zu versorgen.

**Thermoelektrisch:** Zwischen zwei verschiedenen warmen Punkten auf einem elektrischen Leiter entsteht Spannung. Sie kann zum Beispiel einen Sensor antreiben, der Luftfeuchtigkeit oder Erschütterungen misst.

**Biomechanisch/Kinetisch:** Menschen, die sich bewegen, erzeugen permanent Energie. Ein elektromagnetischer Generator wandelt diese Energie in Elektrizität um und treibt damit einen Pulsmesser oder eine Armbanduhr an.

Würde man alle Kabel aneinanderlegen, die in einen Airbus A 380 eingebaut sind, bekäme man die Strecke Freiburg–Dresden zusammen: 530 Kilometer Kupferdraht stecken in jedem der Flugzeuge. In einem Opel Astra sind die Kabelstränge deutlich kürzer, aneinandergefügt ergäben sie drei Kilometer, was immer noch von der Freiburger Innenstadt bis in den Schwarzwald reichen würde.

Prof. Dr. Peter Woias ist kein großer Freund von Kabeln. Der Elektroingenieur leitet den Lehrstuhl „Konstruktion von Mikrosystemen“ am Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) der Universität Freiburg. Er arbeitet an elektronischen Geräten, die sich selbstständig mit Strom aus ihrer Umgebung versorgen: Ohne Kabel, ohne Batterien, angetrieben von Energie, die ansonsten einfach verpuffen würde. Bewegung, Vibration, Temperaturunterschiede oder Strömung liefern geringe Mengen Strom und treiben damit kleine Geräte an. „Micro Energy Harvesting“ heißt dieses Prinzip.

2006 gründete das IMTEK ein Graduiertenkolleg, um „Micro Energy Harvesting“ näher zu untersuchen. In den letzten dreieinhalb Jahren wurde es von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und Industrieunternehmen mit über zwei Millionen Euro unterstützt. Zehn Professoren und 21 Stipendiatinnen und Stipendiaten arbeiten daran mit, vier Studierende bekommen ein Stipendium von Unternehmen aus der Region. Das Kolleg ist eines der wichtigsten Forschungszentren Europas in diesem Bereich. „Wir betreiben Grundlagenforschung, sind aber in der Perspektive anwendungsnah“, erklärt Woias. Das Team des Graduiertenkollegs arbeitet an zehn Lehrstühlen des IMTEK und des Freiburger Materialforschungszentrums. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler tüfteln an Methoden, um Mikroenergie zu erzeugen, umzuwandeln und zu speichern. Die Forschung in allen drei Bereichen sei ungewöhnlich, aber wichtig, erklärt der Ingenieur: „Es ist ein Alleinstellungsmerkmal unseres Graduiertenkollegs.“

*Produktionsstraßen bieten gute Bedingungen für „Micro Energy Harvesting“: Sie strotzen vor Messgeräten und vor Energie, die als Wärme, Vibration oder Luft- und Wasserströmung ungenutzt bleibt.*

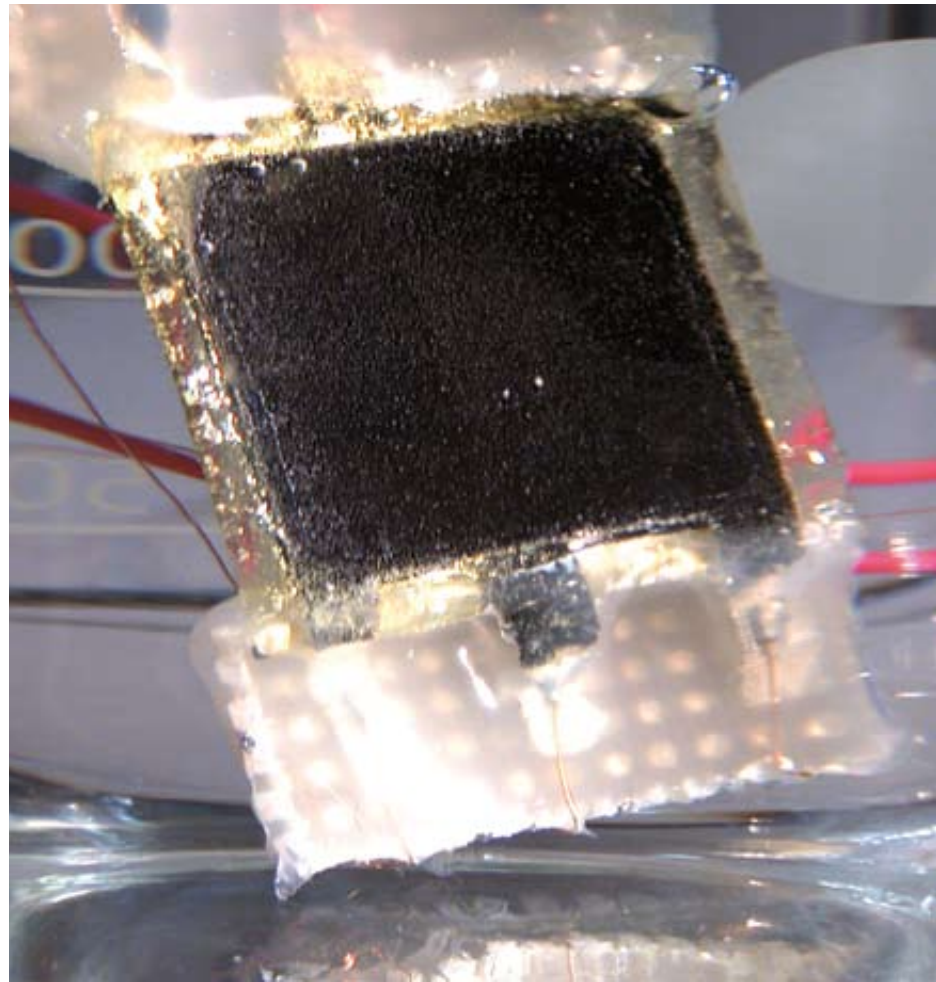
*Foto: Fotolia*

Micro Energy Harvesting lohnt sich dort, wo reichlich Mikroenergie vorhanden ist und viele kleine elektronische Geräte versorgt werden müssen. Automatisierte Produktionsstraßen strotzen vor Messgeräten – und vor verfügbarer Energie, die als Wärme, Vibration oder Luft- und Wasserströmung ungenutzt bleibt. Viele Sensoren hängen an Kabeln, die regelmäßig ausgetauscht werden, auch wenn sie problemlos funktionieren. „Wenn eine Anlage erst mal wegen eines defekten Kabels stillsteht, dann wird es teuer“, sagt Woias.

