

# Galaxis



Forschungserfolge deutscher  
Hochschulen

## Impressum

### Herausgeber

Prof. Dr. Volker Trommsdorff (Technische Universität Berlin)

Dr. Wolfgang Merten (Technische Universität Berlin)

im Auftrag von GATE-Germany,

Konsortium für internationales Hochschulmarketing

### Autoren

Frank Brunner (Berlin)

Martina Hinz (Berlin)

Carsten Jasner (Berlin)

Annekatriin Looss (Berlin)

Dr. Wolfgang Merten (Berlin)

Dr. Monika Offenberger (München)

Prof. Dr. Volker Trommsdorff (Berlin)

Andrea Walter (Berlin)

### Gesamtherstellung

W. Bertelsmann Verlag GmbH und Co. KG (wbv)

### Redaktion

Katja Dammann, wbv

### Koordination

Stefan Hase-Bergen, DAAD

Dr. Irene Jansen, DAAD

Ulrike Koch, HRK

Dr. Nina Lemmens, DAAD

Marijke Wahlers, HRK

### Layout

Marion Schnepf, lok. design division



**Erfinden**



**Erkennen**



**Existieren**



**Informieren**



**Verantworten**



**Wirtschaften**



**Zusammenleben**

# Galaxis

Forschungserfolge deutscher  
Hochschulen

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Leserinnen und Leser,

als Wissenschaftsnation blickt Deutschland auf eine jahrhundertealte Tradition zurück und zählt heute zu einem der wichtigsten Forschungsstandorte weltweit. Einen Überblick über die herausragenden Leistungen, mit denen die Universitäten, Fachhochschulen und Kunst- und Musikhochschulen in Deutschland zu dieser Erfolgsgeschichte beitragen, möchte Ihnen die vorliegende Publikation geben.

Schöpfergeist wird durch gute Standortbedingungen beflügelt. Durch ein offenes und anregendes Klima und hervorragende Ausstattung tragen die deutschen Hochschulen dazu bei, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hier ihre kreativen Kräfte entfalten können. Diese Umgebung bereitet den Boden für international erfolgreiche Forscherkarrieren und Forschungsprojekte mit weitreichender Strahlkraft.



Einige bedeutende Forschungsleistungen und Persönlichkeiten deutscher Universitäten und Fachhochschulen, die unser aller Leben in den letzten 50 Jahren besonders beeinflusst haben oder uns zukünftig beeinflussen werden, möchten wir in diesem Buch exemplarisch vorstellen. Sie haben den Wissensschatz der Welt maßgeblich bereichert und entfalten bis in die Zukunft hinein ihre Wirkung.

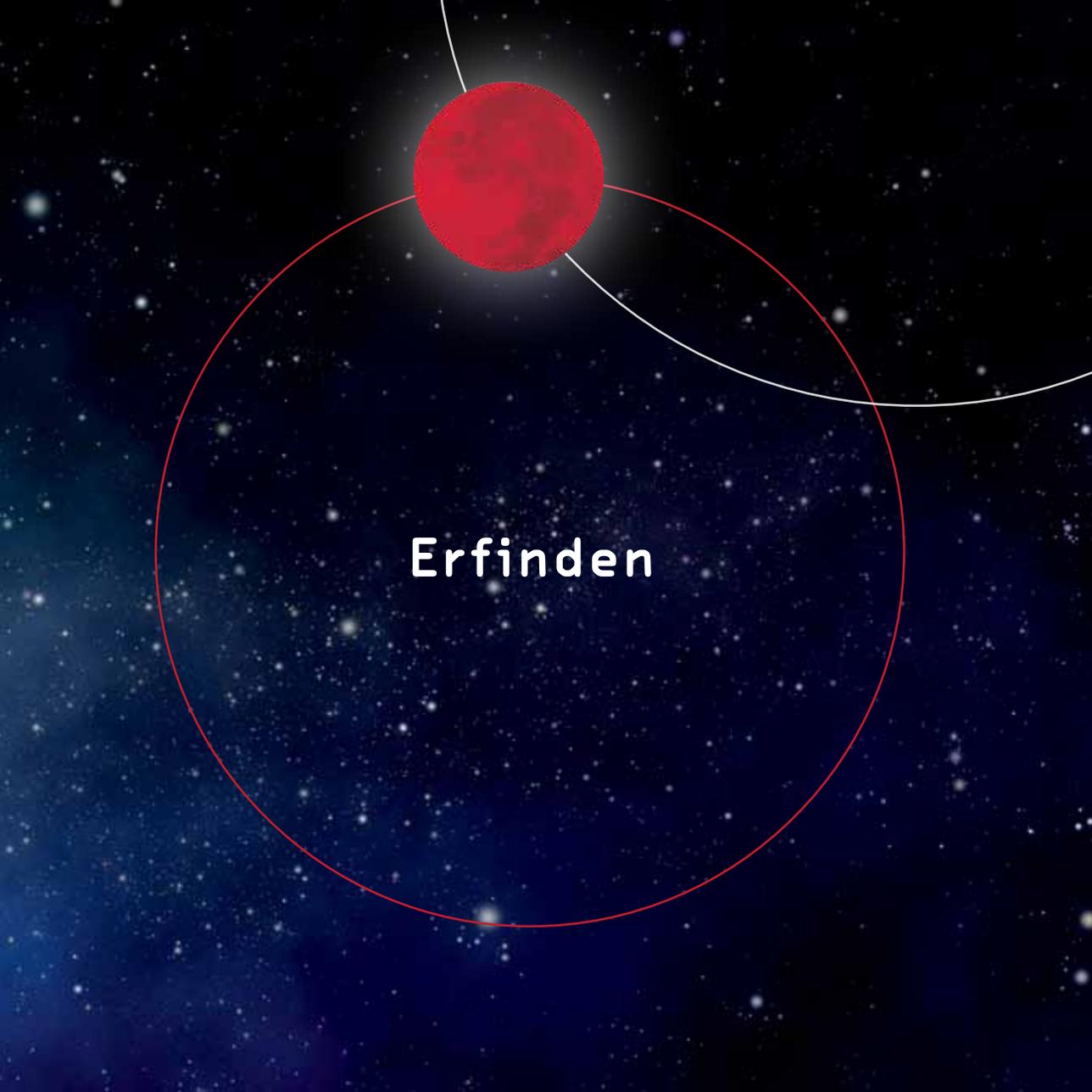
Die Auswahl bahnbrechender Entdeckungen, Erfindungen und Erkenntnisse wurde im Auftrag des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) und der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) durch Professor Volker Trommsdorff und Dr. Wolfgang Merten

