

# uni wissen 02 2012

Das Forschungsmagazin der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg | [www.wissen.uni-freiburg.de](http://www.wissen.uni-freiburg.de)



## Cappuccino, Pommès und Romantik

Konsumkultur und urbaner Lebensstil in China



Erfassen und versorgen: Soziologen analysieren den Einsatz moderner Technik in der Notfallmedizin



Erkennen und verstehen: Informatiker bringen Computern bei, Objekte auf Videobildern zu finden



Ergänzen und veredeln: Biochemiker verleihen Pflanzen die Fähigkeit, sich selbst mit Stickstoff zu versorgen

UNI  
FREIBURG



<sup>1)</sup> Voraussetzung: Bezügekonto (ohne Mindesteingang)



# 0, Euro Bezügekonto für den öffentlichen Sektor

Seit ihrer Gründung als Selbsthilfeeinrichtung für Beamte im Jahre 1921 betreut die BBBank erfolgreich Beamtinnen, Beamte und Beschäftigte im öffentlichen Dienst und ist mit einem besonderen Produkt- und Dienstleistungsangebot bis heute bevorzugter Partner der Beschäftigten des öffentlichen Sektors.

## 0,- Euro Bezügekonto

• Kostenfreie Kontoführung (ohne Mindesteingang) und BankCard und viele weitere attraktive Extras!

### + Günstiger Abruf-Dispokredit<sup>1)</sup>

• Bis zum 6-Fachen Ihrer Nettobezüge • Abruf ganz nach Ihrem Bedarf

### + 0,- Euro Depot<sup>1)</sup>

• Einfacher und kostenfreier Depotübertrag

**BBBank-Filialen in Freiburg und Emmendingen**, Kartoffelmarkt 2, 79098 Freiburg, Tel. 07 61/3 19 19-0  
 Carl-Kistner-Str. 21, 79115 Freiburg-Haslach, Tel. 07 61/45 33 41-0 • Günterstalstr. 17-19, 79102 Freiburg,  
 Tel. 07 61/7 90 88-0 • Kappler Str. 4, 79117 Freiburg-Littenweiler, Tel. 07 61/6 11 17-0 • Karl-Friedrich-Str. 4,  
 79312 Emmendingen, Tel. 0 76 41/92 69-0



Die Bank für Beamte  
und den öffentlichen Dienst

# Turmretter gesucht!

Helfen Sie mit,  
den Freiburger  
Münsterturm  
für unsere Enkel  
zu erhalten.

Unterstützen  
Sie die Sanierung  
des Freiburger  
Münsterturms.

Konto 18 18 18 18  
BLZ 680 501 01  
Sparkasse Freiburg

Konto 37 37 37 37  
BLZ 680 900 00  
Volksbank Freiburg eG



www.schleiner.de

Jetzt helfen: [www.wir-bauen-mit.de](http://www.wir-bauen-mit.de)  
oder Tel. 07 61/3 34 32

[www.wir-bauen-mit.de](http://www.wir-bauen-mit.de)

Jetzt erkennen Sie in der bunten Welt der Druckfarben Zuverlässigkeit und Qualität schon auf den ersten Blick. Denn wenn es um die Herstellung Ihrer Druckprodukte geht, bedeutet "technology by Heidelberg", dass Sie sich bei uns immer auf die Vorteile unserer starken Partnerschaft mit der Heidelberger Druckmaschinen AG verlassen können. Wir haben in neueste Drucktechnologien investiert. Dies könnte auch für Sie interessant sein. Wenn Sie für Ihre

Aufgaben Lösungen suchen, Anfragen haben oder sich einfach unverbindlich informieren wollen, rufen Sie uns an.

Hofmann Druck  
Emmendinger Buch- & Offsetdruckerei  
Jürgen Hofmann  
Am Weiherschloss 8  
79312 Emmendingen  
Telefon 07641 9222-0  
Telefax 07641 9222-80  
[hofmann-druck@t-online.de](mailto:hofmann-druck@t-online.de)  
[www.hofmann-druck.de](http://www.hofmann-druck.de)

technology by  
**HEIDELBERG**

**HOFMANN DRUCK**

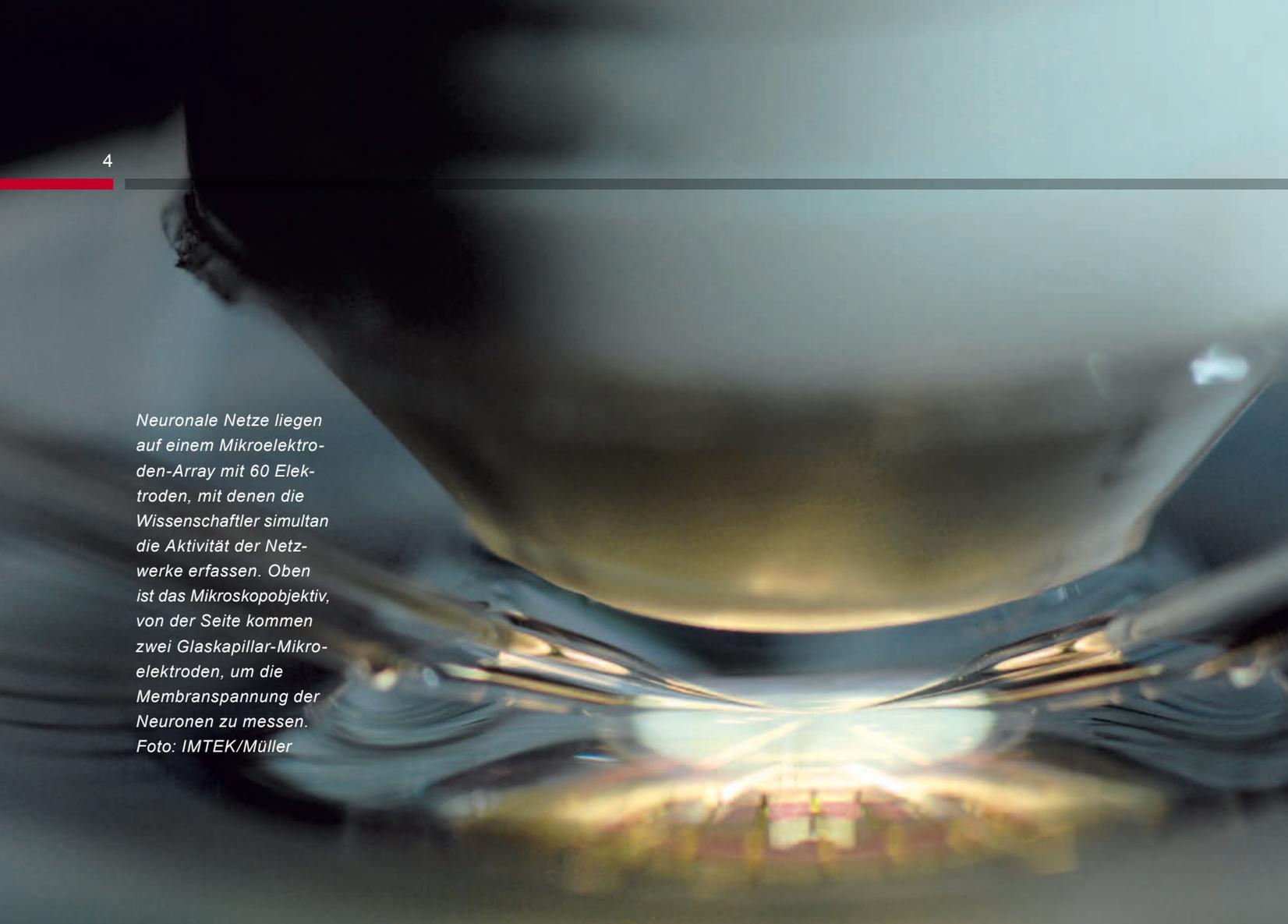
## Jahresbericht 2012: Hinter Zahlen stehen Menschen

Die positive Entwicklung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg lässt sich nicht ausschließlich in Zahlen fassen. Denn hinter den Zahlen stehen Menschen und ihre Leistungen. Dennoch will die Universität den Versuch wagen, die Entwicklung in kompakter Form zu zeigen. Der herausnehmbare Jahresbericht enthält die Daten und Fakten des vergangenen Jahres (1.10.2011 – 30.9.2012).

An dieser Stelle sollte der Jahresbericht 2012 der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg zu finden sein. Der Bericht ist auch auf den Internetseiten der Universität abrufbar:  
[www.uni-freiburg.de/go/jahresbericht\\_2012](http://www.uni-freiburg.de/go/jahresbericht_2012)

### Inhalt

<b>Nervenfeuer im Versuch</b>	4
<i>Der Neurowissenschaftler Ulrich Egert experimentiert mit künstlichen Netzwerken von Nervenzellen</i>	
<b>Der Technik den Puls fühlen</b>	8
<i>Stefan Kaufmann untersucht aus soziologischer Perspektive den Einsatz von Handcomputern in der Notfallmedizin</i>	
<b>Erkenntnis 2.0</b>	12
<i>Der Informatiker Thomas Brox bringt Computern bei, wie sie selbstständig lernen, Objekte auf Bildern zu finden</i>	
<b>Stickstoff aus der Wurzel</b>	16
<i>Mit seiner Forschung an Enzymen kann der Biochemiker Oliver Einsle die Landwirtschaft klimaverträglicher machen</i>	
<b>Kleiner Kaffee, großer Effekt</b>	20
<i>Die Sinologin Lena Henningsen erforscht die gegenwärtige Konsumkultur in den Metropolen Chinas</i>	
<b>Brokkoli stärkt Abwehrkräfte</b>	24
<i>Freiburger Forscher haben entdeckt, welche Rolle Substanzen aus Kohlgemüse für das Immunsystem im Darm spielen</i>	
<b>Mit Baumrinde gegen Kälte</b>	28
<i>Die Materialwissenschaftlerin Marie-Pierre Laborie entwickelt biobasierte Kunststoffe</i>	
<b>Stammzellen lassen Pflanzen sprießen</b>	32
<i>Der Biologe Thomas Laux entschlüsselt genetische Mechanismen, die erklären, wie Pflanzen wachsen und reifen</i>	
<b>Großer Denker, neuer Blick</b>	36
<i>An der Universität Freiburg entsteht ein Basiskommentar zum Gesamtwerk des Philosophen Friedrich Nietzsche</i>	



*Neuronale Netze liegen auf einem Mikroelektroden-Array mit 60 Elektroden, mit denen die Wissenschaftler simultan die Aktivität der Netzwerke erfassen. Oben ist das Mikroskopobjektiv, von der Seite kommen zwei Glaskapillar-Mikroelektroden, um die Membranspannung der Neuronen zu messen.  
Foto: IMTEK/Müller*

# Nervenfeuer im Versuch

Der Neurowissenschaftler Ulrich Egert experimentiert mit künstlichen Nervennetzwerken, um die Regeln ihrer Interaktion zu erforschen

von Eva Opitz

## „Wir wissen, dass die Neuronen miteinander in der ihnen eigenen Art der Kommunikation reden, aber wir haben leider kaum Informationen, worüber sie sprechen“

Wie das Gehirn mit seinen Nervenzellen Informationen präsentiert, bearbeitet und weiterleitet, ist bislang weitgehend ein Geheimnis, das Neurowissenschaftlerinnen und Neurowissenschaftler gerne lüften würden. „Wir wissen, dass die Neuronen miteinander in der ihnen eigenen Art der Kommunikation reden“, sagt Prof. Dr. Ulrich Egert vom Lehrstuhl für Biomikrotechnik an der Technischen Fakultät der Universität Freiburg, „aber wir haben leider kaum Informationen, worüber sie sprechen.“ Egert ist Ko-Sprecher des neuen Exzellenzclusters BrainLinks-BrainTools. In dem Zentrum für Neurotechnologie an der Albert-Ludwigs-Universität erforschen Wissenschaftler aus der Biologie, Medizin, Mikrosystemtechnik und Informatik die Funktion des menschlichen Gehirns und entwickeln Systeme, die direkt mit ihm kommunizieren: Schnittstellen, die Patientinnen und Patienten ermöglichen, über ihr Nervensystem technische Geräte zu steuern, sowie Implantate, die sich selbst mit Energie versorgen, krankheitsbedingte Veränderungen in der Hirnaktivität erkennen und diesen entgegenwirken.

### Viele Einflüsse wirken zusammen

Was die annähernd 100 Milliarden Nervenzellen eines menschlichen Gehirns gemeinsam haben, ist die meist gut beschriebene Dynamik ihrer individuellen Aktivität. Sie beruht auf Veränderungen der elektrischen Spannung über der Zellmembran, die einen Nervenimpuls erzeugt, der auch als Aktionspotenzial oder als Spike bezeichnet wird. Schwierig werde es, von der Biophysik der einzelnen Zelle, die relativ gut verstanden sei, auf Netzwerke in verschiedenen räumlichen Ebenen umzusteigen, sagt Egert. „Wir können mit Elektroden die Spikes einzelner Neurone messen, aber wir sehen nicht, was Netzwerke daraus machen.“ Drei Zellen wären schon ein kleines Netzwerk, und das nächstgrößere

bestünde aus vielleicht 300 Nervenzellen. Bei drei Zellen ist die Reizweiterleitung über die so genannten Axone, kabelartige Leitungssysteme, zu den Synapsen, den Übertragungsspalten zwischen einzelnen Neuronen, noch überschaubar. Zum Bedauern der Neurowissenschaftler lassen sich jedoch aus dem Verhalten der kleinen Netzwerke kaum Informationen zu der Frage ableiten, wie sich ein weitaus größeres Netzwerk verhalten würde.

Im Gehirn können 10.000 Synapsen auf eine Pyramidenzelle, die in der Großhirnrinde am häufigsten vorkommende Nervenzellart, kommen. Das heißt, der Einfluss einer Nervenzelle auf die nächste ist ein ganz anderer als in einem Dreier-Netzwerk, in dem es nur die Verbindung zu zwei weiteren Einzelzellen gibt. „Die einzelne Zelle verhält sich in diesem großen Verbund völlig anders“, sagt Egert. „Je größer er wird, desto weniger darf ich davon ausgehen, dass alle Zellen sich gleich verhalten.“ Unterschiedliche Zelltypen kommen ins Spiel. Die einen sind hemmend, die anderen erregend, mit vielen Untertypen. Eingehende Impulse von außen, von der Hirnrinde, von anderen Teilen des Gehirns und lokale Rückkopplungen machen das System immer komplizierter. Die nachgeschaltete Zelle übersetzt außerdem den Spike in ein Stromsignal, das jedoch völlig anders aussieht als das Aktionspotenzial der Ursprungszelle. Aus der Form des Spikes lassen sich daher kaum Erkenntnisse gewinnen „Auf was es dann ankommt, ist die zeitliche Abfolge der Spikes“, sagt Egert. „Ich brauche also ein Gerät, das misst, welche Zelle wann gefeuert hat.“

Wissenschaftler begegnen dieser Herausforderung, indem sie das Ganze zunächst auf kleinere Einheiten herunterbrechen. Ein Ansatz besteht darin, die elektrophysiologische Aktivität, also die Aktivität der Aktionspotenziale, in

## „Wir gehen erst einmal von grundlegenden Eigenschaften aus, um zu erforschen, wie allgemeine Regeln von Nervennetzwerken funktionieren“

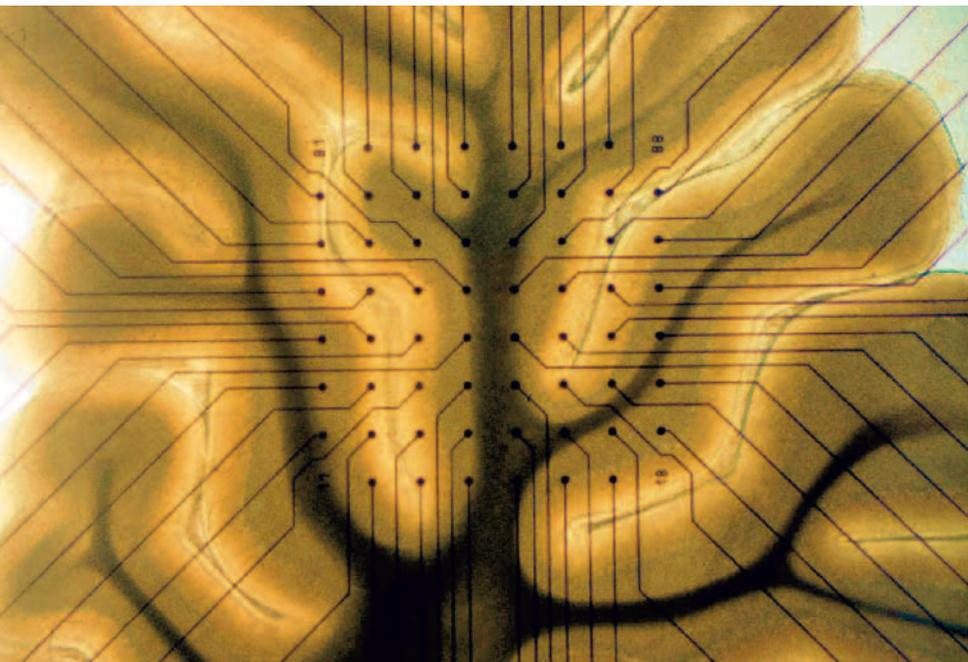
Zellkulturen mit circa 25.000 Nervenzellen anzuschauen und die Interaktion zwischen den Zellen zu vermessen. Eine Möglichkeit, sich diesem komplizierten Geschehen anzunähern, sind so genannte Mikroelektroden-Arrays, mit denen aktive Netzwerke untersucht werden können. Bis zu 1.000 außen liegende Kontaktpunkte werden über Leitungen zu Mikrometer großen Messpunkten in der Mitte der wenige Zentimeter großen, quadratischen Gefäße geführt. Jeder Messpunkt entspricht einer Elektrode, die Kontakt zu einem oder mehreren Neuronen hat. Deren Signal wird von einem Verstärker erfasst. „Wir brauchen eine gute Stichprobe von Neuronen, die wir simultan messen können“, sagt Egert. „Mit den Arrays bekommen wir eine hohe Orts- und Zeitaufösung.“ Die Frage zu einem solchen Netzwerk lautet: Welche Dynamik stellt

sich da von selbst ein? „Die Neuronen in den Arrays bilden spontan Gruppen und schaffen lokale Zentren“, sagt Egert. „Die Rolle der Struktur für die Funktion ist unklar. Im menschlichen Gehirn haben wir zum Beispiel Schichtungen, in denen es unterschiedliche Zelltypen gibt, die wiederum auf ganz bestimmten Ebenen sitzen.“ An Vogelhirnen lässt sich jedoch zeigen, dass hohe Leistungen möglich sind, ohne dass die Neuronen geschichtet sind.