### **Energie aus Vibration, Bewegung und Temperaturunterschieden**

Geradezu ideale Bedingungen für die Mikroenergie-Ernte herrschen dann, wenn Messgeräte an unzugänglichen Stellen montiert sind, was einen Batteriewechsel oder die Verlegung eines Kabels kompliziert und teuer macht: An hohen Gebäuden, in der Landwirtschaft und in Fabriken überwachen Tausende von Sensoren die Umweltbedingungen. Sie registrieren die Schwingungen an Brücken oder Wolkenkratzern, die Belastung an den Rotoren von Windrädern, den Wasserfluss in Turbinen oder die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Treibhäusern. Das Team um Peter Woias entwickelt energieautarke Sensoren für Straßen- und Eisenbahntunnel. Ihre Energie beziehen die Geräte aus Vibrationen oder dem Temperaturunterschied zwischen der warmen Tunneldecke und der kühleren Tunnelwand. Auch aus Luftströmungen wollen die Wissenschaftler Energie gewinnen.

Eine andere IMTEK-Gruppe hat sich schwer zugängliche Implantate wie Herzschrittmacher vorgenommen. Sie sollen von Batterien unabhängig werden. Eine Bio-Brennstoffzelle mit einer speziellen Beschichtung erzeugt elektrische Energie aus der chemischen Umwandlung von Blutzucker. Noch müssen Patienten alle fünf bis zehn Jahre für den Batteriewechsel unters Messer. „Diese Operation könnte dann entfallen“, erklärt Woias. Die Körperenergie genügt, um den Herzschrittmacher anzutreiben: Er verbraucht etwa vier Mikrowatt pro Stunde, die übliche Menge des Micro Energy Harvesting sind etwa 100 Mikrowatt. Ein weiteres Pilotprojekt an der Universität Freiburg will durch ein Turnschuh-Kraftwerk Jogger anzapfen. Piezokristalle sollen Energie für Sportlerelektronik liefern, zum Beispiel für einen Schrittzähler oder einen Pulsmesser, die etwa fünf Mikrowatt Strom verbrauchen.



*Bio-Brennstoffzellen (Länge: 25 Millimeter) sollen zukünftig schwer zugängliche Implantate wie Herzschrittmacher batterieless mit Energie versorgen. Dadurch könnte Patienten die Operation für den Batteriewechsel erspart werden.*

Auch Autos bieten gute Voraussetzungen für die Mikroenergie-Ernte. 40 Sensoren und Steuergeräte sind auf engem Raum verkabelt: Temperatur- und Ölmesser, Servolenkung, Eiswarner, Antiblockiersystem, Klimaanlage. „Im Motorraum gibt es genug Wärme und Vibration, die man für das Micro Energy Harvesting nutzen könnte“, sagt der Ingenieur. Vorteil: Autos würden günstiger und sparsamer. Drei Kilometer Kupferdrähte seien schwer und teuer, zudem würden sie im Billiglohn-Akkord zusammengefügt – für maximal 70 Cent pro Stunde. Kabel-Pannen kommen häufig vor, dann muss der ganze Strang aufgedröseln und untersucht werden. „Das kostet richtig Geld“, sagt Woias. Beim Bau des Airbus A 380 hätten Kabelprobleme dazu geführt, dass das Großflugzeug erst mit jahrelanger Verzögerung ausgeliefert werden konnte.

## „Allein die Lichtschalter sind teuer und aufwändig“

Wohnhäuser sind vergleichsweise unkompliziert verkabelt, haben aber ebenfalls Potenzial für das Micro Energy Harvesting. „Allein die ganzen Lichtschalter“, stöhnt Woias, „sind teuer und aufwändig. Auch wenn wir das seit 100 Jahren so gewohnt sind.“ Sie hängen an in den Wänden eingelassenen Stromkreisen. Wird ein Schalter gedrückt, schließt sich der Kreis, und das Licht geht an. Die Alternative braucht weder Kabel noch Batterie: Der Fingerdruck auf einen Lichtschalter liefert einem darin eingebauten Generator genug Energie, um ein Funksignal an eine Steuereinheit zu schicken. Die knipst dann das Licht an. „Dadurch können Sie den Schalter überall hinkleben“, freut sich der Wissenschaftler, „auch an ein Fenster oder an einen Baum.“ 150 Meter weit reicht das Funksignal. Sorgen um Elektrosmog müsse sich aber niemand machen: Dafür seien die Energiemengen zu gering und zu kurz – ein Funksignal dauert etwa zwei Millisekunden.

Während der stromerzeugende Turnschuh noch Fiktion ist, wurden vom selbstversorgenden Lichtschalter bereits 100.000 Stück verkauft. Weitere Produkte sind reif für die Serienproduktion, etwa Reifendrucksensoren. „In den USA gibt es seit ein paar Jahren ein Gesetz, das vorschreibt, dass in jeden Reifen ein Sensor montiert werden muss“, erzählt Peter Woias. Grund dafür sei eine Unfallserie, bei der Autofahrer wegen schlecht gewarteter Reifen gestorben sind. Die neue Vorschrift ist eine Goldgrube für Micro Energy Harvesting: Die Druckmesser sind an die Innenseite der Reifen geklebt oder auf die Felgen montiert. Noch werden sie mit Batterien betrieben. Nachteil: Die Akkus versagen bei extremer Hitze oder Kälte, und der Batteriewechsel ist aufwendig, weil der komplette Reifen ausgebaut und neu ausgewuchtet werden muss. Ein Pluspunkt für den autarken Sensor, der sich im Autorad durch Vibration und Drehung bestens selbst mit Energie versorgen könnte. „Der mechanische Impuls an der Unterseite, wo der Reifen abplattet, kann in einen Stromstoß umgewandelt werden“, erklärt der Elektroingenieur. „Diese Technik wird bald serienreif sein.“

### Die Zukunft: Handys auf dem Fahrrad aufladen

Noch in diesem Monat entscheidet die DFG, ob sie das Freiburger Graduiertenkolleg weiter fördern wird. Peter Woias ist zuversichtlich, da die Mikroenergie-Ernte immer stärker wahrgenommen werde. Bei der Hannover Messe im April 2010, die sich als „Impulsgeber für die maßgeblichen Entwicklungen der Zukunft“ bezeichnet, gab es mehrere Workshops zu dem Thema.