Prof. Dr. Margret Wintermantel  
Präsidentin des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

vom Lehrstuhl für Science Marketing an der Technischen Universität Berlin vorgenommen. Dabei wurden bundesweit Forschungsschwerpunkte aller Disziplinen gesichtet und auf dieser Grundlage exemplarische Forschungsprojekte verschiedener Hochschultypen ausgewählt und in Zusammenarbeit mit einem erweiterten Autorenteam beschrieben. Der Schwerpunkt bei der Auswahl lag auf Forschungsleistungen der letzten Jahre.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre! Weiterführende Informationen, die Sie zum Weiterlesen einladen sollen, finden Sie in der Mitte des Buches oder durch die entsprechenden Links zu jedem einzelnen Forschungsprojekt.

Prof. Dr. Horst Hippler  
Präsident der Hochschulrektorenkonferenz



**Erfinden**



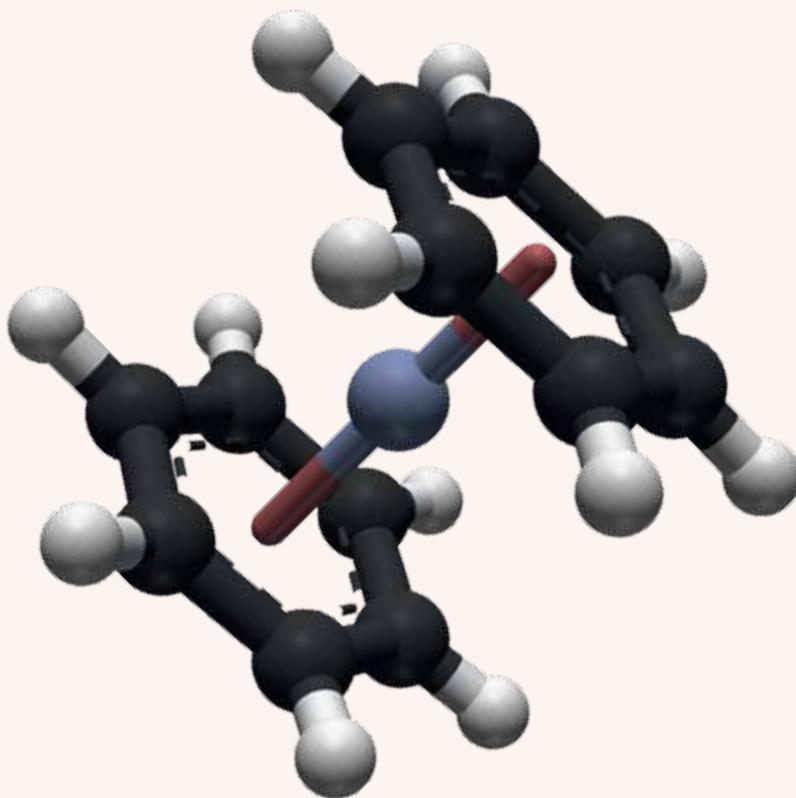
Erfinder lösen Probleme durch technische Antworten. Bereits ein halbes Jahrtausend vor der Internet-Ära sorgte Johannes Gutenberg für einen Paradigmenwechsel in der Medienwelt. Mit dem Bau der ersten Druckerpresse avancierte das Buch zum Massenartikel. Auto, Straßenbahn, Glühlampe, Fernseher, Computer und das MP-3-Format für Audio-Dateien sind ebenfalls Produkte deutschen Erfindergeistes.

Der Abschnitt „Erfinden“ ist nicht auf die Ingenieurwissenschaften im engeren Sinne begrenzt, wie sie durch unsere beiden Beispiele aus der Materialforschung, der Fertigungstechnik und der IT-Elektronik gekennzeichnet sind. So ist es auch kein Zufall, dass auf den folgenden Seiten viele Nobelpreisträger vorgestellt werden. Der Chemiker

Georg Wittig etwa, der die Voraussetzungen für kostengünstige Arzneimittelproduktion schuf. Oder der Ingenieur Ernst Ruska, dem wir verdanken, dass Elektronenmikroskope sogar Atome sichtbar machen. Und ohne den Physiker Peter Grünberg wären superschnelle Rechner noch immer Science-Fiction.