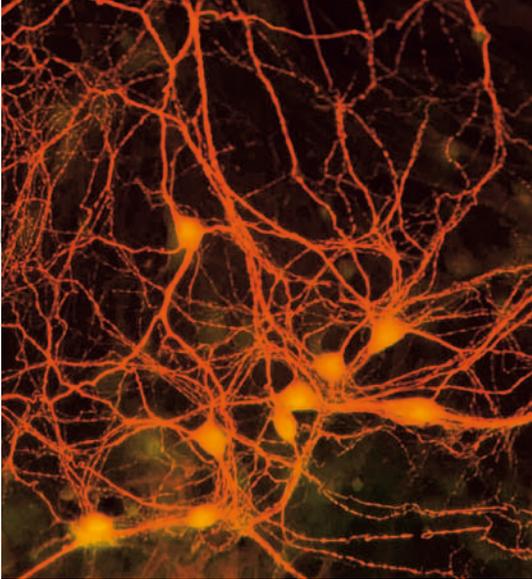
### Simulation am Computer

Wenn Neurowissenschaftler den Computer einsetzen, um solche Netzwerke zu simulieren, lassen sie daher die Geometrie eines Netzwerks zunächst außen vor. „Es gibt verschiedene Arten, solche Nervennetze zu bauen“, sagt Egert. „Wir gehen erst einmal von grundlegenden Eigenschaften aus, um zu erforschen, wie allgemeine Regeln von Nervennetzwerken funktionieren, die wir dann in der Simulation am Computer realistisch wiedergeben können.“ Wenn die Simulationen gelingen, dienen sie wiederum als Ausgangspunkt für neue Experimente. Für realitätsnahe Simulationen braucht man jedoch zahlreiche konkrete Daten, die experimentell bestimmt werden müssen. Welche biophysikalischen Eigenschaften sollen die Neuronen haben, welche Frequenz wird bei der Stimulation gewählt, wo genau setzt sie an, in welcher Phase, wie oft und wie lange wird das Netzwerk stimuliert?

Die Forscherinnen und Forscher untersuchen zudem, wie sich ein eingehender Reiz in den unterschiedlichen Netzwerkarchitekturen ausbreitet, Geht er von einem Punkt gleichmäßig über das ganze Gehirn aus, feuern Nervenzellen eines Bereichs gleichzeitig und verbrauchen ihre Ressourcen, ähnlich wie bei einem epileptischen Anfall. „Wir brauchen sich unterscheidende Bereiche, die auf unterschiedliche Erregungsvarianten reagieren, die eine gewisse Robustheit haben und in



*Schnitt eines Gehirns auf einem Mikroelektroden-Array: Die Forscher reizen verschiedene Bereiche und messen, wie die Nervenzellen darauf reagieren.*



Ausschnitt aus einer Zellkultur, die mit Antikörpern gegen ein neuronenspezifisches Protein gefärbt wurde. Zu sehen sind die Zellkörper mit den dicken „Knoten“ und die Fortsätze der Neuronen. Kaum sichtbar befinden sich im Hintergrund ein paar nicht neuronale Zellen.

denen nicht alle Ressourcen sofort verbraucht werden.“ Das entspreche etwa der Situation in geclusterten Netzwerken. Die Aktivität der Neuronen in einem solchen künstlichen Netzwerk lasse sich in der Simulation funktional ähnlich zu einem biologischen Netzwerk gestalten. „Es sieht so aus, als ob wir ein Chaos durch ein weiteres Chaos ersetzen würden“, sagt Egert, „aber das stimmt nicht.“ Im Elektroden-Array lassen sich die Erregungspfade, die unterschiedlich laufen, genau verfolgen und auch beeinflussen.

Die Epilepsie-Forschung liefert den Neurowissenschaftlern einen Zugang zu dem biologischen Netzwerk im Gehirn von Säugetieren. In epileptischen Arealen des Gehirns finden Umstrukturierungen statt, die Nervennetzwerke dauerhaft verändern. Die mesiale Temporal-lappenepilepsie, die im Hippocampus auftritt, lässt sich mit Medikamenten oft nicht ausreichend behandeln. Chirurginnen und Chirurgen entfernen daher häufig das Gewebe, um zu unterbinden, dass eine Erregung entsteht. Beim Versuch, die Erregung in Hirnschnitten aus einem veränderten Abschnitt des Hippocampus nachzubilden, scheiterten die Wissenschaftler zunächst. „Wir konnten im dem Gewebeschnitt keine Epilepsie hervorrufen.“ Bei weiteren Versuchen mit epileptischen Mäusen fanden sie jedoch heraus, dass bei den Mäusen verschiedene in ihrer Interaktion gestörte Unternetze im Hippocampus und im so genannten entorhinalen Cortex in einer Rückkopplungsschleife miteinander reagieren.

„Wir wissen noch nicht, wie genau das zu Epilepsie führt, finden es aber systematisch nur bei epileptischen Tieren“, sagt Egert. In Zellkulturen entdecken die Wissenschaftler ähnliche Vorgänge: spontane Übergänge zwischen normaler und extrem starker Aktivität wie im epileptischen System auch. „Wir fragen uns jetzt, welche Gemeinsamkeiten diesen beiden Prozessen zugrunde

liegen und ob wir sie reparieren können. Wir hoffen, dass wir einen neuen Ansatz gefunden haben, um zu intervenieren, aber wir wissen noch nicht, ob wir damit erfolgreich sein werden.“ Zusammen mit Prof. Dr. Oliver Paul und Dr. Patrick Ruther aus der Mikrosystemtechnik haben die Neurowissenschaftler neue Mikroelektroden definiert, die verschiedene Bereiche des entorhinalen Cortex und des Hippocampus gleichzeitig erfassen. „Wir arbeiten jedoch parallel mit unseren Zellkulturen, in denen wir die einzelnen Nervenzellen ohne allzu großen Aufwand stimulieren und Netzwerke verändern können. Da haben wir ganz andere Zugangs- und Manipulationsmöglichkeiten als im Tierversuch.“

#### Zum Weiterlesen

Froriep, U. P./Kumar. A./Cosandier-Rimélé, D./Häussler, U./Kilias, A./Haas, C. A./Egert, U. (2012): Altered theta coupling between medial entorhinal cortex and dentate gyrus in temporal lobe epilepsy. In: *Epilepsia*, doi: 10.1111/j.1528-1167.2012.03662.x

Frey, U./Egert, U./Heer, F./Hafizovic, S./Hierlemann, A. (2009): Microelectronic system for high-resolution mapping of extracellular electric fields applied to brain slices. In: *Biosensors and Bioelectronics* 24/7, S. 2191–2198.



Prof. Dr. Carola Haas vom Universitätsklinikum Freiburg, die mit Prof. Dr. Ulrich Egert im Exzellenzcluster BrainLinks-BrainTools zusammenarbeitet, erklärt auf der Internetplattform Surprising Science ihre medizinische Grundlagenforschung zum Thema Epilepsie, zu der die Mikrosystemtechnik wichtige Beiträge leistet.



**Prof. Dr. Ulrich Egert** hat Biologie in Tübingen und Durham/England studiert. Seine Doktorarbeit über die Entwicklung von Dünnschicht-Elektroden-Arrays und ihre Anwendung in der Neurophysiologie schrieb er am Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Institut der Universität Tübingen. 2005 wurde er an der Fakultät für Biologie der Universität Freiburg habilitiert. 2008 baute er an der Technischen Fakultät mit acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern den Lehrstuhl Biomikrotechnik auf, der heute 15 Mitarbeiter zählt. Darüber hinaus ist er Koordinator des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsschwerpunkts „Bernstein Fokus: Neurotechnologie Freiburg/Tübingen“, Direktor am Bernstein Center Freiburg und Ko-Sprecher des neuen Exzellenzclusters BrainLinks-BrainTools. Zusammen mit seinen Mitarbeitern möchte er die Grundlagen der Aktivitätsdynamik in neuronalen Netzen besser verstehen und klären, in welchem Verhältnis sie zu Krankheiten des Nervensystems und ihrer Behandlung stehen.



# Der Technik den Puls fühlen

Der Soziologe Stefan Kaufmann analysiert die Chancen und Gefahren des technischen Fortschritts bei der Erstversorgung von Unfallopfern

*von Holger Lühmann*

*Simulierter Flugzeugabsturz: Die Einsatzleitung wird mithilfe der neuen Kommunikationstechnik schnell und zuverlässig über freie Kapazitäten in den umliegenden Krankenhäusern informiert. Dadurch können die Verletzten schneller auf die Kliniken verteilt werden.*



## „Mit der Studie erforschen wir die Funktionalität und Alltagstauglichkeit von neuen Technologien in der Notfallmedizin“

Ultraschallgeräte untersuchen organisches Gewebe, Cardio-Screener überprüfen den Herzrhythmus, Kernspintomografen scannen die Körper der Patientinnen und Patienten: Der Einsatz moderner Computertechnik hat die medizinische Diagnostik verbessert und das Gesundheitswesen vorangebracht. Nun halten neue Technologien auch Einzug in die Erste-Hilfe-Ambulanz. Ein digitaler Handcomputer könnte mithilfe einer internetbasierten Software die Sofortrettung bei Großunfällen revolutionieren. Doch der Einsatz des Geräts birgt auch Risiken. Ein Team von Soziologinnen und Soziologen um Prof. Dr. Stefan Kaufmann von der Universität Freiburg fragt in einer Feldstudie nach den berufsbedingten und gesamtgesellschaftlichen Folgen des medizintechnischen Fortschritts.

Am Frankfurter Flughafen ist eine Passagiermaschine bei der Landung auf einen kleineren Jet geprallt. Neben den Wracks liegen verletzte Fluggäste, Trümmerteile erschweren die Bergung. Feuerwehrleute befreien die Opfer mit Schweißgeräten und Winkelschleifern. Grobe Gewalt trifft auf sensible Technik. Denn die herbeigeeilten Rettungskräfte führen so genannte Personal Digital Assistants (PDAs) mit sich, internetfähige Kleincomputer in der Größe eines Taschenrechners. Mit ihnen sollen sich Patientendaten wie Pulsschlag, Atmung und Grad der Verletzung schnell erfassen und speichern lassen. Die Geräte übertragen die erhobenen Daten sofort an

die Einsatzleitung. Schneller als bisher sollen Informationen über die Situation am Unfallort an einem zentralen Ort zusammenlaufen.

### Übung mit mehr als 1.000 Beteiligten

Doch noch klappt nicht alles reibungslos, denn der Umgang mit dem Instrument ist neu und ungewohnt. Bedienungsfehler haben allerdings keine negativen Konsequenzen – noch nicht. „Das Flugzeugunglück war nur ein simuliertes Katastrophenszenario“, erklärt Stefan Kaufmann. „Mehr als 1.000 Feuerwehrleute, Sanitäter und Laienschauspieler haben an dieser in ihrer Dimension bislang einmaligen Notfallübung teilgenommen.“ Sie war die erste Großübung im Rahmen des Forschungsprojekts „Sofortrettung bei Großunfall“ (SOGRO), in dem seit Anfang 2009 neue Strategien in der Erstversorgung von Unfallopfern untersucht werden. „Mit der Studie erforschen wir die Funktionalität und Alltagstauglichkeit von neuen Technologien in der Notfallmedizin“, sagt Kaufmann, einer der Partner des Projekts, das vom Deutschen Roten Kreuz in Frankfurt geleitet wird. „Wir Soziologen nehmen vor allem die Veränderungen auf der Rettungs- und Führungsebene bei Großschadenslagen in den Blick.“ Anfang 2012 folgte dazu ein etwas kleinerer Übungseinsatz in einer Frankfurter Sporthalle. Dort wurde der Einsturz einer Zuschauertribüne mit 250 Opfern nachgestellt.

„Wir müssen die Möglichkeit eines unerwarteten Defekts der Handcomputer und die Gefahr eines Zusammenbruchs der Internetverbindung berücksichtigen“



*Diese Handcomputer sollen künftig bei Rettungseinsätzen dafür sorgen, dass alle Informationen schneller als bisher an einem zentralen Ort zusammenlaufen.*

Frankfurter Rettungsdienste, Notärzte, Feuerwehrleute und Krankenhäuser haben bei beiden Übungen den Ernstfall und den Einsatz der modernen Handcomputer getestet. Kaufmann hat die inszenierten Noteinsätze mit seinen Mitarbeitern Nils Ellebrecht und Markus Jenki sowie einem Team von Studierenden wissenschaftlich begleitet. Um die Abläufe am Übungsort aufzuzeichnen, wurden an strategisch wichtigen Positionen stationäre Kameras installiert. Beim zweiten Unglückszenario hat Kaufmann zusätzlich sechs seiner Helferinnen und Helfer mit Helmvideorekordern ausgestattet, um insbesondere die Reaktionen und Handlungsanweisungen der Führungspersonen festzuhalten. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung in Auftrag gegebene SOGRO-Projekt wird wegen des methodisch neuen Ansatzes von Soziologen und Notfallmedizinern aus aller Welt mit Interesse verfolgt. „Unter den Beobachtern waren Vertreterinnen und Vertreter aus Singapur, Israel und den Vereinigten Staaten“, berichtet Kaufmann.

Die Untersuchung zeigt beispielhaft, welche Anwendungsfelder die Soziologie in der Praxis bietet. „Die Videoaufzeichnungen helfen uns bei der Analyse von Handlungsmustern im Rettungsdienst“, erklärt Kaufmann. „Eine Erkenntnis ist, dass die Handcomputer zwar die Lagebeurteilung beschleunigen, dafür aber an anderen Stellen Verzögerungen in den Arbeitsabläufen eintreten. Solche Folgeprobleme neuer Technologien müssen noch behoben werden.“ In methodischer Hinsicht ist der Einsatz der PDAs eine große Hilfe, da Kaufmann für die Auswertung seiner Studie auf die Daten des digitalen Lageerfassungssystems zurückgreifen kann. So liefern die Handcomputer nützliches Forschungsmaterial, etwa die Eingabezeiten von Patientendaten. Mit ihnen lässt sich minutiös nachverfolgen, wo Fehler oder Staus in den Arbeitsabläufen auftreten. Ziel ist eine verbesserte Zeitökonomie, da es bei Rettungseinsätzen oft auf Sekunden ankommt.

#### **Die Testphase hat begonnen**

Nach den beiden Notfallübungen werden die PDAs nun in einer Testphase erprobt. Einige Rettungswagen in Frankfurt haben das Gerät an Bord. Falls es zu einem Großunfall mit vielen Verletzten kommen sollte, könnten Rettungsteams das internetbasierte System sofort nutzen. Im Ernstfall soll es nicht nur die Abläufe an Unfallorten besser strukturieren, sondern auch die Verteilung von Verletzten auf umliegende Krankenhäuser beschleunigen. Noch am Einsatzort



Bei zwei Großübungen mit mehreren Hundert Beteiligten in Frankfurt haben Rettungsdienste und Feuerwehr die Handcomputer bereits getestet.

soll die Rettungsleitstelle die Daten der Unfall- opfer mit den Kapazitäten nahe gelegener Klini- ken abgleichen können. „Der Vorteil ist, dass Krankenhäuser Informationen über ihre Auslas- tung laufend in das Netzwerk einspeisen“, sagt Kaufmann. „Dadurch lässt sich schnell erkennen, wo welche Unfallopfer eingeliefert werden können und wo nicht.“ Trotz dieser Vorteile für die Lageerfassung und Aufgabenabstimmung am Unfallort sieht Kaufmann einige Aspekte der Technologie kritisch: „Wir müssen die Mög- lichkeit eines unerwarteten Defekts der Handcom- puter und die Gefahr eines Zusammenbruchs der Internetverbindung berücksichtigen.“

Einige Abläufe der bisherigen Rettungspraxis bleiben jedoch unverändert: Die Einsatzkräfte teilen die Opfer nach wie vor anhand der Dring- lichkeit der Behandlung in Gruppen auf. Die Verletzten werden mit verschiedenfarbigen Markierungen versehen: Rote Kennzeichen etwa signalisieren eine schwere, grüne eine leichte Verletzung. Doch statt der so genannten Verletz- tenanhängekarten, auf denen bislang Verletzungen, Lebenszeichen oder verabreichte Medikamente notiert wurden, soll es künftig nur noch Arm- bänder mit einem Speicherchip geben. „Dieser enthält alle Patientendaten und ist an weite- ren Transportstationen und im Krankenhaus beschreibbar und auslesbar“, erklärt Kaufmann. Nachfolgende Teams sollen so besser erkennen, wie dringend die Patienten abzutransportieren und zu behandeln sind. „Das bisherige Verfahren mit Anhängerkarten erwies sich oft als umständ- lich. Zudem waren die Einträge durch Regen oder hektische Beschriftung der Karten manch- mal unleserlich.“ Kaufmann hält das neue Erfas- sungs-system aus diesen Gründen zwar für wünschenswert, aber: „Erste Analysen zeigen uns, dass die Sortierung von Opfern auch mithilfe der PDAs nicht fehlerfrei verläuft. So haben Rettungskräfte Unversehrte gelegentlich als Schwerverletzte klassifiziert, wodurch die Lage- erfassung verfälscht wurde.“ Entscheidend bleibe qualifiziertes Personal, betont Kaufmann.