Die Möglichkeiten scheinen unbegrenzt, viele sinnvolle Anwendungen sind geplant: Ein Handy-Hersteller hat die Idee, eine Ladestation für Fahrräder zu entwickeln. Durch die Energie des Dynamos könnte man morgens auf dem Weg zur Arbeit noch eben das Mobiltelefon aufladen. Im Handel gibt es bereits einen Duschkopf, der dem Wasserfluss durch eine Turbine Energie abzapft, um das Duschwasser zu beleuchten: heißes Wasser rot, kaltes blau. Für alle, die es etwas weniger sinnvoll mögen.



*Prof. Dr. Peter Woias (48) ist Sprecher des Graduiertenkollegs „Micro Energy Harvesting“. Studium und Promotion absolvierte der gebürtige Passauer an der TU München, aus Neugier an der Stromproduktion wurde er Elektroingenieur. Zwischen 1995 und 2000 arbeitete er am Fraunhofer-Institut für Festkörpertechnologie und an dessen Nachfolgeinstitut, dem Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme. Im Juli 2000 kam Peter Woias an die Universität Freiburg. Er leitet am Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) den Lehrstuhl „Konstruktion von Mikrosystemen“. Foto: Sasse*

# Kleiner Baustein mit großer Wirkung

Freiburger und Basler Neurobiologen identifizieren neue Proteinuntereinheit der GABA<sub>B</sub>-Rezeptoren