Exzellente Nachwuchsförderung für Wissenschaftler garantiert, dass „Made in Germany“ auch in Zukunft Markenzeichen für herausragende Erfindungen bleibt. In Hamburg wird ein völlig neuer Flugzeugtyp entwickelt; Dresdner Forscher wollen mit Nanotechnologie Tumorzellen rascher erkennen, und in Stuttgart plant ein Team um Nobelpreisträger Klaus von Klitzing die nächste Revolution: das Ende des digitalen Zeitalters durch die Quantentechnologie.

# Meister der Moleküle



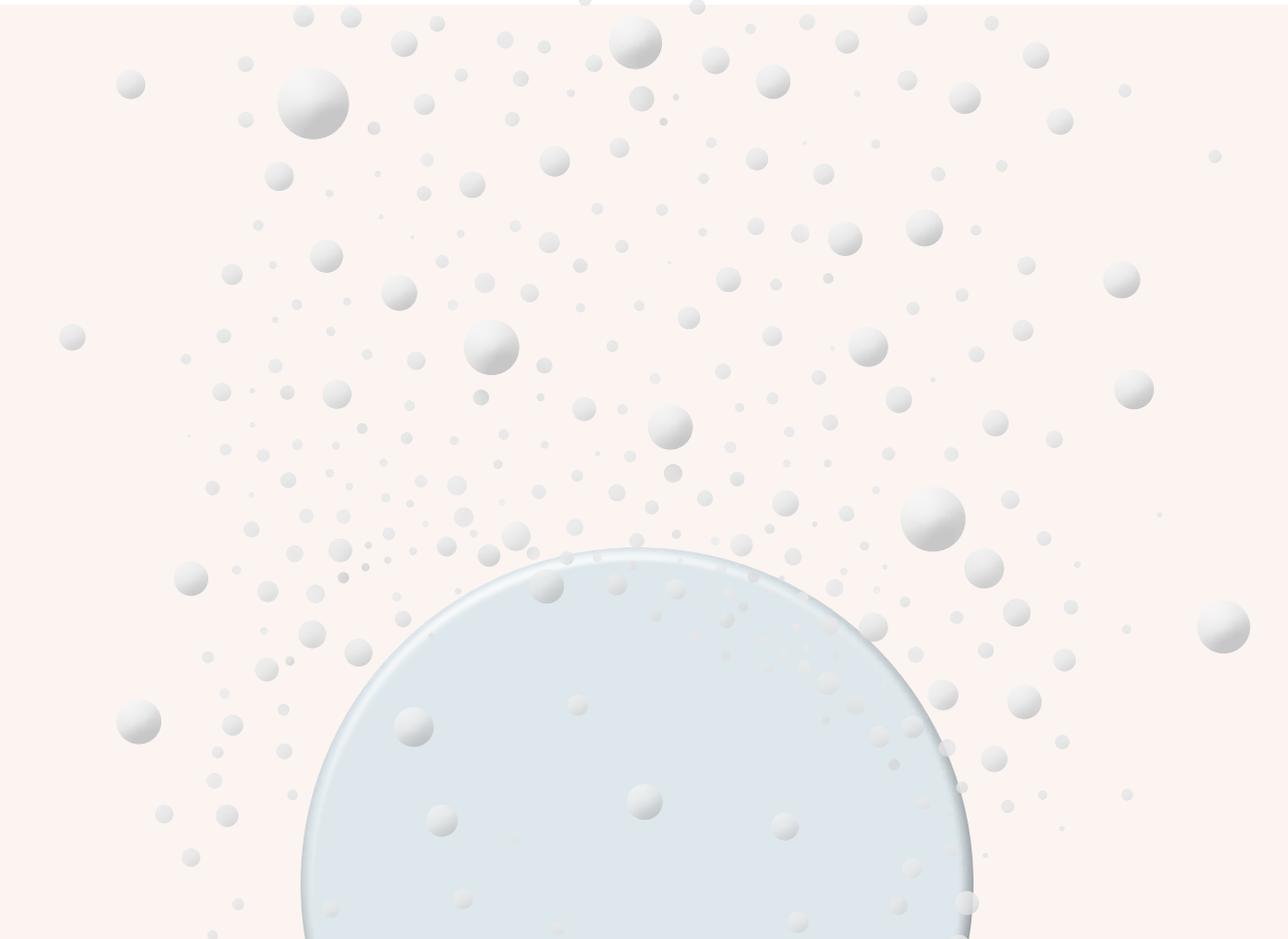
## Ein Sandwich für Chemiker

Impulsiv und nachdenklich, weltgewandt und heimatliebend, den schönen Künsten ebenso zugewandt wie der Naturwissenschaft: Ernst Otto Fischer war ein Mensch der Gegensätze. Auch als Wissenschaftler gelang es ihm, scheinbare Widersprüche zu vereinen. Er brachte Metalle und Kohlenstoffverbindungen zusammen und schuf daraus komplexe Substanzen mit zuvor unbekanntem Eigenschaften. Für seine bahnbrechenden Arbeiten wurde er 1973 mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt.

Fischer plante zunächst ein Studium der Kunstgeschichte. Doch der Zweite Weltkrieg vereitelte seine Pläne. Eher zufällig entdeckte er seine Liebe zur anorganischen Chemie. Besonders interessierten ihn Substanzen, die sowohl organische Elemente wie Kohlenstoff als auch anorganische Stoffe, wie Eisen oder andere Metalle enthalten. Er wollte verstehen, wie sich so verschiedene Materialien verbinden können und entdeckte dabei einen unbekanntem Molekülaufbau – die sogenannte Sandwich-Struktur.