Genau Befunde werden wegen der großen Datenmenge erst nach Abschluss von SOGRO im Frühjahr 2013 erwartet. Dann will Kaufmann weiter an Fragen der zivilen Sicherheitsfor- schung arbeiten. Dafür war er bereits 2009 mit Kolleginnen und Kollegen anderer Fächer an der Gründung des interdisziplinären Netzwerks „Centre for Security and Society“ beteiligt. Juristen, Soziologen, Informatiker und Wissenschaftler weiterer Disziplinen der Universität Freiburg plan- nen dort gemeinsam zukunftsweisende Projekte, die die zivile Sicherheit in den Blick nehmen. „Dies ist ein noch wenig untersuchtes Forschungs- feld“, sagt Kaufmann. „Sicherheitsfragen wurden bis zu den politischen Transformationsprozessen der 1990er Jahre vor allem von militärischen Aspekten dominiert. Nach dem Ende des Kalten Krieges jedoch müssen wir uns zunehmend auch Problemen der zivilen Sicherheit nähern.“

#### Zum Weiterlesen

Blum, S./Kaufmann, S. (2012): Governing (in)security. The rise of resilience. In: Gander, H.-H./Perron, W./Poscher, R./Riescher, G./ Württemberg, T. (Hg.): Resilienz in der offenen Gesellschaft. Symposium des Centre for Security and Society. Baden-Baden, S. 235–257.

Ellebrecht, N./Latasch, L. (2012): Vorsichtung durch Rettungsassistenten auf der Großübung SOGRO MANV 500. Eine vergleichende Analyse der Fehleinstufungen. In: Notfall und Rettungsmedizin 1, S. 58–60.

Ellebrecht, N./Jenki, M. (2011): Beobachten – Filmen – Befragen: Soziologische Technik- und Organisationsforschung bei Notfallübungen. In: Im Einsatz 4/2011, S. 20–25.



**Prof. Dr. Stefan Kaufmann** ist seit April 2012 außer- planmäßiger Professor am Institut für Soziologie der Albert-Ludwigs-Universität. Nach dem Studium in Frei- burg und Berlin begann er seine wissenschaftliche Laufbahn 1997 im Sonder- forschungsbereich „Identi- täten und Alteritäten“ an der Universität Freiburg. Nach Abschluss des Pro- jekts im Jahr 2002 lehrte und forschte der Soziologe als Gastwissenschaftler an anderen Hochschulen – unter anderem als Stipen- diat der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz und zuletzt als Fellow am Zentrum für interdisziplinäre Forschung in Bielefeld. Kaufmann leitet seit 2007 mehrere Forschungsprojekte zum Thema zivile Sicherheit und war im Sommer 2012 an der Gründung des Freibur- ger Centre for Security and Society beteiligt. Der fächerübergreifende Kom- petenzverbund geht Fragen der zivilen Sicherheit nach.

# Erkenntnis 2.0

*Aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet: Videos liefern dem Computer eine große Menge von Einzelbildern, die Variationen eines Objekts zeigen. Damit lernt er, wie zum Beispiel ein Schaf aussieht – und eignet sich die Fähigkeit an, auch auf anderen Bildern Schafe zu finden.*

Wenn Menschen Dackel, Dobermänner oder Dänische Doggen sehen, wissen sie: Das alles sind Hunde – egal, aus welcher Perspektive betrachtet, und unabhängig davon, ob die Tiere gerade fressen, schlafen oder einem Stöckchen nachjagen. Computer haben dieses Wissen nicht. Für sie sind Bilder nichts anderes als lange Zahlenketten, die sich aus Punkten mit verschiedenen Farbwerten zusammensetzen. Prof. Dr. Thomas Brox vom Institut für Informatik der Universität Freiburg will Computern beibringen, die Bedeutung dieser abstrakten Daten zu erfassen: „Das Ziel ist ein automatisch ablaufender Lernprozess, bei dem Computer Objekte auf Bildern finden und ihre Suche selbstständig verbessern.“

Damit Computer Objekte erkennen, müssen sie mit deren Variationen zurechtkommen – und das auf zwei Ebenen. Beispiel Mensch: Schon

## Der Informatiker Thomas Brox bringt Computern bei, wie sie mithilfe von Videos selbstständig lernen, Objekte auf Bildern zu finden

von Nicolas Scherger



eine Person hat viele Erscheinungsbilder, etwa wenn sie unterschiedliche Positionen einnimmt, ihre Kleidung wechselt oder von verschiedenen Seiten betrachtet wird. Kommen weitere Personen hinzu, wird die Vielfalt der Erscheinungsformen vollkommen unübersichtlich. Dennoch muss der Computer diese Variationen erfassen, wenn er Menschen zuverlässig erkennen soll. „Alle Möglichkeiten auswendig lernen kann er nicht, dafür bräuchte er unendlich viele Trainingsbeispiele“, sagt Brox. Stattdessen müsse der Computer lernen zu abstrahieren: „Er muss Merkmale finden, die allen Menschen gemeinsam sind.“ Dabei handelt es sich um typische Formen und Strukturen, beispielsweise die Kopf-Schulter-Partie, die er auf Bildern identifizieren kann.

Neu ist der Ansatz nicht, Computern das Erkennen von Merkmalen beizubringen, die

bestimmte Klassen von Objekten – Menschen, Autos, Hunde, Topfpflanzen – charakterisieren. Bislang jedoch haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Computer mit einzelnen Bildern trainiert. Auf diesen haben sie die Objekte mit so genannten Annotationen gekennzeichnet, zum Beispiel einem Rahmen und dem Hinweis, dass

**„Auf Videos kann der Computer Objekte leichter segmentieren, also vom Hintergrund trennen“**

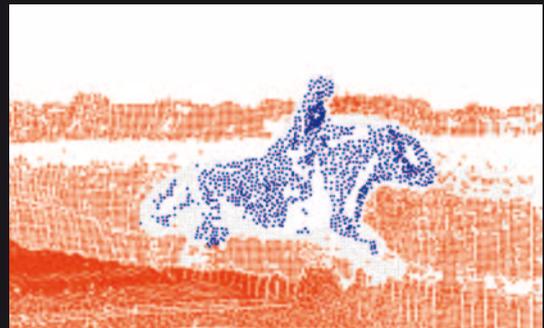
sich darin ein Hund befindet. Die Formen und Strukturen, die den Hund beschreiben, erkennt der Computer anhand der Kanten innerhalb des Rahmens, an denen sich die Farbe im Bild ändert. Dieses Vorgehen habe Nachteile, sagt Brox: „Der manuelle Aufwand für die Annotationen ist hoch, und der Computer lernt ausschließlich das,

was ihm vorgegeben wird.“ Brox dagegen will ihm beibringen, sich selbst neues Wissen zu erarbeiten, um den Lernprozess zu automatisieren und die Annotationen zu reduzieren.

### **Bildpunkte finden, die sich ähnlich bewegen**

Damit dies gelingt, verwendet er keine statischen Bilder, sondern Filme. „Auf Videos kann der Computer Objekte leichter segmentieren, also vom Hintergrund trennen“, sagt Brox. Er hat eine Analysemethode entwickelt, die den Computer alle Bildpunkte im Video finden lässt, die sich ähnlich bewegen – beispielsweise eine Reiterin auf einem Pferd. „Das ist ein klares Indiz dafür, dass sich diese Punkte vom Rest des Bilds unterscheiden.“ Menschen, Tiere oder Fahrzeuge bewegen sich selbst. Bei ruhenden Objekten, zum Beispiel einem Möbelstück, kommt die Bewegung dadurch zustande, dass die Kamera es umkreist, was eine dreidimensionale Rekonstruktion ermöglicht. Anschließend verdichtet der Computer die Segmentierung: „Alle Bildpunkte, die er zuvor noch nicht verorten konnte, weist er mithilfe von Farbinformationen ebenfalls dem Objekt oder dem Hintergrund zu.“ Beides ist damit voneinander getrennt, ohne dass Brox dem Computer mit einem Rahmen zeigen musste, wo sich etwas Relevantes befindet. Er gibt ihm lediglich die Information, welcher Klasse das Objekt angehört, das auf dem Video zu sehen ist.

Hinzu kommt: Ein Video setzt sich aus zwei Dutzend Bildern je Sekunde zusammen. Da das Objekt, beispielsweise ein Auto, auf jedem Bild aufgrund der Bewegung ein wenig anders aussieht, lernt der Computer schon anhand eines Films eine große Zahl von Variationen. „Zudem ist klar, dass der Grund für die Vielfalt nicht darin liegt, dass es sich um unterschiedliche Autos handelt. Das ist für das Lernen eine wichtige Information“, sagt Brox. Den ersten Teil des Lernprozesses hat der Informatiker gelöst: Der Computer erkennt auf der Grundlage der Videoanalyse Variationen beispielsweise desselben



*Die Reiterin auf einem Video (ganz oben) löst der Computer vom Hintergrund, indem er die Bildpunkte, die sich im Film ähnlich bewegen, jeweils demselben Objekt zuweist (Mitte). Die restlichen Punkte ergänzt er mithilfe von Farbinformationen. Damit ist jeder Bildpunkt zugeordnet, Reiterin und Hintergrund sind voneinander getrennt (unten, überlagert vom Originalbild).*

## „Nur mit YouTube würde der Computer eine besondere Internet-Weltsicht entwickeln, die nicht die wahre Welt widerspiegelt“

Autos. Nun arbeitet Brox am zweiten Schritt: Der Computer soll mehrere Filme vergleichen und Übereinstimmungen finden – etwa Bilder, auf denen unterschiedliche Autos aus der gleichen Perspektive zu sehen sind. Diese Bilder kann er dann übereinanderlegen. „Damit kann er feststellen, welche Formen und Strukturen allen Autos gemeinsam sind, und eine allgemeine Beschreibung der Klasse ‚Auto‘ entwickeln.“

### Trainingsdaten selbstständig erarbeiten

Auf dieser Basis soll der Computer auf weiteren Videos Variationen von Autos identifizieren, die ihm zuvor fremd waren. Da er die Klasse schon kennt, soll er die Information, dass auf dem Film ein Auto zu sehen ist, dafür nicht mehr benötigen – also ganz ohne Annotationen auskommen. Mit den neuen Variationen kann er sein Wissen erweitern: Er vergleicht sie mit den bisher gelernten, verfeinert die abstrakte Beschreibung der Klasse und verbessert damit im Ergebnis seine Suche. Damit hätten die Wissenschaftler einen Lernprozess ermöglicht, bei dem der Computer sich seine Trainingsdaten weitgehend selbst erarbeitet und seine Fähigkeit, Objekte auf Bildern zu erkennen, autonom weiterentwickelt. Um den Prozess anzuschieben, müssen die Wissenschaftler ihm als einzige Information zu Beginn die Klasse vorgeben, die er lernen soll. „Ideal wäre, wenn der Computer einfach nur Bilder bekommt, auf denen er Ähnlichkeiten feststellt, sodass er selbst Kategorien bildet und sich eine schöne Repräsentation der Welt aneignet“, sagt Brox. „Beim Menschen funktioniert das, beim Computer müssen wir das Problem noch vereinfachen.“

Die Fähigkeit eines Computers, Objekte auf Bildern zu erkennen, könnte in Zukunft unter anderem Fahrassistenz-Systeme in Autos optimieren oder Robotern helfen, sich in ihrer Umgebung besser zurechtzufinden. Dafür müssen die Wissenschaftler die Prozesse allerdings beschleunigen: Derzeit benötigt der Computer

für die Suche etwa eine Sekunde je Bild, der Lernvorgang dauert bis zu zwei Minuten je Bild. „Für das Lernen ist nicht unbedingt Echtzeit erforderlich, beim Erkennen von Objekten dagegen schon. Ein Roboter soll schließlich nicht ständig anhalten müssen, um nachzudenken.“

Mit seinem Forschungsansatz gilt Thomas Brox in der Branche als Pionier. „Auf Konferenzen stelle ich fest, dass auch andere Wissenschaftler die Idee immer attraktiver finden, bei der Bilderkennung mit Filmen zu arbeiten.“ Die Trainingsvideos für den Computer dreht der Informatiker mit seiner Arbeitsgruppe zum Großteil selbst: Autos, Schafe, Hunde, demnächst sind Menschen dran. Dabei läuft er mit der Kamera einmal um das Objekt herum, um es von allen Seiten zu erfassen. Die Bildqualität ist hoch, die Beispiele sind für die jeweilige Klasse repräsentativ. All das können die meisten Internetvideos nicht bieten. „Es ist sinnvoll, am Ende des Lernprozesses einige YouTube-Videos, die in der Regel ausgefallene Beispiele von Objekten zeigen, in den Datensatz aufzunehmen, um neue Variationen zu bekommen“, sagt Brox. „Nur mit YouTube würde der Computer eine besondere Internet-Weltsicht entwickeln, die nicht die wahre Welt widerspiegelt.“



**Prof. Dr. Thomas Brox** ist seit 2010 Inhaber des Lehrstuhls für Mustererkennung und Bildverarbeitung am Institut für Informatik der Albert-Ludwigs-Universität. Er hat an der Universität Mannheim Technische Informatik studiert und wurde 2005 an der Universität des Saarlandes im Fach Informatik promoviert. Anschließend setzte er seine wissenschaftliche Arbeit in der Forschungsgruppe Maschinelles Sehen der Universität Bonn fort und lehrte von 2007 bis 2008 an der Technischen Universität Dresden. Nach zwei Jahren Forschungstätigkeit in der Arbeitsgruppe Maschinelles Sehen der Universität Berkeley/USA wechselte er als Professor nach Freiburg. Schwerpunkte seiner Forschung sind das Bildverständnis von Computern, dreidimensionale Rekonstruktionen sowie die automatisierte und intelligente Auswertung räumlich und zeitlich aufgelöster Mikroskopbilder.

### Zum Weiterlesen

Brox, T./Malik, J. (2010): Object segmentation by long term analysis of point trajectories. European Conference on Computer Vision (ECCV). [www.uni-freiburg.de/go/object-segmentation](http://www.uni-freiburg.de/go/object-segmentation)

Bourdev, L./Maji, S./Brox, T./Malik, J. (2010): Detecting people using mutually consistent poselet activations. European Conference on Computer Vision (ECCV). [www.uni-freiburg.de/go/detecting-people](http://www.uni-freiburg.de/go/detecting-people)

# Stickstoff aus der Wurzel

Mit seiner Forschung an Enzymen kann der Biochemiker Oliver Einsle die Landwirtschaft klimaverträglicher machen

*von Annette Kollfrath-Persch*



*Bald ein Bild von gestern? Stickstoffdünger wäre überflüssig, wenn sich Pflanzen selbst ausreichend mit dem Nährstoff versorgen könnten. Foto: hjschneider/Fotolia*



Sie sind klein, ihre Namen klingen kompliziert – und sie sind bedeutend für die Umwelt: die Enzyme Nitrogenase und Distickstoffmonoxid-Reduktase. In der Natur kommen sie in hoch spezialisierten Mikroorganismen vor. Die Nitrogenase sorgt dafür, dass Stickstoff ( $N_2$ ) aus der Luft in eine fixierte Form umgewandelt wird. Damit wird er für Pflanzen, deren Wachstum von  $N_2$  abhängt, verfügbar. Stickstoff zählt zu den Grundbausteinen des Lebens und macht fast 80 Prozent der Atemluft aus. Durch seine Stabilität ist das Gasmolekül jedoch chemisch nur sehr schwer zu knacken und deshalb in der industriellen Landwirtschaft eine knappe Ressource. Aus diesem Grund wird künstlicher Stickstoffdünger eingesetzt, um das Wachstum der Pflanzen zu unterstützen. Dessen technische Herstellung im so genannten Haber-Bosch-Verfahren verbraucht bei der derzeitigen Produktionsmenge etwa ein Prozent der gesamten global produzierten Energie.