*von Wibke Hartleb*



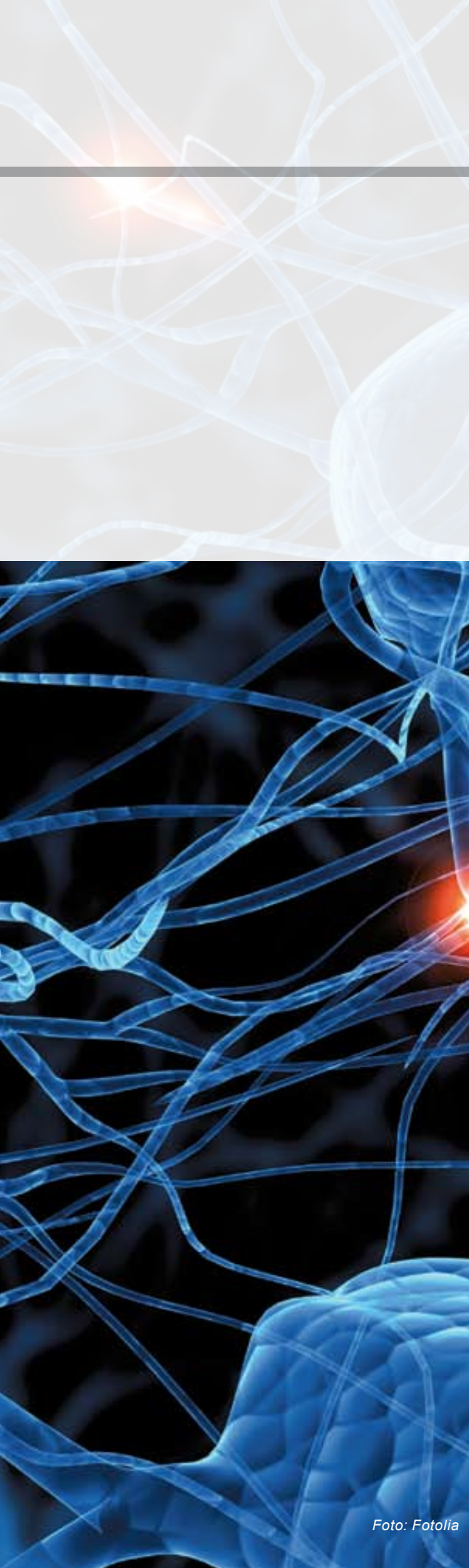


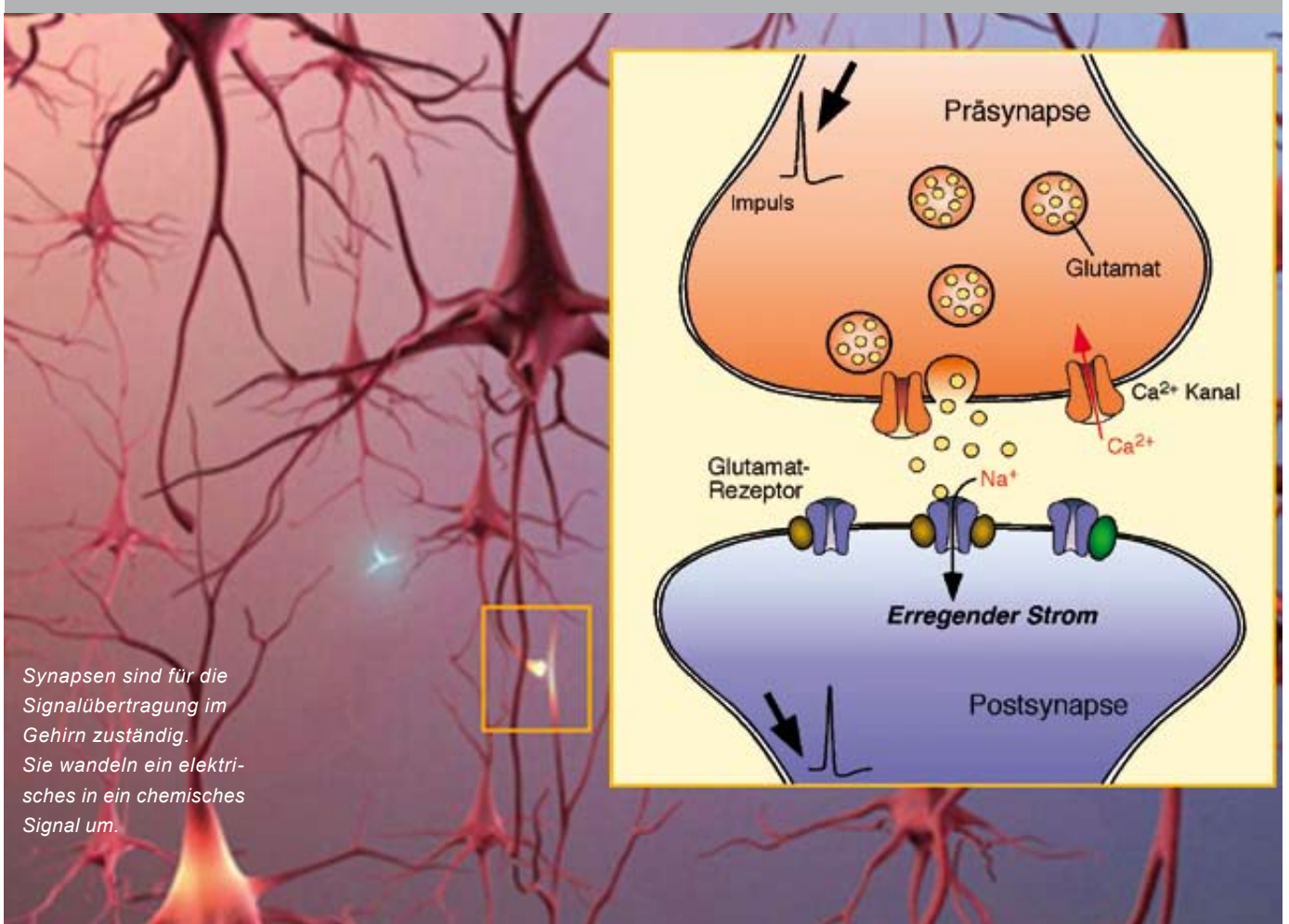
Foto: Fotolia



**Prof. Dr. Bernd Fakler** (46) studierte Medizin und Physik an der Albert-Einstein-Universität Ulm. Er ist Professor am Institut für Physiologie II und gehört dem Centre for Biological Signalling Studies (BIOSS) an. Sein Forschungsinteresse gilt der Proteomik. Er erforscht die Aufgaben und Funktionsweisen von Membranproteinen, besonders von Ionenkanälen und GPCRs, die eine wichtige Rolle bei der zellulären Signalübertragung im zentralen Nervensystem spielen.  
Foto: Kunz

Sie sind einer der wichtigsten hemmenden Botenstoffe des zentralen Nervensystems: Gamma-Amino-Buttersäuren (GABA). Ihre Rezeptoren regulieren die Aktivität der Nervenzellen. Freiburger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Professor Dr. Bernd Fakler, Leiter des Instituts für Physiologie II, und Prof. Dr. Bernhard Bettler vom Departement Biomedizin der Universität Basel haben jetzt einen bisher unbekanntem Bestandteil des GABA<sub>B</sub>-Rezeptors identifiziert: die so genannten KCTD-Proteine. Das ist die Abkürzung für „Kalium channel tetramerization domain“.

Sie bestimmen die Funktionsweise und Wirkung des GABA<sub>B</sub>-Rezeptors. Damit sind sie für therapeutische Zwecke, wie zum Beispiel für Medikamente zur Behandlung von Multipler Sklerose, Krampfanfällen oder auch psychischen Krankheiten, von Interesse. „Unser Ziel ist es, herauszufinden, wie schnelle Signalübertragungen im Gehirn funktionieren“, sagt Fakler. „Proteinnetzwerke spielen bei der Signalübertragung eine wichtige Rolle. Wir haben den GABA<sub>B</sub>-Rezeptor als ein Element eines Netzwerks herausgegriffen.“ Der Rezeptor besteht aus verschiedenen Eiweißbausteinen, die einen Komplex bilden. Um welche Proteinbausteine es sich dabei genau handelt, wurde bisher nicht geklärt.



Die Signalübertragung im Gehirn verläuft über Synapsen, also Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen. Diese Kontaktstellen wandeln elektrische Impulse einer signalgebenden Nervenzelle in chemische um. Die Empfänger-Nervenzellen können diese chemischen Signale verstehen und umsetzen, zum Beispiel in eine Muskelkontraktion.

#### Die Balance ist entscheidend

Die Synapsen bestehen aus zwei Seiten, einer prä- und einer postsynaptischen. Auf der präsynaptischen Seite enthalten kleine Bläschen, so genannte Vesikel, einen chemischen Botenstoff, der als Transmitterprotein bezeichnet wird. Erzeugt eine Nervenzelle einen elektrischen Impuls, ein Aktionspotential, kommt es an der Grenzfläche der präsynaptischen Seite zur Aktivierung von Kalzium-Kanälen. Dadurch steigt die Konzentration von Kalzium in der Zelle, und die Vesikel setzen Transmitter frei. Auf der gegenüberliegenden postsynaptischen Seite bindet der Transmitter an einen Rezeptor.

Der hemmende Botenstoff GABA bindet an seine spezifischen Rezeptoren, die GABA-Rezeptoren – vergleichbar einem Schlüssel, der nur in das dazugehörige Schloss passt. Im Gehirn gibt es zwei Arten von Neurotransmittern: exzitatorische, also erregende, und hemmende, das heißt inhibitorische Botenstoffe. Die exzitatorischen Transmitter sorgen für Erregung und führen zum Beispiel zu einem erhöhten Herzschlag oder einer Muskelkontraktion. Zu den wichtigsten erregenden Transmittern gehört Glutamat, das als Geschmacksverstärker in vielen Lebensmitteln enthalten ist. „Inhibitorische Transmitter sind unter anderem für die Kontrastverstärkung und das Ausfiltern von äußeren Einflüssen verantwortlich“, erklärt Fakler. Zu den wichtigsten hemmenden Botenstoffen gehört GABA.