Fischers Pionierleistungen auf dem Gebiet der Metall-Kohlenstoff-Bindung bildeten die Basis zur Synthese zahlreicher neuer Substanzen, darunter auch vieler Kunststoffe. Fischers Schüler entwickeln die metallorganische Chemie bis heute weiter – an Universitäten und in der Industrie.

# Vitamine aus dem Reagenzglas



## Der Weg zur einfachen Synthese komplexer Naturstoffe

Vitamin D schützt Säuglinge vor Knochen-erweichung, Vitamin C stärkt die Abwehrkräfte – in der Natur kommen diese lebenswichtigen Stoffe als kompliziert gebaute Substanzen vor. Heute kann man Vitamine einfach synthetisieren und günstig herstellen. Das ist vor allem dem 1987 verstorbenen Chemiker Georg Wittig zu verdanken. Die von ihm entdeckte und bezeichnete Carbonyl-Olefinierung wurde als Wittig-Reaktion bekannt und hat den Heidelberger Forscher weltberühmt gemacht. 1979 erhielt er für seine Arbeit den Nobelpreis.

**D**ie für unseren Körper lebenswichtigen Vitamine bestehen, wie alle anderen organischen Substanzen, aus einem komplexen Gerüst von Kohlenstoff- und Wasserstoff-Atomen. Die charakteristischen Eigenschaften einzelner Stoffe ergeben sich aus der Struktur

dieses Gerüsts sowie aus zusätzlich daran gebundenen Gruppen weiterer chemischer Elemente. Will man eine bestimmte Verbindung synthetisieren, muss man zunächst das richtige Gerüst aufbauen.

**B**ei seiner Entdeckung stand der Zufall Pate: „Wittig hat diese Reaktion weder konzipiert noch vorausgedacht. Er hat sie entdeckt. Das zeigt einmal mehr, dass zukunftssträchtige Forschung in der Regel nicht planbar ist“, sagt Reinhard W. Hoffmann, emeritierter Professor an der Universität Marburg und ehemaliger Mitarbeiter des Nobelpreisträgers an der Universität Heidelberg. Mithilfe der Wittig-Reaktion werden heute weltweit naturidentische Wirkstoffe wie Vitamine, Hormone oder Arzneimittel hergestellt.

# Die Fabrik der Zukunft

Wann sind Industrieunternehmen erfolgreich? Wenn sie Güter und Waren produzieren, die nachhaltig, kostengünstig und zuverlässig sind. Zudem müssen die Fertigungsprozesse rasch an veränderte Umfeldbedingungen angepasst werden können. Die Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart folgt diesen Leitgedanken. Wie besteht meine Firma an turbulenten, globalen Märkten? Womit können mehr Produktvarianten in kürzerer Zeit geschaffen werden? Welches Personal ist dafür geeignet? Fragen wie diese beantwortet die GSaME mit einem interdisziplinären Ansatz, der Theorie und Praxis kombiniert.

Über 60 Doktoranden aus Produktionstechnik, Werkstofftechnik, Informationstechnik, Elektrotechnik und Betriebswirtschaft werden fachübergreifend ausgebildet und forschen in Teams an Grundlagenthemen oder praxisrelevanten Lösungen. Jeder Promovierende erhält ein bis zu vierjähriges Stipendium. Mehr als die Hälfte der Zeit wird in konkrete Projekte investiert, zum Teil in Kooperation mit der Industrie.

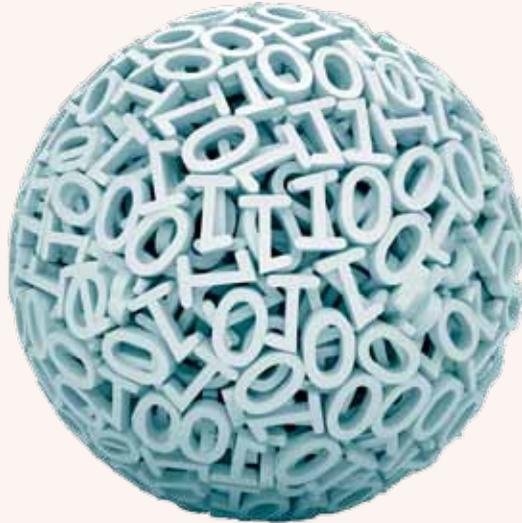


## Promovierende revolutionieren Produktionstechnologien und Organisationsstrukturen



So profitiert ein Werkzeugmaschinenhersteller von der Entwicklung eines Laserstrahls, der möglichst viele verschiedene Materialien mit gleich hoher Qualität schneidet. In einer „Lernfabrik“ simulieren Promovierende effektive Organisationsstrukturen und IT-Systeme. Betriebswirte erforschen neue Modelle für Führungskräfte, die gesellschaftliche und ökologische Entwicklungen berücksichtigen – denn Überzeugungen und Emotionen, so die Idee, beeinflussen die Leistung der Mitarbeiter und die Kaufentscheidung der Kunden. Das duale wissenschaftliche Konzept des Instituts, das Forschung und Qualifizierung, Theorie und Praxis, Management und Technologie verbindet, gilt europaweit als einzigartig und wird im Rahmen der Exzellenzinitiative von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Land Baden-Württemberg gefördert.