**„Wir müssen zunächst die grundlegenden Eigenschaften und Funktionen der Enzyme vollständig verstehen, auch wenn das Zeit benötigt“**

Das Enzym Distickstoffmonoxid-Reduktase hingegen spaltet das klimaschädliche Gas Distickstoffmonoxid ( $N_2O$ ), auch Lachgas genannt, das unter anderem beim Abbau von stickstoffhaltigem Dünger durch Bodenbakterien entsteht – einem Prozess, bei dem aus gedüngten Ackerflächen große Mengen an  $N_2O$  freigesetzt werden.  $N_2O$  trägt zum Abbau der Ozonschicht und zum Treibhauseffekt bei und ist für das Klima das vermutlich kritischste Gas des 21. Jahrhunderts. Es bleibt zudem für 120 Jahre in der Atmosphäre erhalten. Da also natürlicher Stickstoff nicht in ausreichender Menge vorhanden ist, wird in der Landwirtschaft mehr industrieller Dünger eingesetzt, wodurch wiederum mehr  $N_2O$  freigesetzt wird. Diesen für die Umwelt problematischen Zusammenhang will Prof. Dr. Oliver Einsle, Biochemiker an der Universität Freiburg, auflösen: Er untersucht die Enzyme Nitrogenase und Distickstoffmonoxid-Reduktase, um einerseits

*Lösung aus der Natur: An der Wurzel von Hülsenfrüchtlern wie Erbsen, Bohnen oder Soja sitzen Knöllchenbakterien, die Stickstoff aus der Luft fixieren. Deshalb gedeihen diese Pflanzen auch auf schlechten Böden. Foto: Schlaghecken*

eine natürliche Alternative zu künstlichem Dünger zu finden und andererseits den biologischen Abbau der klimaschädlichen Verbindungen möglich zu machen. „Das wäre ein fundamentaler Schritt“, sagt der Forscher.

## „Wir setzen die Bakterien einem Evolutionsdruck aus und sagen ihnen dadurch, was sie für uns tun sollen“

In seinem vom Europäischen Forschungsrat (ERC) und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt „N-ABLE“ wird Einsle mit seinem Team in den kommenden Jahren die komplexen und hochgradig sauerstoffempfindlichen Enzymsysteme in Modellorganismen nachbauen. Weder in der biologischen noch in der chemischen Forschung wurde das bisher erreicht: „Wir müssen zunächst die grundlegenden Eigenschaften und Funktionen der Enzyme vollständig verstehen, auch wenn das Zeit benötigt.“ Einsle orientiert sich in seiner Forschung an einer Lösung aus der Natur: Pflanzen aus der Familie der Hülsenfrüchtler – wie Erbsen, Bohnen oder Soja – vergesellschaften sich mit bestimmten Bakterien, den Rhizobien, auch Knöllchenbakterien genannt. Die Pflanze bildet für diese Bakterien ein spezielles Organ an der Wurzel



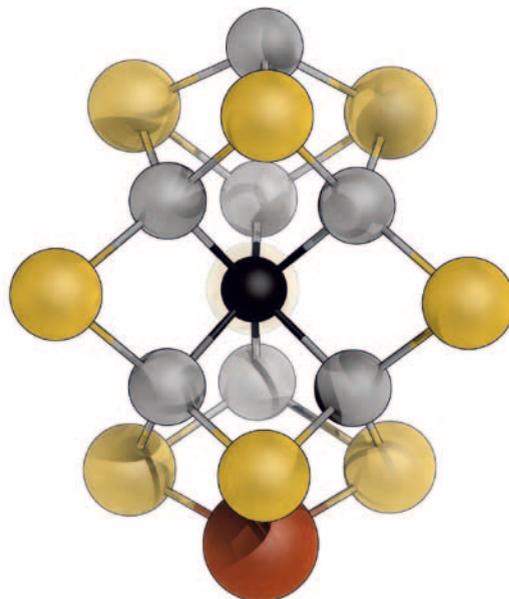
aus. Darin sind die Mikroorganismen vor dem für sie schädlichen Sauerstoff ( $O_2$ ) geschützt und können, reichlich mit Nährstoffen versorgt, der aufwendigen Stickstofffixierung nachgehen. Knöllchenbakterien besitzen das Enzym Nitrogenase und spalten  $N_2$  aus der Atmosphäre. Hülsenfrüchte gedeihen deshalb auch auf schlechten, stickstoffarmen Böden und sind besonders proteinreich, weil ihnen ausreichend Stickstoff zur Verfügung steht.

Der Freiburger Biochemiker möchte diese Symbiose zunächst im Labor und später in der landwirtschaftlichen Praxis auf andere Pflanzen erweitern. Diese sollen in ihren Wurzeln Bakterien mit dem Enzym Nitrogenase aufnehmen und sich dadurch selbst mit ausreichend  $N_2$  versorgen. Industrieller Dünger wäre dann überflüssig. „Wir schaffen chemische Systeme, die wichtige Stoffwechselfunktionen erfüllen, und bringen sie kontrolliert in Organismen ein, die diese Fähigkeit sonst nicht haben“, erklärt Einsle. In Nutzpflanzen, so der Forscher, wäre dies auf nicht essbare Teile beschränkt.

### Einzelne Bestandteile ein- und ausschalten

Im ersten Schritt hat Einsle mit seinem Team das Enzym im Detail analysiert, um die Grundlagen der Funktion der Nitrogenase zu verstehen. Dabei klärte er die genaue Struktur des komplexen Metallzentrums auf, an dem die chemische Aktivierung von  $N_2$  stattfindet. Über diese Erkenntnis berichtete Einsle in zwei Arbeiten, die im renommierten Fachmagazin „Science“ publiziert wurden. Im zweiten Schritt muss er nun untersuchen, für welche Abläufe die Bestandteile des Metallzentrums jeweils zuständig sind. Danach wird der Forscher das Enzym in einem Modellbakterium wieder Schritt für Schritt zusammensetzen und als Test einzelne Bestandteile mal ein- und mal ausschalten: Nur

*Die Freiburger Forscher haben das Enzym Nitrogenase analysiert, um seine Funktion zu verstehen. Sie haben herausgefunden, dass sein Metallzentrum, an dem die chemische Aktivierung von Stickstoff stattfindet, aus Eisenatomen (grau), Schwefelatomen (gelb), einem Molybdänatom (braun) und einem Kohlenstoffatom (schwarz) besteht.*





so kann Einsle herausfinden, welche der Teile des Systems bei der Spaltung von  $N_2$  wie ineinandergreifen.

„Schließlich müssen wir die Stabilität des Systems optimieren“, erklärt der Biochemiker. Denn die Sauerstoffempfindlichkeit der Bakterien und ihres Enzyms Nitrogenase ist ein großes Problem. Hülsenfrüchte bauen mit den Wurzelknöllchen von Natur aus eine schützende Umgebung für die Bakterien. Um die Abhängigkeit von dieser Schutzhülle zu verringern, muss eine andere Lösung her: die gerichtete Evolution. „Wir setzen die Bakterien einem Evolutionsdruck aus“, sagt Einsle, „und sagen ihnen dadurch, was sie für uns tun sollen.“ Im Labor lässt der Wissenschaftler zahlreiche Bakterien, die ihren Stickstoffbedarf nur durch die Produktion von Nitrogenase decken können, auf Kulturplatten wachsen. Dass Bakterien kurze Generationszeiten haben, ist für die Forschung optimal. Dann wird in geringen Mengen  $O_2$  hinzugegeben, was die Nitrogenase schädigt und so weiteres Wachstum unterbindet. Doch irgendwann finden Mutationen statt: Sie können eines oder zwei unter Millionen von Bakterien befähigen, eben doch weiterzuwachsen, weil ihre veränderte Nitrogenase den Sauerstoff besser toleriert. Nun versteht und besitzt der Biochemiker ein Bakterium, das genau das kann, was er wollte. Jetzt muss es ihm gelingen, dieses Bakterium in höhere Organismen einzusetzen, denn schließlich soll der Prozess am Ende in Pflanzen ablaufen. Einsle weiß, dass dies eine große Herausforderung ist: „Das wird spannend und wird uns weit in wissenschaftliches Neuland führen.“

#### **Mikroorganismen der Zukunft bauen schädliche Gase ab**

Optimistisch ist Einsle in zweifacher Hinsicht. Schließlich beschäftigt sich sein Forschungsprojekt „N-ABLE“ nicht nur damit, Pflanzen die

Fähigkeit zu verleihen, sich selbst mit  $N_2$  zu versorgen und dadurch industriellen Dünger zu ersetzen. Vielmehr will der Freiburger Forscher außerdem erreichen, dass kontrolliert veränderte Bakterien das für die Atmosphäre gefährliche  $N_2O$  abbauen. Denn auch ohne den Einsatz von künstlichem Dünger wird weiterhin Lachgas freigesetzt – zum Beispiel von der Industrie und bei geologischen Prozessen. Mit denselben Forschungsschritten wie bei der Nitrogenase will Einsle den Prozess der Distickstoffmonoxid-Reduktase analysieren. Und schließlich will er Bakterien mit diesem Enzym durch gerichtete Evolution so umformen, dass sie  $N_2O$  als Energiequelle nutzen. Die Bakterien würden dann die Gase aus der Luft abbauen.

„Die Thematik bekommt Aufmerksamkeit von unterschiedlichen Seiten und aus vielen politischen Gremien“, erklärt Einsle. Sein Forschungsprojekt wird unter anderem vom ERC für die nächsten fünf Jahre mit einem Starting Grant in Höhe von 1,64 Millionen Euro gefördert. Auch der Klimarat der Vereinten Nationen forderte auf einer Tagung zum globalen Klimawandel, nach einer wissenschaftlichen Lösung für diese Probleme zu suchen.

#### **Zum Weiterlesen**

Lü, W./Du, J./Schwarzer, N. J./Gerbig-Smentek, E./Einsle, O./Andrade, S. L. A. (2012): The formate channel FocA exports the products of mixed-acid fermentation. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109, S. 13254–13259.

Spatzal, T./Aksoyoglu, M./Zhang, L./Andrade, S. L. A./Schleicher, E./Weber, S./Rees, D. C./Einsle, O. (2011): Evidence for interstitial carbon in nitrogenase FeMo cofactor. In: Science 334 (6058), S. 940.

Pomowski, A./Zumft, W. G./Kroneck, P. M. H./Einsle, O. (2011):  $N_2O$  binding at a [4Cu:2S] copper-sulfur cluster in nitrous oxide reductase. In: Nature 477 (7363), S. 234–237.



**Prof. Dr. Oliver Einsle** hat Biologie in Konstanz studiert und wurde 2000 am Martinsrieder Max-Planck-Institut für Biochemie (MPIB) in Biochemie und Biophysik promoviert. Nach einem Jahr als Postdoktorand am MPIB arbeitete er von 2001 bis 2002 am California Institute of Technology in Pasadena/USA. An der Universität Göttingen forschte und lehrte er von 2003 bis 2008 als Juniorprofessor für Proteinkristallografie. Seit 2008 ist er Professor für Biochemie an der Fakultät für Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Universität Freiburg. Einsle ist Mitglied des Exzellenzclusters BIOSS Centre for Biological Signalling Studies der Albert-Ludwigs-Universität und der American Chemical Society. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Struktur und Funktion von Membranproteinen und Metalloproteinen.  
Foto: Seeger



# Kleiner Kaffee, großer Effekt

Die Sinologin Lena Henningsen erforscht die gegenwärtige  
Konsumkultur in den Metropolen Chinas

*von Rimma Gerenstein*



Frappuccino, Salted Caramel Mocha, Iced Latte: Die US-amerikanische Kette Starbucks bietet Kaffeespezialitäten an, die das Lebensgefühl des modernen und eleganten „Westens“ vermitteln sollen.  
Foto: suttons/Flickr

Exquisit, eine exquisite Maschine“, versichert der Verkäufer einem Ehepaar, das einen Kaffeeautomaten beäugt. Im Geschäft gegenüber werfen zwei junge Frauen einem Pullover aus der Kollektion eines französischen Designers begehrliche Blicke zu. Wenn Kaschmir doch nur nicht so teuer wäre. Ein paar Meter weiter reihen sich Restaurants, Buchhandlungen, Juwelierläden, Nagelstudios, Kosmetiksalons und Elektrogeschäfte aneinander. Die Musik dröhnt, ein ständiges Stimmengewirr begleitet die Menschen bei ihrer Shoppingtour.

Die „Golden Resources Shopping Mall“ in Peking ist nicht nur eines der größten Einkaufszentren Chinas, sondern der Welt: mehr als 1.000 Geschäfte, 20.000 Angestellte und 230 Aufzüge. Ein Konsumtempel, so groß wie 70 Fußballfelder. Mit Einkaufstaschen bepäckte Männer und Frauen? Fehlanzeige. Die meisten bummeln von Schaufenster zu Schaufenster, vertreiben sich die Zeit in Kettenrestaurants wie McDonald's oder der Starbucks Coffee Company. „Auch wenn sie in der Mega-Mall wenig Geld liegen lassen, konsumieren sie“, sagt Dr. Lena Henningsen. „Sie nehmen an Praktiken des Alltags teil und genießen die Atmosphäre, den Luxus und Glamour teurer und begehrter Produkte.“

Die Freiburger Juniorprofessorin für Sinologie erforscht die gegenwärtige Konsumkultur in chinesischen Metropolen wie Schanghai, Peking oder Nanjing. Zu den Attraktionen zählen zum Beispiel Kaffeespezialitäten US-amerikanischer Ketten und überteuerte Nudelsuppen eines japanischen Anbieters. Solche Produkte seien bei Verbraucherinnen und Verbrauchern besonders beliebt: „Sowohl für Käufer als auch für Hersteller sind sie in den Kosten und in der Qualität vorhersehbar.“ Zum Untersuchungsgegenstand der Wissenschaftlerin gehören auch populäre Romane, viel gelesene Blogs sowie einige beliebte koreanische oder taiwanesischen Fern-



Die ersten McDonald's-Filialen in China waren nach ihrer Eröffnung jahrelang beliebte Orte für Rendezvous. Heute sind Kinder und ältere Menschen die häufigsten Kunden. Foto: BYTE RIDER/Flickr

sehserien und Filme. Die Konsumlandschaft in den Großstädten sei paradox, sagt Henningsen. Zwar wachse der Wohlstand, doch die sozialen Sicherungssysteme wie Renten- oder Krankenversicherung seien immer noch nicht gut entwickelt. Das Ergebnis: Die Produkte blieben meistens in den Shopping Malls liegen, weil viele Menschen gezwungen seien zu sparen. „Ein Großteil der Chinesinnen und Chinesen gibt nur für Weniges viel Geld aus: Auto, Wohneigentum, die Bildung der Kinder und – notgedrungen – den Arzt.“

## „Ein Großteil der Chinesinnen und Chinesen gibt nur für Weniges viel Geld aus“

Die Forscherin hat eine Methode gewählt, die literaturwissenschaftliche und ethnologische Elemente enthält. Sie kombiniert die Lektüre und Interpretation kultureller Texte mit Interviews, die sie in China mit Besucherinnen und Besuchern von Kettenrestaurants geführt hat. Warum kommen sie hierher? Wie verbringen sie hier ihre Zeit? Was bestellen sie am liebsten? „Mich interessiert nicht, was die Leute essen oder trinken. Ich will wissen, was es über ihr kulturelles Selbstverständnis aussagt, wenn sie behaupten: „Bei Starbucks gibt es meinen Lieblingskaffee.“

### Raum für Rendezvous

Moderne Kaffeespezialitäten und Fast Food haben sich in den vergangenen 20 Jahren fast überall auf der Welt als Trendprodukte durchgesetzt. Im urbanen Durcheinander Chinas kommt den Ketten, die sie vertreiben, jedoch eine besondere Bedeutung zu. „Sie gelten als romantische Orte“, erklärt die Forscherin. In dem sowohl in Taiwan als auch in China erfolgreichen

Bestsellerroman „Die erste intime Berührung“ zum Beispiel erzählt der Schriftsteller Cai Zhiheng die Geschichte einer Studentin und eines Studenten, die sich zu ihrem ersten Rendezvous in einer McDonald's-Filiale verabreden. Lena Henningsen zufolge verarbeitet das Buch ein Phänomen, das in den späten 1990er Jahren die sozialen Ausdrucksmöglichkeiten junger Erwachsener zu verändern begann. Damals war Privatsphäre in der Volksrepublik China ein knappes Gut: Studierende teilten sich im Wohnheim ein Zimmer mit mehreren Kommilitoninnen und Kommilitonen, als junge Berufstätige wohnten sie in der Regel bei ihren Eltern. Eine Kaffeehauskultur mit Getränken und Imbissen zu erschwinglichen Preisen gab es in den meisten Städten nicht, und Restaurants waren viel zu teuer für junge Leute. Und die Sessels in Karaoke-Bars? Da lieferten die Betreiber die passenden Damen gleich mit. „McDonald's wurde nicht nur wegen des Essens beliebt, sondern weil die Kette einen neuen Raum eröffnete, in dem sich junge Menschen den Augen ihrer Familie entziehen konnten.“

„Fiktionale Texte sind so etwas wie Ratgeber, die Leserinnen und Lesern dabei helfen, sich im Konsumschungel zurechtzufinden“

Das Buch bilde die Realität nicht eins zu eins ab, aber es erfülle eine wichtige Rolle, betont die Sinologin: „Fiktionale Texte sind so etwas wie Ratgeber, die Leserinnen und Lesern dabei helfen, sich im Konsumschungel zurechtzufinden.“ Sie vermitteln Wissen über die Produkte, ordnen sie in den Alltag ein und zeigen, was man mit ihnen anstellen und wie man diesen Gebrauch für die eigene Identität interpretieren kann. „Die populären Bücher handeln in großem Ausmaß von Konsumphänomenen des modernen Alltags. Sie transportieren einen urbanen Lebensstil, der neben internationalen Markenprodukten auch Merkmale gehobener chinesischer Lebenskultur und Elemente der so genannten Hochkultur enthält.“ Da Vinci und Shakespeare Seite an Seite mit Rolex, Rotwein und chinesischem Tee. Außerdem gelte die Fast-Food-Kette McDonald's, obwohl sie inzwischen vor allem zu einem Treff-



*Harry Potter und das Plagiat: Fälschungen der Romanreihe gehörten zu den meistverkauften Büchern auf dem chinesischen Schwarzmarkt, als die ersten Verfilmungen in die Kinos kamen und einen „Harry-Potter“-Boom auslösten.*

punkt für alte Leute und einem Ort für Kindergeburtstage geworden sei, nach wie vor als Inbegriff des American Way of Life. „Zwar wissen viele Chinesen mittlerweile, dass das Essen bei McDonald's ungesund ist, aber die Eltern gehen mit ihren Kindern dorthin, weil es auch eine Art Bildungsangebot ist“, sagt Henningsen.