„Die Balance zwischen den exzitatorischen und den inhibitorischen Systemen ist extrem wichtig“, sagt der Wissenschaftler. „Wenn die Inhibitorik wegfällt, können im Gehirn Krampfanfälle, also Epilepsie, psychische Krankheiten, Suchtphänomene und Halluzinationen die Folge sein.“

*Doppelt sieht man besser: Mit einem Hybrid-massenspektrometer wurden die Proteinbausteine der GABA<sub>B</sub>-Rezeptoren aufgeklärt.*

*Foto: Kunz*



Der von Freiburger Forscherinnen und Forschern untersuchte GABA<sub>B</sub>-Rezeptor gehört zu den G-Protein-gekoppelten Rezeptoren, kurz GPCRs, was für Guanosin triphosphat (GTP)-bindende Proteine steht. GTP spielt bei der Energieübertragung aus Kohlenhydraten im Körper eine wichtige Rolle. Der GABA<sub>B</sub>-Rezeptor hemmt die Nervenzellen längerfristig. Daher aktivieren zum Beispiel Medikamente zur dauerhaften Behandlung von Krampfanfällen den GABA<sub>B</sub>-Rezeptor. „Der GABA<sub>B</sub>-Rezeptor kann die Transmitterfreisetzung regeln“, erklärt Fakler. Die Hemmung erfolgt sowohl auf prä- als auch auf postsynaptischer Seite. Bindet der Transmitter an den Rezeptor, schließen sich auf der präsynaptischen Seite die Kalzium-Kanäle und die Vesikel setzen weniger Transmitter frei. Auf der postsynaptischen Seite verhindert der Transmitter nach der Bindung an den Rezeptor, dass ein elektrischer Impuls entsteht. Daher bleiben die Nervenzellen im Ruhezustand.

### Neue Proteinuntereinheit entschlüsselt

Da die Funktionsweise des GABA<sub>B</sub>-Rezeptors von seiner Struktur abhängt, untersuchten die Forscher sowohl die Zusammensetzung des Rezeptors als auch seine direkte Umgebung mittels der Massenspektrometrie – einem Verfahren, mit dem sich das Verhältnis der Teilchenmasse zu deren Ladung bestimmen lässt. „Das Schwierige bei der Strukturaufklärung von Membranproteinen ist, dass man sie reinigen und in einem Lösungsmittel lösen muss, ohne die Wechselwirkungen mit den Umgebungsmolekülen zu zerstören“, erläutert der Forscher. Die Aufklärung der Umgebung des GPCRs sei wichtig, weil sie Rückschlüsse auf die Wirkung von Medikamenten zulasse. Bisher waren Wissenschaftler der Meinung, dass der GABA<sub>B</sub>-Rezeptor aus den zwei Untereinheiten GABA<sub>B</sub>R1 und GABA<sub>B</sub>R2 aufgebaut sei. Beide Einheiten zusammen bilden ein Dimer.

Ausgehend von diesem Modell wird angenommen, dass der Transmitter nur an GABA<sub>B</sub>R1 bindet. GABA<sub>B</sub>R1 kann allerdings nicht mit dem für die Signalübertragung wichtigen G-Protein wechselwirken. Die GABA<sub>B</sub>R2-Untereinheit ist zwar mit dem G-Protein verbunden, allerdings nicht aktiv, da der Transmitter nicht an diesen Teil bindet. Die Wissenschaftler haben entdeckt, dass der GABA<sub>B</sub>-Rezeptor nicht nur aus einem Dimer besteht, sondern aus vier Untereinheiten, also ein Tetramer bildet. In diesem Tetramer ist jede der beiden R2-Untereinheiten mit einem weiteren Tetramer, dem KCTD-Tetramer, verbunden.

**„Unsere Arbeit liefert eine weitere Grundlage, gegen diese Krankheiten vorzugehen“**

„Die KCTD-Tetramere bestimmen den Zeitverlauf der G-Protein-Signalgebung und damit die pharmakologischen Eigenschaften der GABA<sub>B</sub>-Rezeptoren“, erklärt Fakler die Funktionsweise. Da es verschiedene KCTD-Proteine gibt, ist die Aktivierung der G-Proteine vom jeweiligen KCTD-Typus abhängig.

### Der Grundstein zur Heilung

„Die Entdeckung der Struktur des GABA<sub>B</sub>-Rezeptors stellt die bisherigen Vorstellungen über das Aussehen der GPCRs in Frage“, fasst Faklers zusammen. „Wir haben die Hoffnung, dass durch die Strukturaufklärung gezielt gewebespezifische Medikamente entwickelt werden können.“ Zur Therapie von Suchterkrankungen, bei der Behandlung von Multipler Sklerose und der Spastik bei Rückenmarksverletzungen werden Medikamente eingesetzt, die GABA<sub>B</sub>-Rezeptoren aktivieren. „Insofern liefert unsere Arbeit eine weitere Grundlage, gegen diese Krankheiten vorzugehen“, sagt Fakler. Da im menschlichen Genom sehr viele GPCRs vorkommen, die Ansatzpunkte von Medikamenten sind, führt die Entdeckung der spezifischen Untereinheiten zu mehr möglichen Zielproteinen für Arzneimittel.

# Demokratie, Studiengebühren und Bauernmärkte

Deutsche und indonesische Studierende erforschen in Uni-Tandems  
die eigene und fremde Kultur

von Anita Ruffer





## „Blick ‚von Außen‘ und Blick ‚von Innen‘ fügen sich zu einem neuen Ganzen“

Seit kolonialen Zeiten herrscht das Klischee, dass es westliche Völkerkundlerinnen und Völkerkundler seien, die exotische Kulturen in „unterentwickelten“ Weltgegenden unter die Lupe nähmen. Wie musste es da einen gestandenen Professor der Freiburger Universität irritieren, als er eines Tages von einer indonesischen Studentin zum Gegenstand ihrer ethnologischen Forschung auserkoren wurde. Sie möge doch in den Schwarzwald gehen und dort die Sitten und Gebräuche der Bauern studieren, soll er ihr Anliegen abgeschmettert haben. Seine empörte Reaktion offenbart der Freiburger Professorin Dr. Judith Schlehe „ein völlig veraltetes Verständnis von Ethnologie“. Nicht nur was das hierarchische Denken, sondern auch, was die Themen der Forschung angehe.

Die Leiterin des Instituts für Völkerkunde/ Ethnologie an der Universität Freiburg hat anderes im Sinn: „Wir müssen systematisch die interkulturelle Teamarbeit auf gleicher Augenhöhe mit Ethnologinnen und Ethnologen aus jenen Ländern aufbauen, über die geforscht wird.“ Seit 25 Jahren bezieht sich diese Zusammenarbeit für Judith Schlehe in erster Linie auf Indonesien. Von der „zweiten Lebenswelt“, die sie sich durch ihre Forschung aufgebaut hat, zeugen nicht zuletzt die dekorativen Schattenfiguren, die eine Wand ihres Büros zieren.