# An den Grenzen der Physik



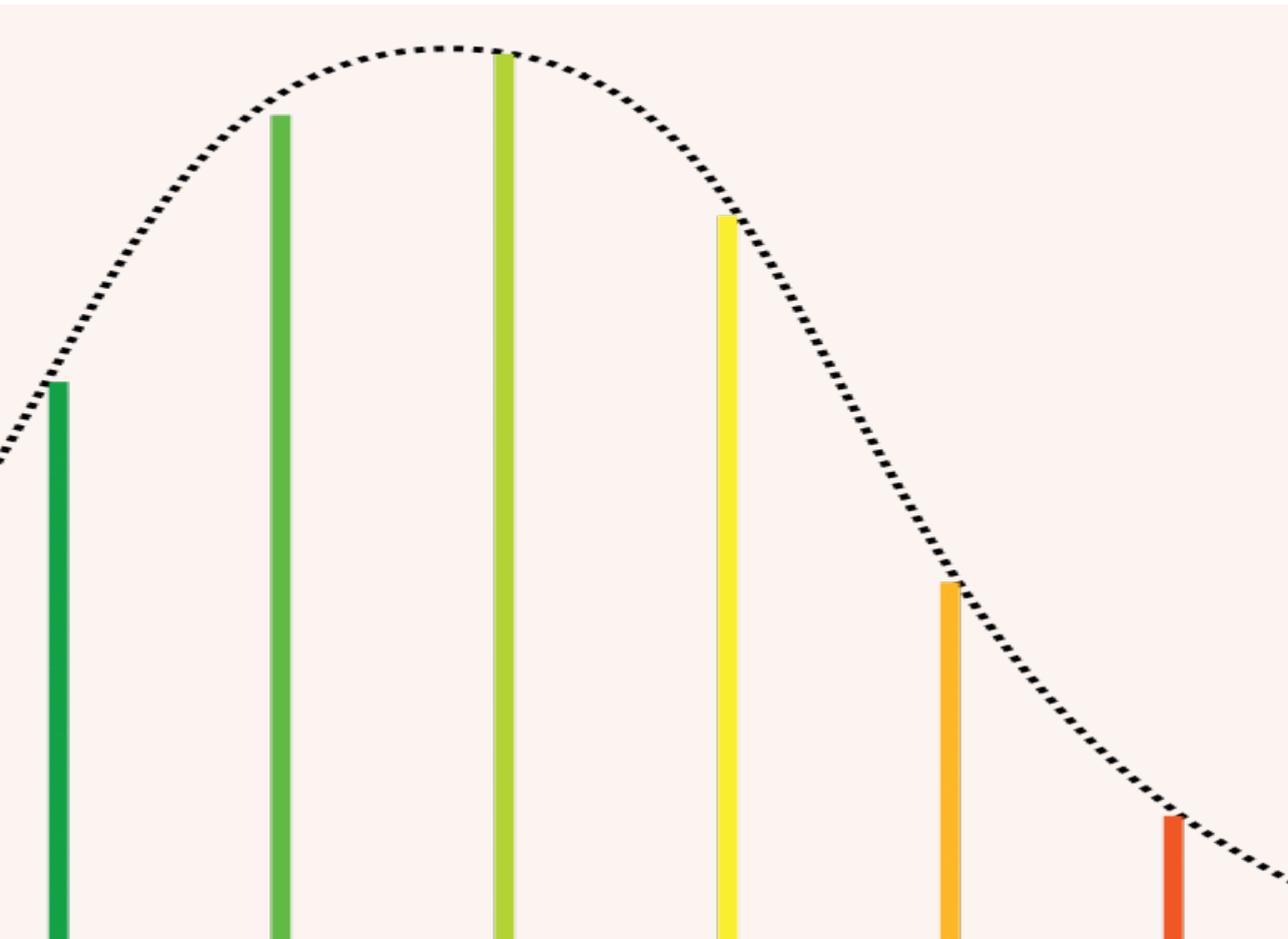
## Der Quanten-Hall-Effekt ist die Basis für völlig neue Computer

Immer wieder liefert die Grundlagenforschung Resultate, deren Bedeutung oft erst nach Jahrzehnten weiterer wissenschaftlicher Arbeit deutlich wird. Ihre Erkenntnisse können Revolutionen auslösen. Ein gutes Beispiel dafür ist der Quanten-Hall-Effekt, den der Physiker Klaus von Klitzing 1980 entdeckte.

**B**ei starken Magnetfeldern und Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunktes wächst die Spannung nicht wie normalerweise linear mit dem Magnetfeld, sondern in Stufen. Er wies nach, dass die gemessenen Widerstände ganzzahlige Teile einer Naturkonstante sind. Die „von-Klitzing-Konstante“ wurde als universelle Bezugsgröße für elektrische Widerstände festgelegt. Für seine Arbeit erhielt der Forscher 1985 den Nobelpreis.

**D**urch die „Hall-Spannung“ konnten Beweglichkeit, Driftgeschwindigkeit und Konzentration der Ladungsträger in Halbleitermaterialien erforscht werden. Ohne den Effekt wären die Nanotechnologie und die Untersuchung physikalischer Eigenschaften von Halbleitern kaum möglich. Nun scheint es, als könnten von Klitzings Resultate auch die Rechentechnik revolutionieren. Während konventionelle Computer auf Basis der klassischen Physik mit Bits arbeiten, die entweder den Zustand 0 oder 1 haben, können die Qubits in einem Quantencomputer mehrere Zustände gleichzeitig annehmen. Damit lassen sich vielleicht einmal Rechenaufgaben in Sekunden lösen, für die heute selbst die schnellsten Computer Jahre bräuchten.