Die coolen Hipsters sitzen seit ein paar Jahren bei Starbucks. Die Cafés bieten unzählige Kaffeespezialitäten und locken mit gemütlichen Sesseln und überdimensional großen Sofas. Henningsen

hat beobachtet, dass unter anderem Menschen mit kreativen Berufen, vom Schriftsteller bis zum Grafikdesigner, die Cafés aufsuchen. Dort haben sie einen zuverlässigen Zugang zum Internet und mehr oder weniger ihre Ruhe, denn nicht jeder kann sich das exklusive Ambiente leisten. Umgerechnet etwa zwei Euro kostet in einer Starbucks-Filiale der Kaffee des Tages – in einer Garküche um die Ecke bekommt man für die Hälfte des Preises eine Portion Nudelsuppe. Oft kauften sich die Leute nur einen kleinen Kaffee – doch mit großem Effekt: Die Konsumgüter dienten als eine Art kulturelle Brücke zum modernen und eleganten „Westen“, sagt die Sinologin. „Die Menschen empfinden sich als Teil einer globalen Gruppe, nach dem Motto: Auch wenn ich hier in einer Stadt sitze, deren Namen noch nie jemand in den USA gehört hat, kann ich mir vorstellen, ich wäre mit meinem Frappuccino am Broadway in New York.“ Dass ihr „Lieblingskaffee“ eigentlich Iced Latte oder Salted Caramel Mocha heißt, interessiert die meisten Konsumentinnen und Konsumenten übrigens nicht. Henningsen hat herausgefunden, dass Leute in Gästebucheinträgen ganz schnöde Namen wie „Eiskaffee“ benutzen. Daran änderte sich auch nichts, nachdem chinesische Filialen Broschüren herausgegeben hatten, in denen die richtigen Bezeichnungen übersetzt und erklärt wurden.

### Bücher auf dem Schwarzmarkt

Ein bestimmtes Lebensgefühl spüren, Teil einer modernen Gruppe sein: Diese Faktoren schwingen auch beim Konsum populärer Literatur mit. Bei der Recherche verließ sich die Forscherin nicht ausschließlich auf chinesische Bestsellerlisten. „Zahlen können sehr schnell manipuliert werden. Man weiß nie, ob die Menschen die am meisten verlegten Bücher wirklich lesen. Das Telefonbuch haben bei uns schließlich auch alle zu Hause stehen.“ Stattdessen nutzt sie andere Quellen, um sich einen zuverlässigen Eindruck zu verschaffen: Sie bittet ihre Studierenden, die regelmäßig Sprachreisen nach China unternehmen, sich auf dem Schwarzmarkt umzuschauen. Die meistverkauften Titel bringen sie ihrer Dozentin mit. Als Henningsen vor einigen Jahren an ihrer Dissertation arbeitete, waren es vor allem echte und gefälschte „Harry-Potter“-Bücher, die auf dem

Schwarzmarkt boomten. Die Verkaufszahlen für die Fantasyreihe schossen schnell in die Höhe, als die ersten Verfilmungen in die Kinos kamen – Stichwort: multimediale Vermarktung. Henningsen untersuchte Plagiate, von in Windeseile produzierten Laienübersetzungen der Romane bis zu Umdichtungen, in denen der Protagonist Abenteuer an kulturell bedeutenden chinesischen Orten erlebt.

Heute gehören zum Beispiel Bücher des Autors Han Han zu den meistverkauften. 48 Titel listet der Literaturstar auf, die auf dem Buchmarkt unter seinem Namen kursieren, aber nicht von ihm stammen. Einige gefälschte Exemplare haben es sogar in chinesische Bibliotheken geschafft. Der junge Schriftsteller ist ein Meister der Selbstvermarktung. In seinem Blog, der zu einem der meistgelesenen des Landes gehört, inszeniert er sich als Rebell: benutzt Vulgärsprache, schreibt, dass er eine japanische Pornodarstellerin zu seinem Idol auserkoren hat, tritt als professioneller Rennfahrer bei Wettbewerben an und kritisiert das Erziehungs- und Bildungssystem der Volksrepublik China. „Han Han ist zwar kein Dissident, aber er gilt als jemand, der sich frech in aktuelle politische und gesellschaftliche Debatten einmischt. Dieses Gefühl von Freiheit konsumieren die Leser mit, wenn sie seine Bücher kaufen.“

### Zum Weiterlesen

Henningsen, L. (2011): Coffee, fast food and the desire for romantic love in contemporary China: branding and marketing trends in popular contemporary Chinese-language literature. In: *Transcultural Studies* 2/2011, S. 232–270.

Henningsen, L. (2010): Copyright matters: imitation, creativity and authenticity in contemporary Chinese literature. Berlin.

Henningsen, L. (2009): Reich der Fälscher – oder Land der Kreativen? Der chinesische Buchmarkt und (globale) Phänomene der Kreativität. In: *Orientierungen* 1/2009, S. 34–58.



**Dr. Lena Henningsen** hat Sinologie, Musikwissenschaft und Politikwissenschaft an der Humboldt-Universität zu Berlin, der Nanjing Normal University/China und der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg studiert.

Zwischen 2004 und 2012 war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Sinologie der Universität Heidelberg. 2008 hat sie dort ihre Dissertation vorgelegt, in der sie sich unter anderem mit Imitationen und Plagiaten von „Harry-Potter“-Romanen beschäftigt hat. Seit 2012 ist Henningsen Juniorprofessorin am Institut für Sinologie der Universität Freiburg. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören die populäre Literatur im China des 20. und 21. Jahrhunderts, die gegenwärtige chinesische Konsumkultur und die chinesische Musik.  
Foto: Kunz

*Guten Appetit: Jungmäuse müssen genügend Senfölglykoside aufnehmen, um die Immunabwehr im Darm zu stärken – zum Beispiel über Brokkoli.  
Fotos: Ben, CUKMEN, Pakhnyushchyy (alle Fotolia)*



# Brokkoli stärkt Abwehrkräfte

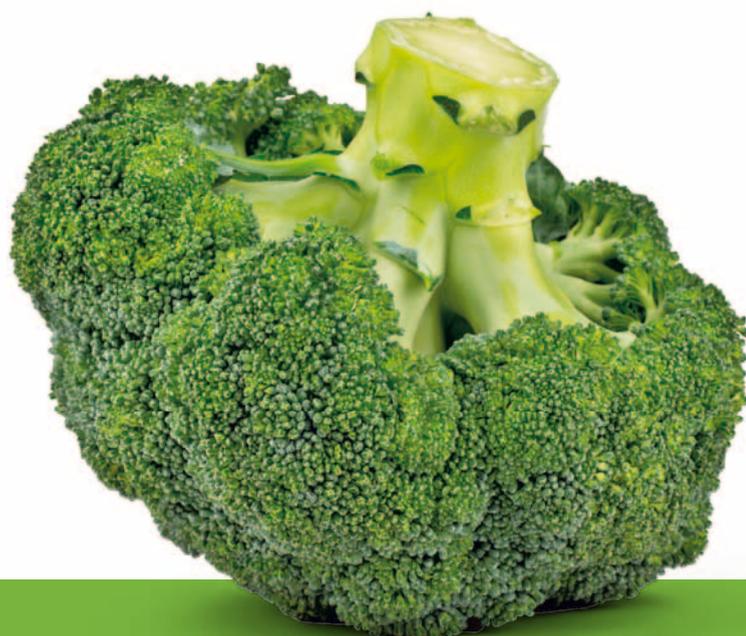
Freiburger Forscher haben herausgefunden, dass sich das Immunsystem im Verdauungstrakt nur mithilfe bestimmter Substanzen aus Kohlgemüse korrekt entwickelt

von Jürgen Schickinger

Sorgsame Mäusemütter sollten lieber auf Brokkoli als auf Käse setzen. Das Milchprodukt mag zwar verführerisch duften und lecker schmecken, enthält aber im Gegensatz zu dem Kohlgemüse keine Senfölglykoside. Nur mit diesen Pflanzenchemikalien entwickeln sich bestimmte Immunzellen im Darm zu Lymphzell-Clustern. Sie schützen dort vor Infektionen und chronisch-entzündlichen Erkrankungen. Jungmäuse auf Brokkolientzug riskieren, sich solche Krankheiten einzuhandeln. Das haben Prof. Dr. Andreas Diefenbach und seine Doktorandin Elina Kiss herausgefunden. Beide erhielten dafür hohe Auszeichnungen.

Wer an Mäusen wissenschaftlich arbeitet, verfolgt oft höhere Ziele. „Ich glaube, dass diese Pflanzenbestandteile auch bei Menschen biologisch aktiv sind“, sagt Diefenbach, der am Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene

am Universitätsklinikum Freiburg und am Exzellenzcluster BIOSS Centre for Biological Signaling Studies der Universität Freiburg forscht. Am wichtigsten sind Senfölglykoside, die auch Glukosinolate heißen, wohl in der Kindheit. Bei Mäusebabys wirken sie am stärksten etwa vom zehnten Lebenstag an bis zur achten Woche. „Senfölglykoside werden auch über die Muttermilch weitergegeben“, erklärt Diefenbach. Zumindest in der Stillzeit sollten Mäuse- und Menschenmütter keinen Brokkoli verschmähen. Wer ihn verabscheut, kann auf Rosenkohl und ein paar andere Kohlgemüse ausweichen, die ähnlich große Mengen an Senfölglykosiden enthalten. Für das Projekt „NutrImmune“ hat der Europäische Forschungsrat (ERC) Diefenbach einen Starting Grant über 1,5 Millionen Euro zugesprochen. „Wir hatten gar nicht die Absicht, den Einfluss von Nahrungsstoffen auf das Immunsystem im Darm zu untersuchen“, erzählt



der Wissenschaftler. Er wollte nur herausfinden, wie sich LTi-Zellen (lymphoid tissue inducer) entwickeln und welche Moleküle sie steuern.

#### Ohne Follikel sind Infektionen tödlich

LTi-Zellen sind eine Unterfamilie der angeborenen lymphoiden Zellen (innate lymphoid cells, ILC). Nach der Geburt entwickeln sich aus LTi-Zellen verschiedene Lymphzell-Cluster. Allein bilden sie zunächst Kryptopatches, die sich hauptsächlich im Dünndarm finden. Diese Zellansammlungen liegen am Fuß der Krypten, der Einbuchtungen zwischen zwei Darmzotten. Nun locken die LTi andere Immunzellen an – B-Zellen, die Antikörper produzieren. Damit ist der Kryptopatch zum Follikel geworden: Die Maus besitzt jetzt einen Schutz gegen enteropathogene und enterohämorrhagische Bakterien. „Diese lösen bei Mäusen ohne Follikel immer

tödliche Infektionen aus“, erklärt Diefenbach. Selbst bei gesunden Menschen und Tieren verursachen enteropathogene Erreger manchmal ernste, mitunter lebensbedrohliche Durchfälle. Hämorrhagische Keime, etwa EHEC (enterohämorrhagische Escherichia coli), können zusätzlich zu tödlichen Nierenschäden führen.

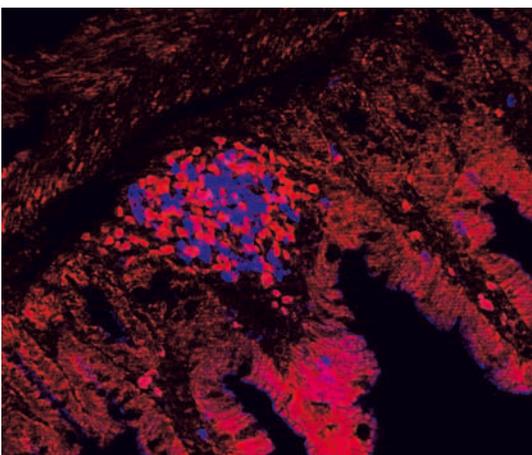
Bei schweren Infektionen dringen die Erreger über Spalten durch das Darmepithel. Diese einzellige Schicht grenzt die Darmschleimhaut vom Darminhalt ab. Unter dem Darmepithel erzeugen die Keime Entzündungen. „Das wollen wir verhindern“, sagt Diefenbach. Allerdings ist noch unklar,

„Wir hatten gar nicht die Absicht, den Einfluss von Nahrungsstoffen auf das Immunsystem im Darm zu untersuchen“



*Säuglinge erhalten Senfölglykoside über die Muttermilch. Die Freiburger Forscher vermuten, dass diese Pflanzenchemikalien nicht nur bei Mäusen, sondern auch bei Menschen die Entwicklung des angeborenen Immunsystems im Darm beeinflussen. Foto: Molin/Fotolia*

wie LTi-Zellen, die zum angeborenen Immunsystem gehören, „Feinde“ erkennen. Das bekanntere adaptive Immunsystem lernt erst nach der Geburt, körpereigen und körperfremd zu unterscheiden. Bei Kontakten zur Außenwelt entstehen im Laufe der Zeit unzählige spezifische Antigen-Rezeptoren, mit denen T-Zellen des adaptiven Immunsystems mögliche Angreifer identifizieren. Solche Erkennungsrezeptoren fehlen den LTi-Zellen. „Darüber, wie sie Erreger abwehren, wissen wir



*An den Krypten, den Einbuchtungen zwischen zwei Darmzotten, sammeln sich verschiedene Typen von Immunzellen (rot: LTi-Zellen, blau: B-Zellen) und bilden Follikel. Diese schützen Mäuse vor manchen Infektionen und chronisch-entzündlichen Erkrankungen.*

aber mehr“, sagt Diefenbach. LTi-Zellen stellen lösliche Faktoren her, darunter Interleukin-22 (IL-22). Es veranlasst die Zellen des Darmepithels dazu, Proteine zu bilden, mit denen sie Keime bekämpfen. T-Zellen setzen ebenfalls IL-22 frei. Bei ihnen kurbelt der Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor (AHR) die Produktion des Faktors an.

Auch LTi-Zellen besitzen den AHR. Was für eine Rolle spielt er bei ihnen? Um das zu erkunden, schaltete Diefenbachs Doktorandin Elina Kiss von der Spemann Graduiertenschule für Biologie und Medizin (SGBM) der Universität Freiburg den Rezeptor bei ihren Mäusen aus: IL-22 nahm ab. Die Zahl der LTi-Zellen sank um das Hundertfache. „Wir sahen keine Patches und Follikel mehr unter dem Mikroskop“, sagt Kiss. Der AHR ist also ausschlaggebend. Doch welche Substanzen stimulieren den Rezeptor bei LTi-Zellen? Dioxin, der bekannteste AHR-Bindestoff, ist ein Gift und kommt deshalb nicht infrage. „Weil wir am Verdauungstrakt arbeiten, erschienen uns Nahrungsbestandteile am interessantesten“, erklärt Kiss. Aus der Literatur erfuhr sie, dass der Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor eine Bindestelle für Pflanzenstoffe hat. An ihn können auch Senfölglykoside andocken. Diese Substanzen allein konnte Kiss ihren Tieren nicht anbieten. Das hätten sie auf Dauer kaum überstanden. Die Lösung war eine Mäusediät: Kiss fütterte die Hälfte ihrer Tiere mit Nahrung, aus der die Senfölglykoside industriell entfernt worden waren, die aber sonst alles Lebenswichtige enthält. Diese Mäuse sahen aus wie jene ohne AHR – sie hatten sehr wenige LTi-Zellen, kaum IL-22, keine Follikel. Dagegen entwickelten sich die Mäuse, die Senfölglykoside bekamen, völlig normal. „Dass das ganze System so stark von AHR und Glukosinolaten abhängig ist, hat uns überrascht“, sagt die Finnin. Als sie 2008 nach Freiburg kam, kannte sie sich mit molekularbiologischen Techniken aus, doch immunologische Forschung war neu für sie. Auf ihre Arbeit kann sie mit Stolz blicken: Das renom-

## „Weil wir am Verdauungstrakt arbeiten, erschienen uns Nahrungsbestandteile am interessantesten“

mierte Fachmagazin „Science“ veröffentlichte ihre Ergebnisse, die ihr zudem den mit 10.000 Euro dotierten Barbara-Hobom-Preis einbrachten.

Auch Andreas Diefenbach freut sich: „Wir haben die molekulare Verbindung von AHR und Nahrungsmitteln zu den LT<sub>i</sub>-Zellen und Follikeln gefunden.“ Stark vereinfacht heißt das: Brokkoli plus AHR ergibt mehr LT<sub>i</sub>-Zellen und Follikel, die IL-22 produzieren, sodass das Darmepithel antimikrobielle Proteine herstellt. Vermutlich verstärkt der Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor zudem die Barrierefunktion des Darmepithels. Er verringert das Risiko für Infektionen, indem er diese Grenzschicht abdichtet und Erreger aus dem Darm vom Eindringen abhält. Außerdem regulieren LT<sub>i</sub>-Zellen wahrscheinlich noch die Stammzellen des Darmepithels. Sie sitzen, wie auch die LT<sub>i</sub>-Follikel, in den Krypten. Dort steuern sie die Regeneration der Schicht, die sich alle zwei Tage vollständig erneuert. Womöglich können Senfölglykoside über den AHR die Regeneration aber noch verbessern. Damit böte sich eine Chance, Entzündungsherde bei chronisch-entzündlichen Darmkrankungen wie Morbus Crohn zurückzudrängen.