### **Ganz schön exotisch: Fahrrad fahren und auf Bauernmärkten einkaufen**

Was die „gleiche Augenhöhe“ angeht, ist das Freiburger Institut für Völkerkunde weit gekommen: Deutsche Ethnologiestudierende reisen

nicht nur nach Indonesien und bilden mit einer einheimischen Kollegin oder einem Kollegen ein Tandempaar, um gemeinsam an einem Thema zu forschen. Im Folgejahr kehrt sich die Konstellation um, und die indonesischen Studierenden kommen nach Freiburg, um mit dem „Blick von außen“ südbadische Eigenheiten zu betrachten, die reichlich Exotisches zutage fördern: Warum fährt man in einem hoch entwickelten Land wie Deutschland noch so viel Fahrrad? Und warum lieben die Freiburger ihre Bauernmärkte, obwohl sie es sich doch leisten könnten, im Supermarkt einzukaufen, in dem die Produkte perfekt verpackt sind?

Als „weltweit einmalig“ schätzt Schlehe die von ihr kreierte Lehrforschungs-Tandemprojekte ein, die den Studierenden ein Übungsfeld für die spätere Feldforschung bieten und in denen sich der „Blick von außen“ und der „Blick von innen“ zu einem neuen Ganzen fügen. Und bei denen die angehenden Ethnologen sich auf die fremde Sprache und das fremde Land einlassen und dabei tief in das Alltagsleben eintauchen. Die Gastgeber üben hingegen ganz nebenbei, die eigene Gesellschaft mit dem „Blick des Fremden“ zu sehen. Damit spiegeln die Lehrforschungsprojekte die kulturelle Dynamik wider, die aus dem Prozess der Globalisierung entsteht, wenn sich „Eigenes und Fremdes permanent brechen“, sagt die Wissenschaftlerin. Lokale Formen dieses Prozesses seien überall zu finden. „Es geht uns weder um eine kulturelle Vereinheitlichung noch um das Reproduzieren und Festschreiben kultureller Grenzen, sondern um die Synergieeffekte und die Mischformen, die bei kulturellen Grenzüberschreitungen entstehen.“



Die Universitäten Freiburg und Yogyakarta betreiben Forschung auf Augenhöhe.  
Das schärft auch den Blick auf das eigene Land: Warum fahren Freiburger Rad statt Auto?  
Foto: iStockphoto

Was 2004 mit 16 Tandempaaren begann, ist inzwischen aus Kapazitätsgründen auf acht geschrumpft. Auch die Forschungsthemen sind nicht mehr völlig frei wählbar. „Die große Vielfalt der Themen – von ethnisch gemischten Paaren über ausländische Künstler bis zur globalen Punkszene – war für uns schwer zu handhaben“, erklärt Judith Schlehe. Inzwischen werden Themen vereinbart, aus denen ein Spektrum einzelner

hat sich an Freiburger Schulen umgesehen und festgestellt, dass kritisches Denken und Wissensvermittlung weit mehr Raum einnehmen als in seiner Heimat. An islamischen, christlichen und staatlichen Gymnasien herrsche ein umfassenderes Bildungsideal, das die gesamte Persönlichkeit im Blick habe und sich der Vermittlung moralischer Werte verpflichtet fühle. Die indonesischen Partner waren sehr erstaunt darüber, dass soziales Engagement in Deutschland – anders als in ihrem Heimatland – kein verpflichtender Teil des Studiums ist, sondern allenfalls freiwillig geleistet wird. Und dann auch weniger um der guten Tat willen, sondern weil es im Lebenslauf Pluspunkte gibt.

„Dass staatliche Universitäten grundsätzlich liberaler seien als die islamischen, erwies sich als Klischee“

Aspekte erforscht wird. Eines davon: ein Vergleich der akademischen Kulturen in beiden Ländern. Zwar sei davon auszugehen, dass die Bildungshintergründe der Forschungspartner vergleichbar seien und die Ethnologen an der in Indonesien renommierten Gadjah Mada Universität auf einem ähnlichen wissenschaftlichen Niveau arbeiten wie die der Albert-Ludwigs-Universität. Doch „sind es unterschiedliche kulturelle Kontexte, die die Produktion von Wissen prägen“, ist sich die Ethnologin sicher und wird darin von den Forschungsergebnissen ihrer Studierenden bestätigt.

Die Unterschiede fangen schon bei den höheren Schulen und Gymnasien an, den Zugangsvoraussetzungen des akademischen Systems. Der indonesische Student Adityo Nugroho etwa

#### **Demokratie – ein selbstverständliches Privileg?**

In Sachen demokratischer Mitbestimmung an den Universitäten hofften die indonesischen Studierenden einiges von den Partnern aus der „alten Demokratie“ Deutschland zu lernen – und wurden gründlich enttäuscht. Schließlich hatten die Studierenden in Indonesien kräftig dabei mitgewirkt, den Diktator Suharto 1998 zum Rücktritt zu zwingen. Geradezu niederschmetternd muss für sie das Desinteresse der deutschen Kommilitoninnen und Kommilitonen an universitären Gremien gewesen sein. Ist Demokratie für sie so selbstverständlich, dass sie sich überhaupt nicht mehr darum bemühen müssen?



*Deutsch-indonesisches Tandem in Sachen Forschung: Die Studentinnen Nuki Mayasari und Mirjam Lucking (von links) untersuchten gemeinsam, wie Wissen in islamischen Mädcheninternaten in Yogyakarta vermittelt wird.*

Im Gegenzug haben die deutschen Studierenden herausgefunden, dass in Indonesien die Kommerzialisierung von Bildung viel stärker vorangeschritten ist als hierzulande: Je mehr Studiengebühren die Eltern zahlen, desto höher ist das Niveau an den mehr als 100 Universitäten von Yogyakarta. Dass staatliche Universitäten grundsätzlich liberaler seien als die islamischen, die sich auf dem Vormarsch befinden, erwies sich allerdings als ein Klischee.

Den indonesischen Universitäten sind internationale Kooperationen willkommen, weil sie in der Regel viel Geld hereinbringen, mit dem die Uni-professoren ihr eigenes geringes Gehalt aufbessern können. Um überleben zu können, unterrichten viele an mehreren Universitäten gleichzeitig und suchen sich ein Zubrot, wo es geht. Judith Schlehe wundert es deshalb gar nicht, dass es bei einem so anstrengenden Arbeitsalltag manchmal so lange dauert, bis eine ihrer E-Mails beantwortet wird. Dass viele Kooperationen internationaler Organisationen scheitern, hängt für sie mit dem Nichtwissen über diese Hintergründe zusammen – das können auch Trainingsprogramme im Schnellverfahren nicht beseitigen.