# Quantensprung in der Messtechnik



## Hochmoderne Präzisionsgeräte aus München

Licht gehört zu den Grundvoraussetzungen der menschlichen Existenz. Die Erforschung dieses auf elektromagnetischen Wellen basierenden Naturphänomens ist seit Jahrhunderten Gegenstand der Wissenschaft. Erkenntnisse über Licht führten Albert Einstein zur Relativitätstheorie und bilden die Grundlagen der Quantenphysik. Laser, Atomuhren und satellitengestützte Navigation gehören zu den Errungenschaften, die auf der Erforschung des Lichts basieren.

**Z**u den Pionieren auf diesem Gebiet gehört Theodor Wolfgang Hänsch. Zusammen mit einem Team von Experten entwickelte er 1998 ein neues Messinstrument – den Frequenzkamm. Damit können die Schwingungen von Laserstrahlen mit extrem hoher Präzision gemessen werden. Sein Spektrum besteht aus Hunderttausenden extrem feiner Farblinien,

die sich nur minimal in ihren bekannten Frequenzen unterscheiden. Diese Farblinien unterteilen das sichtbare Lichtspektrum von Tiefrot bis Violett in eine präzise Skala. Sie liegen wie die Zinken eines sehr feinen Kamms nebeneinander. Daher „Optischer Frequenzkamm“. Um die Farbe eines Lasers genau zu messen, überlagert man Laserstrahl und Frequenzkamm und beobachtet ein Schwebungssignal niedriger Frequenz mit der nächsten Kammlinie. Für die genaue Erfassung von Zeiten und Längen bedeutete die Erfindung einen Quantensprung. 2005 erhielt Hänsch dafür den Nobelpreis für Physik.

**H**änschs aktuelles Hauptforschungsfeld an der Ludwig-Maximilians-Universität München ist die hochauflösende Laserspektroskopie von Wasserstoff.

# Auf den Spuren der Evolution



## Naturphänomene zur Lösung technischer Probleme nutzen



Was haben ein Klettverschluss, ein Flugzeugtriebwerk, Wikipedia und eine Taucherflosse gemeinsam? Alle vier Erfindungen beruhen auf Natur-Prinzipien. So entdeckte der Schweizer Ingenieur Georges de Mestral bei Spaziergängen mit seinem Hund, dass sich die Früchte der Großen Klette, einer Pflanzenart mit winzigen elastischen Häkchen, im Fell des Tieres verhaken. Ebenso funktioniert der Klettverschluss. Ein Strahltriebwerk kopiert das Rückstoßprinzip von Quallen, Wikipedia funktioniert wie die Schwarmintelligenz von Insekten, und die Taucherflosse funktioniert wie die Schwimmhäute von Fröschen.

**Z**ahlreiche Beispiele zeigen, dass die Evolution situationsgemäß optimal angepasste Lösungen hervorgebracht hat, von denen viele auf technische Prinzipien übertragbar sind. Wie man diese Phänomene für technische Produkte nutzen kann, untersucht die Bionik. Einer der Pioniere in dieser Disziplin ist Ingo Rechenberg, seit 1972 Professor

für Bionik an der Technischen Universität Berlin. Der gelernte Flugzeugbauingenieur entwickelte eine Windturbine, die das Prinzip der Strömungsbeschleunigung an einem gespreizten Vogelflügelende kopiert, analysierte das „Unterwasserfliegen“ der Pinguine, die Funktion der Deckfedern bei antarktischen Raubmöwen als Rückstrombremsen, entwickelte einen Minihelikopter, der wie eine Libelle fliegt, und untersuchte in der Sahara eine Glattechse, die mit minimalem Abrieb im Sand der Dünen schwimmt.

**F**ür Rechenberg ist die Bionik eine Kombination aus Naturbeobachtung und der Erfindung neuer Anwendungen. Deshalb wird den Studierenden biologisches und technisches Wissen parallel vermittelt. Ziel sei es, so Rechenberg, dass die Nachwuchswissenschaftler „das Staunen eines Kindes mit dem pragmatischen Denken eines Ingenieurs verbinden“.

# Mutter Natur als Bauzeichnerin

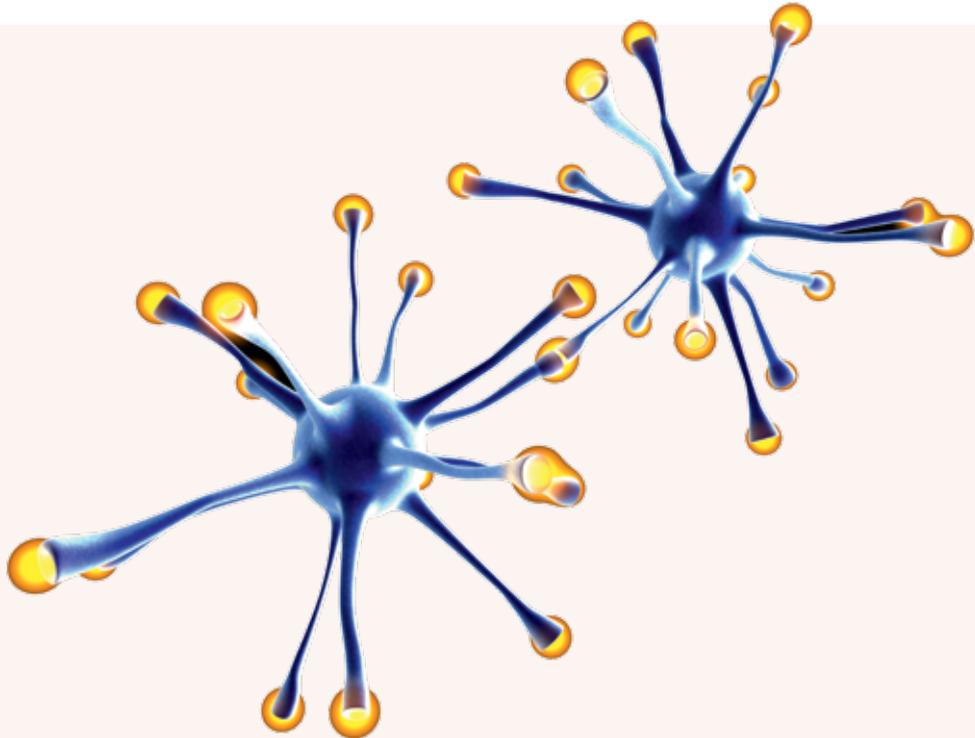
Zu den großen Zielen der Ingenieurskunst gehörte es bislang, mehr Technik auf kleinerem Raum unterzubringen. Die Körnigkeit der Materie setzt dieser Maxime der Miniaturisierung jedoch Grenzen. Die Materialwissenschaftler am Max-Bergmann-Zentrum der Technischen Universität Dresden gehen darum den entgegengesetzten Weg und entwerfen Bauelemente nach dem „Bottom-up-Prinzip“. Sie setzen einzelne Atome und Moleküle zu immer komplexeren Nanostrukturen zusammen.