### Kurz anbraten statt lange dünsten

Das ist ein Fernziel von Diefenbach: „Wir sind schließlich auch Mediziner und möchten, dass betroffene Patientinnen und Patienten von unserer Forschung profitieren.“ Vorher harren einige Fragen der Klärung: Welche Signale beeinflussen die Epithelzellen? Wie viel Brokkoli oder Rosenkohl ist genug? „Wir haben Mengen eingesetzt, die dem entsprechen, was Menschen mit der Nahrung aufnehmen“, sagt der Wissenschaftler. Aber reagieren Menschen genau gleich auf Brokkoli wie Mäuse? Ab welcher Menge treten eventuell unerwünschte Wirkungen auf, vom Überdruß ganz abgesehen? Das kann Andreas Diefenbach noch nicht sicher beantworten. Er empfiehlt aber, Kohlgemüse auf alle Fälle lieber kurz anzubraten, als es lange in Wasser zu dünsten. Dann gehen nicht so viele der guten Senfölglykoside kaputt.



**Elina Kiss**

hat in Turku/Finnland Biologie mit Schwerpunkt Biochemie studiert und forscht seit 2008 an der Spemann Graduiertenschule für Biologie und Medizin (SGBM) der Albert-Ludwigs-Universität. Für ihre Arbeiten über die Entwicklung und Funktion von bestimmten Immunzellen im Darm, den LT<sub>i</sub>-Zellen, hat sie den Barbara-Hobom-Preis 2011 erhalten. Mit der Auszeichnung unterstützt der Freiburger Exzellenzcluster BIOSS Centre for Biological Signalling Studies vielversprechende junge Wissenschaftlerinnen. Ihre Doktorarbeit steht kurz vor dem Abschluss. Danach will Elina Kiss ihre Forschung in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Andreas Diefenbach weiterführen.



**Prof. Dr. Andreas**

**Diefenbach** hat Medizin in Erlangen studiert, wo er 1998 am Institut für Klinische Mikrobiologie und Immunologie seine Promotion abschloss. Anschließend forschte er in den USA, zunächst an der University of California in Berkeley in der Abteilung Molekular- und Zellbiologie. Ab 2003 arbeitete Diefenbach am New Yorker University Medical Center als Assistant Professor in den Fächern Immunologie und Pathologie. 2005 kehrte er nach Deutschland zurück und kam nach Freiburg. Er ist stellvertretender Direktor am Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene des Universitätsklinikums Freiburg und leitet eine 20-köpfige Arbeitsgruppe mit den Forschungsschwerpunkten „angeborene Immunität“ und „Immunologie von biologischen Grenzflächen“ wie Darmepithel und Haut.

### Zum Weiterlesen

Kiss, E. A./Vonarbourg, C./Kopfmann, S./Hobeika, E./Finke, D./Esser, C./Diefenbach, A. (2011): Natural aryl hydrocarbon receptor ligands control organogenesis of intestinal lymphoid follicles. In: Science 334, S. 1561–1565.

Kiss, E. A./Diefenbach, A. (2012): Role of the aryl hydrocarbon receptor in controlling maintenance and functional programs of ROR $\gamma$ t<sup>+</sup> innate lymphoid cells and intraepithelial lymphocytes. In: Frontiers in Immunology 3, S. 124.

# Mit Baumrinde gegen Kälte

Die Materialwissenschaftlerin Marie-Pierre Laborie erforscht biobasierte Kunststoffe, die im Winter die Wohnzimmer warm halten sollen

von Felix Austen



Natürliche Isolierung: Die Rinde ist eine Schutzschicht, mit der sich Bäume unter anderem gegen Kälte wappnen. Freiburger Materialwissenschaftler übertragen diese Strategie auf die Architektur – sie entwickeln aus einem Bestandteil der Rinde biobasierte Kunststoffe, die als Dämmstoffe dienen sollen. Foto: Spalek



Zuerst bewohnte der Mensch Höhlen. Was Schutz bot, machte er sich als Heim zu eigen. Dann begann er, seine Behausung selbst zu gestalten: Über Holzgerüste gespannte Häute wurden zu Zelten, aufgeschichtete Baumstämme zu Hütten. Erst viel später kamen Stahl, Glas und Kunststoffe zum Einsatz. Aus Zelten wurden Bürokomplexe, aus Holzhütten Wolkenkratzer. Die Veränderung, die nun stattfinden soll, wirkt auf den ersten Blick eher wie ein Schritt zurück – weg von Kunststoffen, die als Schäume in Hauswänden verpackt werden, um Wohnungen im Winter warm zu halten. Diese Funktion soll künftig wieder ein Material übernehmen, das auf den ersten Blick überholt wirkt: Holz.

An dem Projekt „BioFoamBark“ arbeitet ein Forschungsteam der Universität Freiburg um Prof. Dr. Marie-Pierre Laborie. Das Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, das Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) sowie weitere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Universitäten und Firmen aus ganz Europa sind daran beteiligt. Ziel ist es, aus Inhaltsstoffen von Baumrinde Schäume für die Wärmedämmung von Häusern zu gewinnen. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz finanziert das Projekt über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

#### **Mehr aus Holz herausholen**

Viele Gründe sprechen dafür, herkömmliche künstliche Dämmmaterialien durch ihre Kontrahenten aus der Natur zu ersetzen: Holz ist ein Rohstoff, der reichlich vorhanden ist und in großem Maßstab industriell genutzt wird. Geschätzte zwölf Millionen Kubikmeter Rinde werden jährlich in Europa zu Biokraftstoffen verarbeitet. „Man kann aber mehr aus dem komplexen und vielseitigen Material Holz herausholen, als es einfach zu Holzschnitzeln oder

Biokraftstoff zu verarbeiten und es dann direkt zu verbrennen“, sagt Laborie. „Wir gehen zu den Holz verarbeitenden Betrieben und schauen, ob wir aus den Abfällen etwas Gutes herstellen können.“ Die Verarbeitung von Nebenprodukten wie der Rinde ist also nur ein weiteres Glied in der Wertschöpfungskette – und somit wirtschaftlich attraktiv für die Industrie.

## „Wir gehen zu den Holz verarbeitenden Betrieben und schauen, ob wir aus den Abfällen etwas Gutes herstellen können“

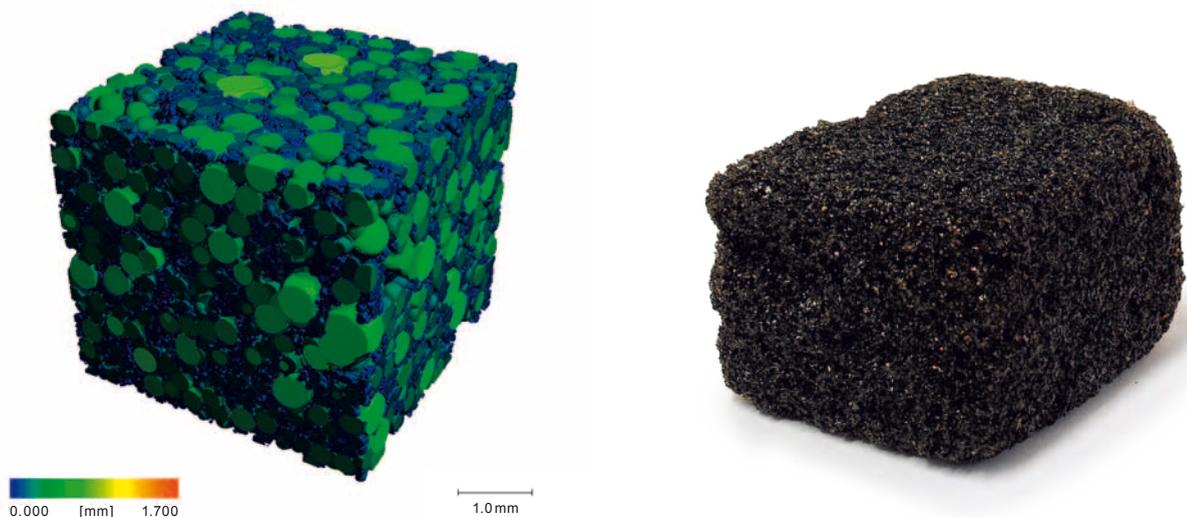
Was seine Dämmeigenschaften angeht, kann der Bioschaum mit dem konventionellen mithalten. Eine Gruppe von Wissenschaftlern, zu denen Laborie gehört, hat in einer Studie gezeigt, dass Schäume aus Tannin, einem Bestandteil der Rinde, genauso gut isolieren wie künstliche Dämmstoffe. Sie erreichen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,033 Watt je Meter und Kelvin. Das bedeutet: Ein Quadratmeter Hauswand aus diesem Material, zehn Zentimeter dick, lässt bei einem Temperaturunterschied von einem Grad Celsius zwischen innen und außen 0,33 Joule Energie in der Sekunde passieren. Dämmstoffe, wie sie heute verwendet werden, haben einen

Wert um 0,035 Watt je Meter und Kelvin. Zum Vergleich: Bei Beton sind es etwa 2,3 Watt je Meter und Kelvin, also das 70-Fache.

### Schaum als Lebensretter

Ein weiterer Vorteil ist die Feuerfestigkeit des Schaums – in einem Haus eine möglicherweise lebensrettende Eigenschaft. Hinzu kommt: Möchte man ein bestehendes Haus wärmeisolieren, braucht man die Fassade nicht herunterzunehmen, um die Dämmmaterialien anzubringen. Man kann den Schaum direkt in Hohlräume in den Wänden spritzen. Dort bläst er sich selbst auf: Ist die chemische Reaktion, bei der der Schaum entsteht, einmal gestartet, läuft sie von alleine ab. Der Bioschaum wird sogar noch Vorteile bringen, wenn ihn niemand mehr als Dämmmaterial braucht: Er soll sich – das ist ein weiteres Ziel des Projekts – zu Biosprit verarbeiten lassen. Zusätzlich entlastet er die Umwelt, da durch seinen Einsatz Kunststoffe aus begrenzt verfügbarem Erdöl eingespart werden können.

Die Idee, Dämmschäume aus Rinde herzustellen, ist nicht neu. Sie basiert auf der Erforschung pflanzlicher Gerbstoffe, der Tannine. Gerbstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich bei Kontakt mit Proteinen mit diesen verbinden und deren Eigenschaften verändern. Dazu



Die Mikro-Computertomografie (links) zeigt die innere Struktur des Schaums, den die Teams von Marie-Pierre Laborie, Prof. Dr. Antonio Pizzi und Prof. Dr. Alain Celzard, Université de Lorraine/Frankreich, sowie Prof. Dr. Milan Šernek, Universität Ljubljana/Slowenien, entwickeln (rechts). Da sich die Mikrostruktur manipulieren lässt, können die Forscher Eigenschaften des Schaums wie Wärmedämmung, Schalldämpfung und Stabilität beeinflussen. Grafik: b-cube AG, Schweiz; Foto: Kunz

## „Die Baumforschung der Fakultät hat eine exzellente Tradition, und auch in den Polymerwissenschaften ist die Universität sehr kompetent“

gehört, dass sie die Proteine entwässern, widerstandsfähig gegen die Zersetzung durch Mikroorganismen und temperaturbeständiger machen. Dies erklärt die Eigenschaften der daraus hergestellten Dämmschäume. Allerdings gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Tanninen. Bisher am besten untersucht sind jene, die in den tropischen Hölzern Mimose und Quebracho vorkommen. Für sie ist die Herstellung von Schäumen bestens erforscht. Diese Pflanzenarten sind allerdings selbst in den Tropen relativ selten. Von Tanninen dieser Art können höchstens 220.000 Tonnen jährlich gewonnen werden – viel zu wenig, um für die Industrie relevant zu sein. Deshalb sollen nun jene Tannine genauer untersucht werden, die in Kiefern und Fichten vorkommen. Von diesen Bäumen gibt es weltweit große Bestände, deshalb sind sie wichtig für die Holzindustrie.

### Ein Lehrstuhl wird umgebaut

Pflanzliche Polymere, also Stoffe, aus denen sich biobasierte Kunststoffe herstellen lassen: An der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften in Freiburg ist dieses Thema neu. Dort lag der Schwerpunkt bisher eher auf der makroskopischen Betrachtung der Bäume, zum Beispiel auf der Erforschung ihres Wachstumsverhaltens. Den Lehrstuhl für Forstliche Nutzung müsse sie im Grunde erst für das Thema umbauen, sagt Laborie. Die Labore in der Forstwissenschaft seien bislang noch nicht vollständig auf die Forschung, die sie betreiben wolle, ausgerichtet. Inzwischen ist ein Labor in ihrem Institut für die analytische Arbeit komplett renoviert worden. Außerdem hat Laborie Laborplätze im Institut für Anorganische und Analytische Chemie und im FMF, in dem sie aktives Mitglied ist, zur Verfügung gestellt bekommen. „Das ist eine große Hilfe, aber nur eine Zwischenlösung für die wachsende Arbeitsgruppe“, sagt die Materialwissenschaftlerin. „Ich bin jedoch zuversichtlich, dass wir

bald die erforderlichen Labore bekommen werden.“ Laborie Ziel ist, mit ihrem Lehrstuhl die Lücke zwischen Forst- und Materialwissenschaften zu schließen: „Freiburg ist aus meiner Sicht der ideale Ort, um so ein Programm zu entwickeln. Die Baumforschung der Fakultät hat eine exzellente Tradition, und auch in den Polymerwissenschaften ist die Universität sehr kompetent“, sagt sie. „Deshalb wollte ich sehr gerne herkommen. Und die Studierenden hier sind fantastisch.“

Diese Forschungsrichtung mit den nötigen Kapazitäten auszustatten erscheint sinnvoll, denn aus den biobasierten Kunststoffen lässt sich noch viel mehr machen als nur Dämmmaterial. Zellulose-Nanofasern etwa, die auch in Pflanzen vorkommen, haben hervorragende optische Eigenschaften und können sich zu komplexen Strukturen anordnen. Daraus ergeben sich denkbare Anwendungen wie zum Beispiel Lichtsensoren. Mit einer Machbarkeitsstudie hat Laborie außerdem zur Entwicklung des weltweit ersten Verkehrsflugzeugs beigetragen, das aus mit Kohlenstofffasern verstärktem Kunststoff besteht: die Boeing 787, auch „Dreamliner“ genannt.

### Zum Weiterlesen

Lacoste, C./Basso, M. C./Pizzi, A./Laborie, M.-P./Celzard, A./Fierro, V. (2013): Pine tannin-based rigid foams: mechanical and thermal properties. In: *Industrial Crops and Products* 43, S. 245–250.

Liu, H./Laborie, M.-P. (2011): Bio-based nanocomposites by in situ cure of phenolic prepolymers with cellulose whiskers. In: *Cellulose* 18/3, S. 619–630.

Siqueira, G./Fraschini, C./Bras, J./Dufresne, A./Prud'homme, R./Laborie, M.-P. (2011): Impact of the nature and shape of cellulosic nanoparticles on the isothermal crystallization kinetics of Poly( $\epsilon$ -caprolactone). In: *European Polymer Journal* 47/12, S. 2216–2227.



**Prof. Dr. Marie-Pierre Laborie** hat 1996 ihren Master in Ingenieurwissenschaften an der *École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois* in Épinal/Frankreich abgeschlossen. 2002 wurde sie im Fach „Wood Science and Forest Products“ an der *Virginia Polytechnic and State University/USA* promoviert und wechselte anschließend an die *Washington State University/USA*. Während eines Sabbaticals wurde sie 2008 im Bereich „Materials and Process Engineering“ am *Grenoble Institute of Technology/Frankreich* habilitiert. Seit November 2009 lehrt die Professorin für Forstliche Biomaterialien an der *Universität Freiburg*. Im November 2012 zeichnete die *Fraunhofer-Gesellschaft* sie gemeinsam mit ihren Kollegen Prof. Dr. Antonio Pizzi und Prof. Dr. Alain Celzard von der *französischen Université de Lorraine* als „German High Tech Champion 2012“ in der Kategorie „Green Buildings“ aus.  
Foto: Kunz

Die Acker-Schmalwand ist die wichtigste Modellpflanze der Genetiker. Die großen Exemplare der Pflanze auf dem Foto haben sich normal entwickelt, die kleinen nicht – ihnen fehlt ein Gen, das einen Teil ihrer Stammzellen davor schützt, sich in spezialisierte Zelltypen zu differenzieren.  
Foto: Kunz



# Stammzellen lassen Pflanzen sprießen

Der Entwicklungsbiologe Thomas Laux entschlüsselt genetische Mechanismen, die erklären, wie Pflanzen wachsen und reifen

von *Hinnerk Feldwisch-Drentrup*

Mit der Befruchtung einer Eizelle startet ein genetisches Programm, das den Organismus heranreifen lässt und ihn auf die Widrigkeiten der Umwelt vorbereitet. Nicht nur in den ersten Tagen eines Embryos, sondern über das ganze Leben hinweg spielen hierbei Stammzellen eine entscheidende Rolle. Sie sind die Generalisten unter den Zellen: Sie können sich in andere Zelltypen umwandeln und auf diese Weise Organe bilden oder im Austausch gegen beschädigte Zellen zum Einsatz kommen. Daher setzen Mediziner und Patienten große Hoffnungen auf Stammzelltherapien, wenn es um die Behandlung von Krankheiten wie Parkinson oder Querschnittslähmung geht. Der Freiburger Biologe Prof. Dr. Thomas Laux hat gezeigt, dass nicht nur Menschen und alle Tiere, sondern auch Pflanzen Stammzellen besitzen, die sich in speziellen Nischen befinden und von den Nachbarzellen reguliert werden. Während ihres Lebens, das bei manchen Bäumen länger als tausend Jahre dauern kann, können Pflanzen dank dieser Stammzellen Wurzeln in die Erde treiben und Zweige, Blätter und Blüten hervorbringen.