Ihre eigenen Studierenden werden auf ihren Forschungsaufenthalt nicht nur mit methodischen und ethnologischen Seminaren vorbereitet, sondern müssen auch die Sprache lernen, bevor sie für sechs Wochen nach Indonesien aufbrechen. Ein Durchlauf mit allen Vorbereitungen, mit

Besuch und Gegenbesuch dauert jeweils zwei Jahre. Mit dem guten alten Magisterstudium sei das noch leichter zu organisieren gewesen als in Zeiten von Bachelor und Master. Zurzeit ist Schlehe dabei, das Modell auf Promotionsniveau auszuweiten. Weil ihre Lehrforschungsprojekte in keine Förderschublade passen, sei es sehr mühsam, Geldgeber dafür zu finden. Momentan werde sie vom Deutschen Akademischen Austausch Dienst (DAAD) unterstützt. Die indonesischen Teilnehmerinnen und Teilnehmer bekommen ihren vierwöchigen Aufenthalt bezahlt, weil er nicht nur für die „Kinder der Reichen“ erschwinglich sein soll.

#### **Publikationen**

Die Forschungsergebnisse der deutschen und indonesischen Studierenden werden teilweise in der englisch-indonesischen Publikation „Towards Global Education“ veröffentlicht.

Einige Publikationen finden sich auch in den „Freiburger Ethnologischen Arbeitspapieren“:  
**[www.ethno.uni-freiburg.de](http://www.ethno.uni-freiburg.de)**



*Prof. Dr. Judith Schlehe (53) studierte Ethnologie, Soziologie und Psychologie an der Universität Freiburg. Heute ist die Professorin Leiterin des Freiburger Instituts für Völkerkunde/Ethnologie. Nach Lehraufträgen, Gastdozenturen und Vertretungsprofessuren im In- und Ausland erfolgte 2002 der Ruf nach Freiburg. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören kulturelle Globalisierung und Popularisierung von Kultur, Geschlechterforschung, religiöse Dynamik und Naturkatastrophen aus ethnologischer Sicht sowie „Westens“ in Asien.*

# Signale der Zukunft

Auf der Suche nach neuen Wegen, Medikamente direkt im Zielgewebe freizusetzen

von Eva Opitz



**F**orschungen zur Gentherapie bekommen immer wieder hohe Aufmerksamkeit, wenn sich ein Durchbruch abzuzeichnen scheint. Misserfolge haben jedoch gezeigt, dass die Gentherapie und der Einsatz von so genannten Genfähren, also genetisch veränderten Viren, schlecht zu kontrollieren sind. Freiburger Forscherinnen und Forscher der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Wilfried Weber, der bundesweit erste Professor für Synthetische Biologie, haben einen anderen Weg gewählt. Der Wissenschaftler, der im Rahmen des Freiburger Exzellenzclusters BIOS an Signalwegen von Zellen forscht, baut seine Untersuchung auf Ergebnissen der Signalforschung und der Materialwissenschaften auf. Er sucht eine von der Gentherapie unabhängige Alternative zur Freisetzung von Medikamenten im menschlichen Körper.

Ziel der Forschung ist es, die Nebenwirkungen durch Freisetzung des Medikaments direkt im Zielgewebe so gering wie möglich zu halten und das umliegende Gewebe zu schonen. Für zukünftige Patienten bedeutet diese Form der Medikamenten-Entwicklung zum Beispiel bei Anti-Tumormedizin eine Reduktion von Spritzen und eine Steigerung der Lebensqualität, wenn durch die Aktivierung eines kleinen Signalmoleküls die richtige Dosis freigesetzt wird.

So entstand die erste Studie auf dem Gebiet der Signalforschung. Sie demonstriert, wie im Körper ein Medikamentendepot angelegt wird, das bei Bedarf die nötige Menge an Arzneien liefert. „Wir suchen Materialien, die auf Tumorsignale reagieren und das Medikament im Tumor und nicht im übrigen Körper freisetzen“, sagt Weber. Zellen mit veränderten Stoffwechselprodukten

oder Konzentrationen können auf Tumore hinweisen. Mögliche Indikatoren sind zum Beispiel erhöhte Milchsäure- oder niedrigere pH-Werte. „In der Tumorzelle finden wir eine von gesunden Zellen völlig unterschiedliche Physiologie“, sagt Weber.

#### **Lösung à la Käse-Spaghetti**

Hintergrund des erfolgreichen Ansatzes sind Experimente mit Hybridgelen als Depot für Wirkstoffe zur Bekämpfung der Krebserkrankung. Als Hybride werden sie bezeichnet, weil die Gele zu einem Teil aus dem chemischen Polymer Polyethylenglykol (PEG) bestehen, das schon seit Jahren im klinischen Einsatz ist und sich als gut verträglich herausgestellt hat. Neben dem Polymer, einer aus vielen gleichen Teilen aufgebauten Verbindung, bestehen die Gele aus biologischen Sensoren. Das sind Proteine, die in Gegenwart eines Tumorsignals die Faltung ihrer Eiweißketten und damit die ganze Struktur des Gels verändern. „Die Proteine sind an die fadenartige Struktur des PEG gekoppelt und halten es zusammen“, erklärt Weber. Vergleichbar sei das mit einem Teller Spaghetti, bei dem die einzelnen Nudeln mit geschmolzenem Käse zusammengehalten würden. „Indem die Fäden durch das Protein fest zusammenkleben, haben wir eine Struktur, in der Wirkstoffe wie Zystostatika, die das Zellwachstum hemmen, eingeschlossen werden können“, sagt der Forscher.

#### **Sesam öffne dich!**

„Im Moment nehmen wir Modellproteine als Sensoren, die wir leicht nachweisen können und die ähnliche Eigenschaften haben wie die Proteine,



**Prof. Dr. Wilfried Weber** (36) ist 2009 als erster W3-Professor für Synthetische Biologie an das Freiburger Zentrum für Biologische Signalstudien (BIOSS) und an das Institut für Biologie II berufen worden. Nach dem Studium der Biochemie in Tübingen und dem trinationalen Studiengang an der Ecole Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg (ESBS) schied er seine Diplomarbeit bei Novartis. Er wurde in Zürich an der ETH promoviert und habilitierte sich 2009 am Department of Biosystems Science and Engineering der ETH Zürich. Die Studie der Arbeitsgruppe von Wilfried Weber ist gerade in der Fachzeitschrift „Advanced Functional Materials“, einer der renommiertesten Zeitschriften der Materialwissenschaften, veröffentlicht worden.