**D**ie Natur dient ihnen als Vorbild. Ihre Prinzipien wurden über Millionen Jahre optimiert, etwas Effektiveres kann sich kein Mensch ausdenken. Ein Team von rund hundert Materialwissenschaftlern, Biologen, Chemikern, Physikern und Elektroingenieuren versucht darum, die Struktur natürlich vorkommender Materialien Stück für Stück nachzubilden. Die Ergebnisse könnten sowohl die medizinische Behandlung als auch die

Informationstechnologie revolutionieren. Als Inspirationsquelle dient unter anderem die Funktionsweise des Gehirns. Neuronen und Synapsen sind so geschickt miteinander vernetzt, dass sie selbst entscheiden, welchem Nachbarneuron sie Signale senden. Diese Idee wollen die Wissenschaftler mit Nanoschaltern kopieren. Eingesetzt in einem Computer wären sie 50-mal kleiner als heutige Transistoren und in der Lage, sich selbstständig zu vernetzen.

**A**ngewandt in der Medizin, könnten Moleküle auf Nanodrähten elektrische Signale abgeben, wenn bestimmte Bakterien, Viren oder DNA-Sequenzen von Tumorzellen andocken. Krankheiten ließen sich viel schneller feststellen als bisher. Eine weitere Innovation am Max-Bergmann-Zentrum sind Biomaterialien aus Silikat, Kollagen und Kalziumphosphat-Kompositen, die helfen, stark geschädigtes Knochen- oder Hautgewebe im Körper zu remodellieren.

## Materialwissenschaftler kopieren natürliche Nanostrukturen



# Kleinste Objekte sichtbar machen

50 PICOMETER =

0,000 000 000 050 METER

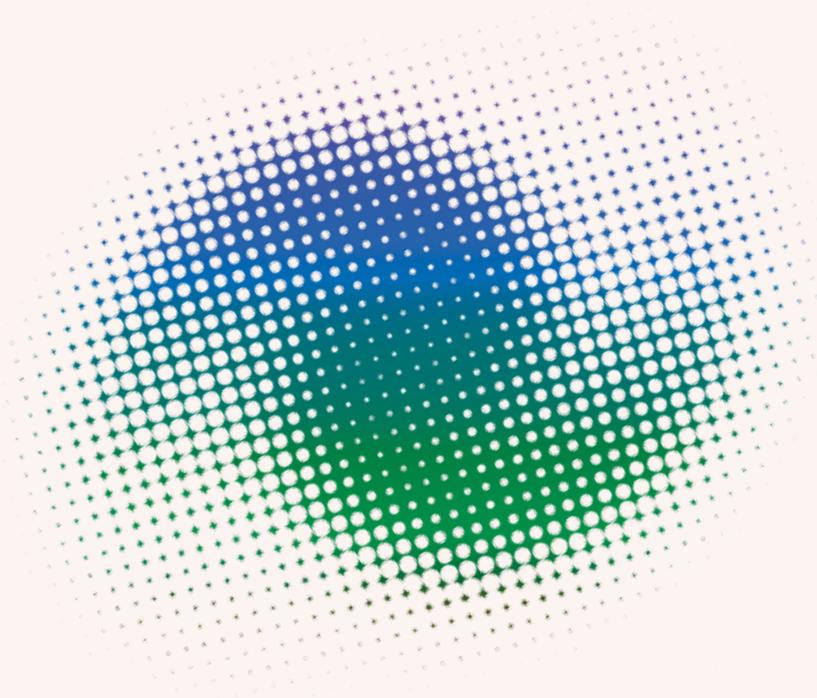
## Im Forschungszentrum Jülich steht eines der leistungsfähigsten Elektronenmikroskope der Welt

Kein Gerät demonstriert den Aufstieg der Naturwissenschaften besser als das Mikroskop. Anfang des 17. Jahrhunderts beugte sich Galileo Galilei als einer der ersten über ein selbst gebautes Lichtmikroskop. 400 Jahre später geht ein Höchstleistungselektronenmikroskop in Betrieb, das sogar atomare Strukturen auflöst. Eine Entwicklung, die der deutsche Elektroingenieur Ernst Ruska wesentlich vorangetrieben hat.