Pflanze *Arabidopsis thaliana*, auch Acker-Schmalwand genannt. Sie gilt als Unkraut, hat es in der Wissenschaft aber als Modellorganismus zu einer steilen Karriere gebracht: Die Acker-Schmalwand pflanzt sich rasch fort, ist genügsam und hat eine geringe Anzahl an Genen.

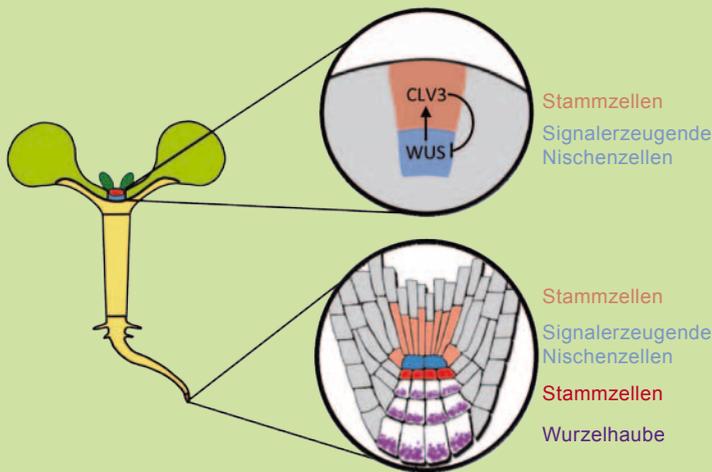
## Eine Nische für Stammzellen

Wenn Pflanzen tatsächlich über Stammzellen verfügen, müssen diese sich in den Meristemen befinden. Diese Gewebe bilden bei Pflanzen neue Organe wie Blüten, Blätter, Stamm und Wurzeln. Daher befinden sie sich an den Wurzel- und Sprossspitzen sowie im Stamm. Um zu untersuchen, welche Gene die Stammzellen regulieren, fragte sich Laux, wie sich Pflanzen entwickeln würden, wenn sie aufgrund eines Gendefektes keine Stammzellen bilden oder erhalten könnten. Anhand von klassischen Experimenten, die in der Literatur beschrieben waren, erkannte Laux, dass sich die ersten beiden Blätter aus einem Meristem unabhängig von den Stammzellen bilden. Diese treten erst in Aktion, wenn die Pflanze weitere Blattanlagen hervorbringt. Die Idee war nun, dass die Pflanzen ohne Stammzellen den zweiten Schritt nicht steuern können und immer wieder das ursprüngliche Programm anwerfen, also zwei Blätter wachsen lassen. Tatsächlich fanden sich mutierte Versionen der Acker-Schmalwand, die sich so verhielten. Diesen Pflanzen fehlt ein Gen, das einen Teil ihrer Stammzellen davor schützt, sich in spezialisierte Zelltypen zu differenzieren. Laux' Team benannte das Gen nach dem zerzausten Äußeren der mutierten Pflanze: das WUSCHEL-Gen.

Wie Laux herausfand, stellen die Nachbarzellen der Stammzellen mithilfe des WUSCHEL-Gens einen Transkriptionsfaktor her, der die Ableserate

**„Durch somatische Embryogenese können Züchter bestimmte Zuchtlinien exakt erhalten“**

Noch vor 20 Jahren war es ein Rätsel, mittels welcher Mechanismen Pflanzen es schaffen, über lange Zeiträume weiterzuwachsen und neue Organe zu bilden. Laux wollte seine Erfahrungen, die er während seiner Promotion über die Biochemie von Tieren gesammelt hatte, nutzen, um dieses Mysterium zu ergründen. „Damals herrschte die Auffassung, dass Pflanzen keine speziellen Stammzellen hätten – angesichts der Wachstumsleistung wäre dies verwunderlich“, sagt Laux. Als Objekt seiner Studien wählte er die unscheinbare



Stammzellnischen befinden sich bei Pflanzen im Spross und in der Wurzel, bei Bäumen auch im Stamm. In den Stammzellnischen bilden benachbarte Nischenzellen WUSCHEL-Signale (WUS). Diese hindern Stammzellen daran, sich zu spezialisieren. Gleichzeitig bilden Stammzellen den Faktor CLAVATA3 (CLV3), der verhindert, dass zu viele neue Stammzellen entstehen. In der Wurzel schützen Zellen der Wurzelhaube die Stammzellen vor Schädigungen.

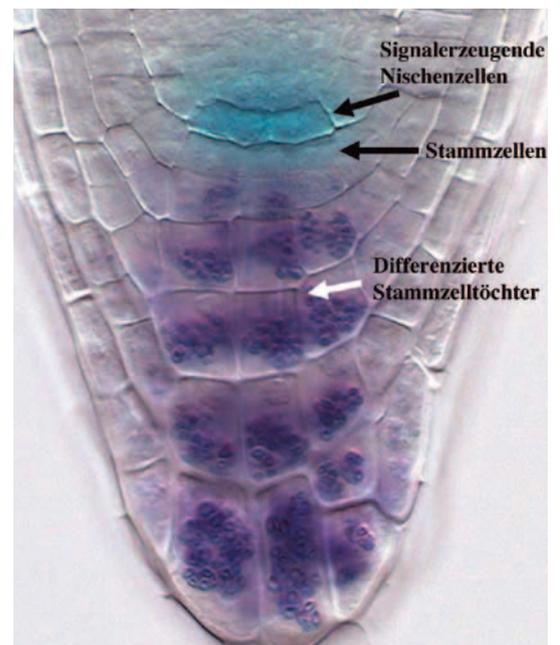
„Wenn wir nur sehen, dass es der Pflanze schlecht geht, nachdem wir einen genetischen Schalter betätigt haben, verstehen wir die zugrunde liegenden Beziehungen noch nicht“

anderer Gene beeinflusst. Er sorgt dafür, dass sich Stammzellen nicht spezialisieren und sich weiterhin teilen. Auch jene Tochterzellen, die nach der Teilung der Stammzellen in der Nische verweilen, bleiben Stammzellen. „Die restlichen Tochterzellen, die die Stammzellnische verlassen, erhalten die WUSCHEL-Signale nicht mehr“, sagt Laux. „Stattdessen sorgen andere Botenstoffe dafür, dass sie sich in spezialisierte Zelltypen differenzieren.“ Diese Tochterzellen teilen sich noch einige Male, bevor sie schließlich ihren Platz in einem Blatt, einer Wurzel oder dem Stamm finden und dort ihre jeweilige Funktion erfüllen. Ähnlich wie bei Tieren bestimmen daher Signalstoffe aus der Umgebung von Stammzellen deren Schicksal. Jedoch können pflanzliche Stammzellen nicht nur Zellen für einen speziellen Gewebetyp bilden, wie es bei erwachsenen Tieren der Fall ist – bei diesen können zum Beispiel Stammzellen im Gehirn nur spezialisierte Gehirnzellen produzieren. In Pflanzen dagegen können Stammzellen auch nach vielen Jahren noch jedes Organ neu bilden. Beim Menschen ist diese Eigenschaft auf den Embryo begrenzt.

Im Spross, dem Laux und sein Team sich bei den ersten Arbeiten widmeten, ist das Gen CLAVATA3 der Gegenspieler zu WUSCHEL. „Die Botenstoffe, die über WUSCHEL und CLAVATA3 hergestellt werden, sind bei gesun-

den Pflanzen im Gleichgewicht“, sagt Laux. „So halten sie die Anzahl der Stammzellen konstant.“ In einer Studie, die in der renommierten Fachzeitschrift „Nature“ erschienen ist, zeigte sein Team, dass in der Wurzel ähnliche Gene wie WUSCHEL und CLAVATA3 am Werk sind, obwohl der Aufbau der Meristeme sich dort deutlich von dem im Spross unterscheidet. Andere Arbeitsgruppen entdeckten, dass dies auch im dritten Meristem von Pflanzen, das im Stamm für das Dickenwachstum verantwortlich ist, der Fall ist. In tierischen Stammzellnischen sind ähnliche Regulationsmechanismen aktiv, nur die beteiligten Moleküle unterscheiden sich. „Das ist bemerkenswert, da sich Tiere und Pflanzen während der Evolution auf dem Stadium des Einzellers getrennt haben, als es noch keine Stammzellnischen gab.“

Der Freiburger Wissenschaftler hat mit seiner Arbeitsgruppe außerdem entdeckt, dass WUSCHEL-verwandte Gene auch bei der Entstehung des Embryos richtungsweisend sind.



Die Stammzellnische der Wurzel unter dem Mikroskop: Türkis sind die Zellen dargestellt, die über WUSCHEL-Signale die darunter liegenden Stammzellen erhalten. Die spezialisierten Tochterzellen der Stammzellen in der Wurzelhaube kann man an den violett markierten Stärkekörnern erkennen.

Bei der Teilung der befruchteten Eizelle bildet sich die embryonale Achse mit den zukünftigen Sprosszellen auf der einen und den Wurzelzellen auf der anderen Seite heraus. Wenn die WUSCHEL-ähnlichen Gene WOX8 und WOX9 fehlen, wird unter anderem das Hormon Auxin im Embryo nicht richtig verteilt, und es entsteht nur ein unstrukturierter Zellhaufen. „Embryozellen sind den Stammzellen ähnlich – beide sind noch nicht spezialisiert“, sagt Laux. „Daher ist es möglich, dass WUSCHEL ursprünglich zur Entwicklung von Embryonen diente.“

### Grundlagenforschung für ertragreiche Wälder

Auf der Grundlage ihrer bisherigen Untersuchungen arbeitet das Team von Laux an Anwendungen, um Pflanzen mittels der so genannten somatischen Embryogenese zu züchten, anstatt sie herkömmlich zu befruchten. Hierbei verwenden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entweder aktive Stammzellen oder aber schlafende, die zum Beispiel bei Bäumen erst dann zum Einsatz kommen, wenn der Stamm umknickt. Werden sie mit Nährstoffen und speziellen Hormonen versorgt, beginnen diese Stammzellen, sich zu Embryonen zu entwickeln – ähnlich wie es manche Pflanzen über Ableger machen. Anschließend können sie eingepflanzt werden.

„Es gibt verschiedene Gründe, weshalb es interessant ist, die geschlechtliche Vermehrung, bei der sich mütterliche und väterliche genetische Informationen vermischen, zu vermeiden“, sagt Laux. „Durch somatische Embryogenese können Züchter bestimmte Zuchtlinien exakt erhalten.“ Beispielsweise sei der Heterosis-Effekt vielversprechend: „Wenn man zwei unterschiedliche reinerbige Eltern kreuzt, kann die mischerbige Tochtergeneration besonders ertragreich sein. Die genauen Ursachen hierfür sind aber noch eines der großen Geheimnisse der Pflanzenwissenschaft.“ Wenn die Nachfolgegeneration sich durch Befruchtung weiter vermehre, mache dies den Effekt zunichte. Da in vielen Teilen der Welt eine Ertragssteigerung bei Nutzpflanzen wichtig sei, gelte die somatische Embryogenese als aussichtsreicher Ansatz in der Pflanzenzüchtung.

### Von Freiburg nach China

Die Freiburger Biologinnen und Biologen kooperieren mit einem Team der chinesischen Universität Nanjing, das sich mit Bäumen

### Zum Weiterlesen

Breuninger, H./Rikirsch, E./Hermann, M./Ueda, M./Laux, T. (2008): Differential expression of WOX genes mediates apical-basal axis formation in the Arabidopsis embryo. In: *Developmental Cell* 14/6, S. 867–876.

Sarkar, A./Luijten, M./Miyashima, S./Lenhard, M./Hashimoto, T./Nakajima, K./Scheres, B./Heidstra, R./Laux, T. (2007): Conserved factors regulate signalling in Arabidopsis shoot and root stem cell organizers. In: *Nature* 446, S. 811–814.

Laux, T. (2003): The stem cell concept in plants: a matter of debate. In: *Cell* 113/3, S. 281–283.

beschäftigt. Ihr Wissen und ihre Erfahrung mit der Modellpflanze Arabidopsis können sie gewinnbringend einsetzen: Somatische Embryogenese ist bei Bäumen eigentlich schwierig, doch die Biologen können Bäume durch WUSCHEL stimulieren, mehr Stammzellen und Embryonen zu erzeugen. Gleichzeitig erforscht die Arbeitsgruppe, wie Pflanzen sich besser gegen Schwermetalle im Boden wappnen können, welche die Stammzellnischen in den Wurzeln schädigen. „Dies ist ein sehr ehrgeiziges Projekt. Die verschiedenen Signalstoffe in der Wurzel bilden ein großes Puzzle, das wir noch nicht vollständig verstehen.“

Mit modernen Analyseverfahren wie dem Life Imaging, das Stoffwechselfvorgänge sichtbar macht, versuchen die Wissenschaftler die einzelnen Puzzlestücke zu identifizieren und das System zu enträtseln. „Eine Herausforderung ist, dass die WUSCHEL-Faktoren viele verschiedene andere Gene beeinflussen“, sagt Laux. „Die Zusammenhänge sind kompliziert, da wir immer nur einen Faktor untersuchen können, der einen relativ kleinen Beitrag zum Gesamtsystem liefert. Wenn wir nur sehen, dass es der Pflanze schlecht geht, nachdem wir einen genetischen Schalter betätigt haben, verstehen wir die zugrunde liegenden Beziehungen noch nicht. Daher setzen wir viele molekulargenetische und mathematische Werkzeuge ein, um nach und nach alle Schalter zu verstehen und zu entschlüsseln, wie Pflanzen sich entwickeln.“

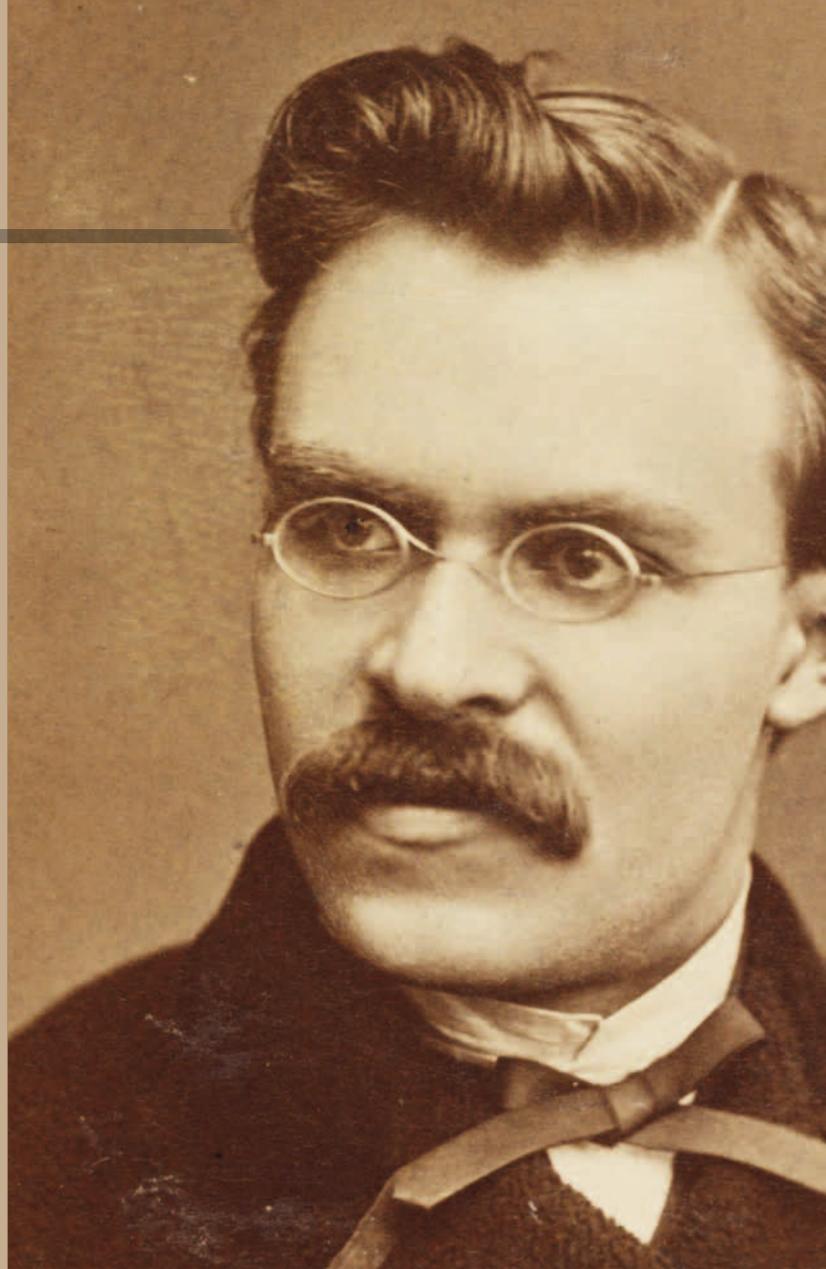


**Prof. Dr. Thomas Laux** hat in Erlangen Biologie studiert und wurde in Biochemie promoviert. Nach Forschungsaufenthalten in Los Angeles/USA und München wurde er 1999 an der Universität Tübingen habilitiert. Ein Jahr später nahm er den Ruf auf den Lehrstuhl für Molekulare Genetik und Biotechnologie der Pflanzen an der Universität Freiburg an. Von 2008 bis 2011 war er Fellow am Freiburg Institute for Advanced Studies (FRIAS). Er ist Mitglied des Exzellenzclusters BIOSS Centre for Biological Signalling Studies der Universität Freiburg. Laux koordiniert mit Partnerinnen und Partnern in Straßburg/Frankreich und Basel/Schweiz den trinationalen Studiengang Biotechnologie und ist am Trinationalen Institut für Pflanzenforschung beteiligt, das 2011 mit Mitteln der Europäischen Union gegründet wurde. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklungsbiologie und die Biotechnologie der Pflanzen. Laux untersucht, wie zelluläre Signale die Stammzellen und die Embryoentwicklung steuern und auf welche Weise sie künstlich beeinflusst werden können.