## „Die Kunst ist, die Medikamentenwirkung zu erhöhen und die Nebenwirkungen zu senken“

die wir schließlich verwenden.“ Die so kombinierten Gele werden im Experiment direkt in den Tumor gespritzt oder zirkulieren im Blut. Da sie nur auf Tumorsignale reagieren, können sie im gesunden Gewebe wenig Schaden anrichten. Der Wirkstoff löst sich nicht in gesundem Gewebe auf. Experimente im Tiermodell haben gezeigt, dass es möglich ist, die Gele so einzustellen, dass sie nur auf Signalmoleküle reagieren, ähnlich wie sie der Tumor liefert. Wie bei einem „Sesam öffne dich“ gehen die „Fäden“ auseinander und geben den Wirkstoff frei. „Es war das erste Mal, dass gezeigt werden konnte: Es ist möglich, über das von außen gegebene Signal eines Moleküls einen Wirkstoff aus einem so zusammengesetzten Gel freizusetzen.“ Darüber hinaus verwendeten die Forscher physiologisch sinnvolle Konzentrationen des Signalmoleküls. Es habe schon vorher von anderen Arbeitsgruppen einige Studien mit Signalmolekülen gegeben, erklärt Weber, aber die Konzentrationen seien so hoch gewesen, dass sie im Körper nicht hätten angewendet werden können: „Massive Nebenwirkungen waren zu befürchten.“

### Das Gel der nächsten Generation

Im ersten Schritt verwenden die Forscher in dem Gel Proteine als Sensoren, die in der Zelle als ursprüngliche biologische Zellbestandteile vorkommen. Sie nehmen das Signal auf und

lassen den Wirkstoff frei. Die Sensoren sind im Lauf der Evolution so entwickelt worden, dass sie die Signale in physiologischen Konzentrationen wahrnehmen können. Im nächsten Schritt der Forschung soll das Signalmolekül nicht von außen dazugegeben werden, sondern die Gele sollen in der Lage sein, mit ihren Sensoren körpereigene Signale zu identifizieren, wie sie Tumorzellen von sich geben.

In Zusammenarbeit mit dem neuen Freiburger Zentrum für interaktive Werkstoffe und bioinspirierte Technologien (FIT) werden die Grundlagen für eine ganze Generation von Materialien geschaffen. Sie reagieren auf biologische Signale und setzen in der Verknüpfung mit ihnen Wirkstoffe frei. „Vor uns liegt viel Grundlagenforschung mit den einzelnen Bausteinen der Materialien: wie die Sensoren und die Polymere modifiziert werden müssen und wie beide zusammen agieren können“, sagt Weber. „Das sind viele offene Fragestellungen aus der Polymerchemie und aus der Biochemie. Die Kunst ist, die Medikamentenwirkung zu erhöhen und die Nebenwirkungen zu senken.“



## Die Druckerei.

*Seit 1846*

### Wir bieten an

Individuelle Beratung  
Satz/Gestaltung  
Farbproofherstellung  
Bogen-Offsetdruck  
Weiterverarbeitung  
Versand/Logistik

### Wir stellen her

Zeitschriften  
Kalender/Broschüren  
Kataloge/Preislisten  
Werbedrucksachen  
Prospekte/Flyer  
Bücher/Plakate  
Geschäftsberichte



### So erreichen Sie uns

Unterwerkstraße 9  
79115 Freiburg  
Telefon 07 61/ 45 15 - 30 00  
Telefax 07 61/ 45 15 - 30 09  
E-Mail [info@poppen-ortmann.de](mailto:info@poppen-ortmann.de)  
Internet [www.poppen-ortmann.de](http://www.poppen-ortmann.de)

**Poppen & Ortmann**  
Druckerei und Verlag KG

### Impressum

uni'wissen, das Forschungsmagazin  
der Universität Freiburg, erscheint zweimal jährlich.

### Herausgeber

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,  
der Rektor, Prof. Dr. Hans-Jochen Schiewer

### Verantwortlich für den Inhalt:

Rudolf-Werner Dreier,  
Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

### Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Ralf von den Hoff, Archäologie  
Prof. Dr. Ralf Reski, Biologie  
Prof. Dr. Sabine Rospert, Medizin  
Prof. Dr. Margit Zacharias, Mikrosystemtechnik

### Redaktion

Eva Opitz (Redaktionsleitung)  
Benjamin Klaußner  
Rimma Gerenstein

### Anschrift der Redaktion

Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Albert-Ludwigs-Universität  
Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg  
Telefon 0761/203-4301  
Fax 0761/203-4278  
E-Mail [uniwissen@pr.uni-freiburg.de](mailto:uniwissen@pr.uni-freiburg.de)

### Auflage

8.000 Exemplare

### Fotos

Soweit nicht anders gekennzeichnet  
von der Universität. Foto Titelseite: NASA

### Konzeption, Gestaltung, Herstellung

qu-int werbeagentur, Alter Zollhof, Freiburg  
[www.qu-int.com](http://www.qu-int.com)

### Anzeigen

Daniel Adler, qu-int werbeagentur  
Telefon 0761/28288-16  
Fax 0761/28288-69  
E-Mail [uni-publikationen@qu-int.com](mailto:uni-publikationen@qu-int.com)

### Druck- und Verarbeitung

Poppen & Ortmann, Freiburg

### Vertrieb

Stabsstelle Öffentlichkeitsarbeit

### Jahresabonnement

Euro 6,-  
Für Mitglieder der Universität ist der Bezug  
von uni'wissen kostenlos.

ISSN 0947-1251

© Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redaktion. Namentlich gekennzeichnete Artikel geben nicht unbedingt die Meinung des Verlags oder der Redaktion wieder. Die Redaktion behält sich vor, eingesandte Artikel zu redigieren und zu kürzen. uni'wissen erscheint online unter [www.wissen.uni-freiburg.de](http://www.wissen.uni-freiburg.de)

Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Albert-Ludwigs-Universität  
Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg  
Telefon 0761/203-4301  
Fax 0761/203-4278  
E-Mail [uniwissen@pr.uni-freiburg.de](mailto:uniwissen@pr.uni-freiburg.de)  
[www.wissen.uni-freiburg.de](http://www.wissen.uni-freiburg.de)