# Großer Denker, neuer Blick

An der Freiburger Universität entsteht ein Kommentar, ohne den die Forschung über Friedrich Nietzsche künftig nicht mehr auskommen wird

von *Stephanie Streif*



Nietzsche ist tot. Er starb 1900. Die Werke der großen Denkerpersönlichkeit wirken bis heute nach – und haben eine Vielzahl von Forscherinnen und Forschern inspiriert. Umso erstaunlicher ist es, dass es bis heute keinen übergreifenden Kommentar zu seinem Gesamtwerk gibt, der die Schriften erklärt und einordnet. Immerhin ist Friedrich Nietzsche für sehr unterschiedliche Disziplinen relevant: Die Literatur machte er genauso zum Thema wie die Anthropologie, Kunst, Geschichte, Psychologie, Physiologie und vor allem die Philosophie. Eine solche Gedankenvielfalt lässt sich allerdings schwer ohne Impulse von außen hervorbringen, auch wenn sich Nietzsche schon lange vor seinem geistigen Zusammenbruch 1889 zum großen philosophischen Monolithen, der alles aus sich selbst heraus schaffte, stilisierte.

Um hinter diese Kulisse zu blicken, um Nietzsche, seinem Werk und seiner Wirkung näherzukommen, hat die Heidelberger Akademie der Wissenschaften einen fächerübergreifend aus-

gerichteten Basiskommentar in Angriff genommen. Angesiedelt ist das Großprojekt an der Universität Freiburg. Es wurde 2008 mit zwei Vollzeitstellen ausgestattet und hat eine Laufzeit von 15 Jahren. Im Oktober 2012 sind die ersten beiden Bände erschienen, 2013 sollen die nächsten beiden folgen. Ein Drittel der Arbeit

**„Die großen weltanschaulichen Schlachten um Nietzsche scheinen geschlagen zu sein. Die Zeit war reif“**

wäre dann geschafft. In einem ersten Evaluationsbericht wurde die bisherige Leistung des Forschungsteams als ausgezeichnet beschrieben: „Die vorgelegten Kommentarabschnitte bieten eine Fülle neuer Erkenntnisse zu Nietzsches Schriften, ihrer Textur und ihren Quellen“, heißt es darin.

## „Nietzsche hat sich sehr wohl inspirieren lassen, und darum müssen wir zahlreiche Quellen aus dem 19. Jahrhundert in Betracht ziehen“

Friedrich Nietzsche war ein Meister im Verbergen seiner Quellen. Jetzt decken die Freiburger Kommentatoren auf, von wem sich der Philosoph inspirieren ließ. Foto: Klassik Stiftung Weimar

Warum aber wird Nietzsches Werk erst jetzt konsequent kommentiert? „Die großen weltanschaulichen Schlachten um Nietzsche scheinen geschlagen zu sein. Die Zeit war reif“, sagt Andreas Urs Sommer, außerplanmäßiger Professor für Philosophie an der Universität Freiburg und einer der Kommentatoren – neben Jochen Schmidt und Barbara Neymeyr. Forschungsstellenleiter Schmidt hatte bis 2004 an der Universität Freiburg den Lehrstuhl für Neuere deutsche Literatur inne, Neymeyr ist Professorin für dasselbe Fach. Dass Nietzsche immer wieder anders interpretiert wurde, rührt nach Meinung Neymeyrs daher, dass „sein stark sprunghaftes, aphoristisches Denken viele seiner Leserinnen und Leser dazu verführt hat, aus einzelnen Zitaten ganze Weltanschauungen zu konstruieren“. Immer wieder sei Nietzsche ideologisch vereinnahmt worden – von den Nationalsozialisten genauso wie von den Marxisten oder den Feministinnen.

Problematisch ist auch die manipulative Nachlasspolitik von Nietzsches Schwester Elisabeth, der willige Helferinnen und Helfer aus dem Weimarer Nietzsche-Archiv zur Seite standen. Immerhin waren sie es, die Texte aus Nietzsches Nachlass verfälschten und aus ihnen den „Willen zur Macht“ zusammenstückelten. Dieses in viele Sprachen übersetzte Werk galt vielen Interpretinnen und Interpreten, zum Beispiel dem Philosophen Martin Heidegger, als Quintessenz von Nietzsches Philosophie, weil sie dessen experimentelles Denken vereindeutigte und vereinfachte. Dass der Nachlass über Jahrzehnte hinweg überbewertet wurde, ist aber auch auf Nietzsches Selbststilisierung zurückzuführen: Seine wichtigsten Werke seien noch in Arbeit, ließ er seine Leser immer wieder wissen. In den Kommentaren der Freiburger Forschungsstelle wird Nietzsches Nachlass jetzt wieder zur Nebensache erklärt.

### Meister im Verbergen seiner Quellen

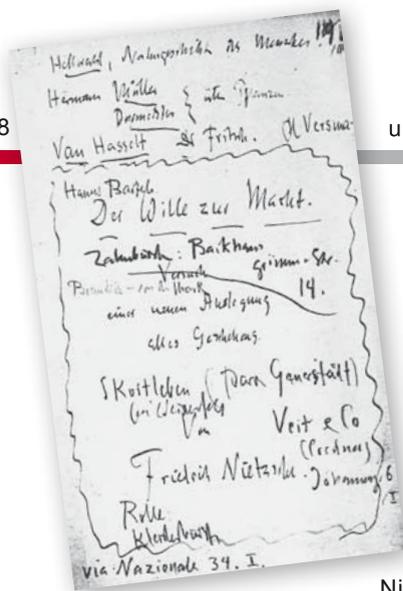
Jeder Kommentator hat sein Spezialgebiet: Während sich Sommer auf die späten Schriften ab 1888 konzentriert, bearbeitet Neymeyr die vom Denken des Philosophen Arthur Schopenhauer durchwirkten „Unzeitgemäßen Betrachtungen“ und Schmidt, als Kenner der griechischen Antike, das Erstlingswerk „Die Geburt der Tragödie“. Fachübergreifende Arbeit ist für die

Kommentierung unumgänglich. Zwar betonte Nietzsche zu Lebzeiten immer wieder, dass er selbst kaum lese, doch dem war nicht so. „Nietzsche hat sich sehr wohl inspirieren lassen, und darum müssen wir zahlreiche Quellen aus dem 19. Jahrhundert in Betracht ziehen“, sagt Neymeyr. Der Philosoph war ein Meister im Verbergen seiner Quellen. Mitunter nannte er zwar Referenzautoren, meistens aber nicht. Ein gutes Beispiel dafür ist der dritte Teil der „Unzeitgemäßen Betrachtungen“ über „Schopenhauer als Erzieher“. Der Name Schopenhauer falle darin zwar öfter, so Neymeyr, aber nur an zwei Stellen nenne Nietzsche Schopenhauers Abhandlung „Über die Universitäts-Philosophie“ ausdrücklich. „Beim direkten Vergleich beider Schriften wird aber deutlich, dass Nietzsche Wesentliches von Schopenhauer übernimmt, sogar Argumentationsstrukturen.“

### Mit viel Polemik gegen den Zeitgeist

Immer wieder bearbeitet Nietzsche die Gedanken anderer weiter und macht sie für seine Philosophie passend – sogar die Ansichten seiner Gegner: „Vor allem im Spätwerk macht er sich explizit die Autoren zu erklärten Feinden, von denen er am meisten übernimmt“, erklärt Sommer. Um nicht mit ihnen verwechselt zu werden, verschleierte er die Quellen oder grenzt sich mit viel Polemik von diesen Autoren ab. Eine ebenso schlichte wie wirkungsvolle Methode, gegen den damals vorherrschenden Zeitgeist Position zu beziehen. So konstruiert er zum Beispiel in seinen letzten Schriften die Geschichte des Judentums und des Christentums als eine Verfallsgeschichte und greift dabei auf die Theorie des Alttestamentlers Julius Wellhausen zurück, der die Entstehung des Judentums als Prozess der „Entnatürlichung“ beschreibt. Nach Wellhausen konnte das Christentum diese Entwicklung umkehren, Nietzsche zufolge verstärkt es die „Entnatürlichung“. Der Name Wellhausen taucht allerdings in Nietzsches Werken nicht auf. Seine Spur haben erst die Freiburger Kommentatoren sichtbar gemacht – wie viele andere Quellen auch. „Da ist detektivischer Spürsinn gefragt.“

Wichtige Hinweise darauf, wie Nietzsche Quellen verwertete, fanden die Kommentatoren in der in Weimar verwahrten, für die Forschungsstelle digitalisierten Privatbibliothek des Philosophen.



**Sprunghafter Denker:**  
Den Titelentwurf zu  
„Der Wille zur Macht“ aus  
dem Jahr 1885 oder  
1886 verwendete Friedrich Nietzsche später  
offenbar als Bücher- und  
Einkaufsliste.

Bild: Wikimedia Commons

Dabei lernte das Forschertrio viel über Nietzsches Arbeitsweise, die – so Sommer – extrem selektiv gewesen sei: „Gelesen hat er vor allem das, was er verwerten konnte. In vielen Büchern waren das nur ein paar Kapitel oder 20, 30 Seiten mit seinen Notizen am Rand.“ Von der eigenen Leserschaft habe er allerdings immer wieder verlangt, seine Bücher geradezu „wiederkäuferisch“ zu lesen. Nietzsche sehnte sich nach Anerkennung und Resonanz. Auch deshalb arbeitete er sich an seinen großen Vorbildern ab – etwa an dem Komponisten Richard Wagner, den er anfangs noch verehrte, gegen den er später aber polemisierte, um zugleich sich selbst zum eigentlichen Kulturerneuerer zu stilisieren. Doch der Kommentar macht jetzt einen anderen Nietzsche sichtbar. Diese Entdeckung sorgte selbst innerhalb des Forschungsteams für Irritationen: „Ich sehe Nietzsche jetzt nicht mehr als einen Vertreter irgendwelcher großer philosophischer Lehren“, sagt Sommer. „Sehr viel interessanter ist er für mich, wenn er experimentell bleibt.“

Eine wichtige, wenn auch ambivalente Denkerpersönlichkeit war Nietzsche trotzdem. Fernab von allen Systemen sei Nietzsche immer wieder dem spontanen, aphoristisch pointierten Einfall gefolgt, so Neymeyr. „Das kann auch die eigenen Denkvorgänge stimulieren und aus Denkroutinen herausreißen.“ Nietzsche bleibt also aufregend – mit dem und durch den Kommentar, der als Grundlagenwerk für eine angemessene Einschätzung Nietzsches von fundamentaler Bedeutung sein wird.

### Zum Weiterlesen

Schmidt, J. (2012): Kommentar zu Nietzsches „Die Geburt der Tragödie“. Berlin (= Historischer und kritischer Kommentar zu Friedrich Nietzsches Werken 1/1).

Sommer, A. U. (2012): Kommentar zu Nietzsches „Der Fall Wagner“ und „Götzen-Dämmerung“. Berlin (= Historischer und kritischer Kommentar zu Friedrich Nietzsches Werken 6/1).

Neymeyr, B./Sommer, A. U. (Hrsg.) (2012): Nietzsche als Philosoph der Moderne. Heidelberg (= Akademiekonferenzen 9).



**Prof. Dr. Barbara Neymeyr** hat an der Universität Münster Germanistik, Philosophie, Latinistik und Pädagogik studiert, wurde mit einer Arbeit über die Philosophie Arthur Schopenhauers promoviert und im Jahr 2000 mit einer Abhandlung über den österreichischen Schriftsteller Robert Musil habilitiert. 2006 wurde sie zur außerplanmäßigen Professorin ernannt, seit 2008 ist sie Wissenschaftliche Kommentatorin der Forschungsstelle „Nietzsche-Kommentar“ der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Die kreativen Vernetzungen zwischen Philosophie und Literatur faszinieren sie schon seit Langem. Davon zeugt unter anderem eine von ihr mitherausgegebene zweibändige Kulturgeschichte des Stoizismus. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in der deutschsprachigen Literatur des 18. bis 20. Jahrhunderts und in der Philosophie des 19. Jahrhunderts.



**Prof. Dr. Andreas Urs Sommer** wurde nach dem Studium der Philosophie, Kirchen- und Dogmengeschichte sowie der Deutschen Literaturwissenschaft mit einem philosophiehistorischen Kommentar zu Nietzsches „Antichrist“ 1998 an der Universität Basel/Schweiz promoviert. Es folgten Stationen an der Universität Princeton/USA und am Philosophischen Institut der Universität Greifswald, wo Sommer 2004 habilitiert wurde. Seit 2008 ist er Wissenschaftlicher Kommentator der Forschungsstelle „Nietzsche-Kommentar“ der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, seit 2011 außerplanmäßiger Professor für Philosophie an der Freiburger Universität. Sommers Forschung konzentriert sich auf die Philosophiegeschichte der Spätantike, der frühen Neuzeit, der Aufklärung und Moderne. Weitere Schwerpunkte sind die Theorie der Philosophiegeschichte, Skepsis und Stoa, Religions- und Geschichtsphilosophie, Ethik und Friedrich Nietzsche.

# Flächen für Nachwuchsforscher

Das Zentrum für Biosystemanalyse (ZBSA) ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Es vereint von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern geleitete systembiologische Projekte mit der Datenerhebung auf den Gebieten Genomics, Proteomics, Metabolomics, Life Imaging und der Modellierung in einem Institut.

Das ZBSA vergibt Räume an Junior-Gruppenleiterinnen und -leiter, die auf dem Gebiet der Systembiologie arbeiten und sich entweder für Drittmittelprojekte beworben haben oder bereits von Institutionen wie zum Beispiel der Deutschen Forschungsgemeinschaft oder dem Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert werden. Das Zentrum bietet ein innovatives wissenschaftliches Umfeld mit viel Raum zur Zusammenarbeit.

Das 3.000 Quadratmeter große Gebäude befindet sich in unmittelbarer Nähe zu den universitären Einrichtungen der Lebenswissenschaften und bietet jedem Nachwuchswissenschaftler neben gemeinsam genutzten Flächen einen etwa 50 Quadratmeter großen Laborraum. Eine Laborgrundausstattung wird gestellt. Das ZBSA wurde von einer gemeinnützigen Stiftung des Landes Baden-Württemberg gegründet und ist daher mit seiner Forschung gemeinnützigen Interessen verpflichtet.

**Weitere Informationen:**  
[www.zbsa.uni-freiburg.de](http://www.zbsa.uni-freiburg.de)



**zbsa**  
zentrum für  
biosystemanalyse

**Kontakt:**

ZBSA  
Dr. Michael Heinrich  
Habsburgerstraße 49  
D-79104 Freiburg  
Tel.: 0049 (0)761-203-8457  
E-Mail: [michael.heinrich@zbsa.de](mailto:michael.heinrich@zbsa.de)



**UNI  
FREIBURG**

**Impressum**

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

**Herausgeber**

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

**Verantwortlich für den Inhalt**

Rudolf-Werner Dreier,  
Leiter Öffentlichkeitsarbeit und Beziehungsmanagement

**Wissenschaftlicher Beirat**

Prof. Dr. Jürgen Bausch, Forst- und Umweltwissenschaften  
Prof. Dr. Ralf von den Hoff, Archäologie  
Prof. Dr. Gunther Neuhaus, Biologie  
Prof. Dr. Sabine Rospert, Medizin  
Prof. Dr. Margit Zacharias, Mikrosystemtechnik

**Redaktion**

Nicolas Scherger (verantwortlicher Redakteur)  
Eva Opitz  
Rimma Gerenstein

**Anschrift der Redaktion**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Albert-Ludwigs-Universität  
Fahnenbergplatz, 79085 Freiburg  
Telefon 0761/203-4301  
Fax 0761/203-4278  
E-Mail [uniwissen@pr.uni-freiburg.de](mailto:uniwissen@pr.uni-freiburg.de)

**Auflage**

10.000 Exemplare

**Fotos**

Soweit nicht anders gekennzeichnet, von der Universität.  
Foto Titelseite: Kunz

**Konzeption, Gestaltung, Herstellung**

**qu-int.** | marken | medien | kommunikation  
Alter Zollhof, Freiburg  
[www.qu-int.com](http://www.qu-int.com)

**Anzeigen**

Biggi Heil, **qu-int.** | marken | medien | kommunikation  
Telefon 0761/28288-0  
Fax 0761/28288-66  
E-Mail [uni-publikationen@qu-int.com](mailto:uni-publikationen@qu-int.com)

**Druck und Verarbeitung**

Hofmann Druck, Emmendingen

**Vertrieb**

Stabsstelle Öffentlichkeitsarbeit und  
Beziehungsmanagement

**Jahresabonnement**

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

ISSN 2194-8054

© 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)