**E**in Lichtmikroskop kann Objekte maximal 1.500-fach vergrößern. Das liegt vor allem an der Eigenschaft von Lichtwellen, die zwischen 0,4 und 0,7 Mikrometer lang sind. Kleinere Strukturen werden nicht erkannt. Elektronen bewegen sich dagegen kurzwelliger als Licht. Im März 1931 gelang Ernst Ruska zusammen mit Max Knoll an der Technischen Hochschule Berlin die erste elektronenoptische Vergrößerung. 1986, zwei Jahre vor seinem Tod, erhielt Ruska dafür den Nobelpreis für Physik.

**E**ine Elektronenkanone erzeugt einen Strahl, der durch Magnetrings gebündelt wird und das zu untersuchende Objekt durchfließt. Dabei wird er abgelenkt, abhängig von der Elektronendichte der einzelnen Atome, von einem Objektiv wieder eingefangen und auf einen Bildschirm projiziert. Seither sind Blicke ins Innere von Zellen oder Kristallen möglich. Unschärfen im Randbereich der Elektronenstrahlen, sogenannte „Aberrationen“, werden seit den 1990er Jahren durch immer bessere Technologien korrigiert. Darauf basiert das Elektronenmikroskop „PICO“, das Wissenschaftler vom Forschungszentrum Jülich und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen gebaut haben und das seit 2011 Forschern aus Universitäten und der Industrie zur Verfügung steht. Mit einer Auflösung von bis zu 50 Picometern lassen sich Kristallite mit Ausdehnungen im Nanobereich messen.

# Expedition in die Welt der Atome



## Physiker forschen an Grundlagen für die Computer von morgen

Kompakte und schnelle Speichermedien sind aus der Informationsgesellschaft nicht wegzudenken; deren Kapazität wird schon nicht mehr in Megabytes, sondern in Terabytes angegeben. Meist dauert es nur Bruchteile von Sekunden, dann haben Computer Programme geöffnet; erscheinen Dateien auf dem Bildschirm. Dieses Tempo haben wir wesentlich Peter Grünberg zu verdanken. Der Physiker habilitierte 1984 an der Universität Köln und hielt als außerplanmäßiger Professor bis 2004 regelmäßig Vorlesungen und Seminare. Zusammen mit Albert Fert entdeckte er den Riesenmagneto-Widerstandseffekt (GMR) und erhielt dafür 2007 den Nobelpreis für Physik.

Jahrzehntelang hat man elektrische Ladungen genutzt, um digitale Informationen zu verarbeiten. Diese Technik stößt inzwischen an ihre Grenzen. Statt mit der Ladung von Elektronen bietet sich mit deren Eigendrehung „Spin“ ein physikalischer Effekt an, der helfen wird, die Speicherdichte der

Festplatte zu erhöhen, den Datentransfer zu beschleunigen und den Energieaufwand zu senken. Das Prinzip: Elektronen umkreisen den Atomkern mit verschiedenem Spin. Schiebt man zwischen zwei magnetisierte Klötze eine nichtmagnetisierte Schicht und wechselt dann in einem der Klötze die Richtung der Magnetisierung, so ändert sich die Durchlässigkeit für Elektronen mit bestimmtem Spin und damit auch die elektrische Leitfähigkeit. Mit diesem GMR-Effekt, 1988 von Grünberg entdeckt, arbeitet heute fast jeder Lesekopf einer Festplatte.

Seit 2011 erforschen Physiker, Informatiker und Nanotechnologen am Peter Grünberg Institut (PGI) die Grundlagen für die Informationstechnologie von übermorgen – auch der pensionierte Namensgeber ist als Gast dabei. Untersucht wird, ob man den Spin einzelner Elektronen umschalten kann, um Informationen quantenmechanisch, also in Form kleinster Teilchen zu übermitteln.

# Ein Fingerabdruck des Universums



## Vor über 50 Jahren entdeckt: der Mößbauer-Effekt zur exakten Materialanalyse

Archäologen analysieren mit der Mößbauer-Spektroskopie die Zusammensetzung von antiker Keramik, Biophysiker untersuchen das Verhalten von Proteinen, Materialforscher bestimmen Stoffe für Computer-Speicherplatten.

**I**n den 1950er Jahren experimentierte der junge Physiker Rudolf Mößbauer mit Gammastrahlen, die nach dem radioaktiven Zerfall von Atomkernen des Edelmetalls Iridium ausgesandt wurden. Er lenkte die Strahlen auf normales Iridium und stellte fest, dass sie von den Atomkernen absorbiert wurden. Normalerweise erzeugen Gammateilchen bei Emission und Absorption einen Rückstoß, wodurch sie an Energie verlieren – ähnlich einem Schwimmer, der vom Boot ins Wasser springt und dabei das Boot zurückstößt. Die Gammateilchen haben dann nicht mehr genug Energie, um Iridiumkerne anzuregen.

**B**indet man jedoch die Iridium-Atome in ein Kristallgitter – vertäut man das Boot mit vielen anderen –, federn Gitter beziehungsweise die Boot-Plattform den Stoß ab. Die Gammateilchen behalten ihre Energie und können von anderen Iridium-Atomen absorbiert werden. Das ist der Mößbauer-Effekt. Mit seiner Hilfe werden exakte Messungen möglich, die verraten, wie das untersuchte Atom gebunden ist. Chemische Veränderungen führen zu einem Wandel des Absorptionsverhaltens. Jeder Stoff liefert somit ein typisches Muster, eine Art Fingerabdruck. Mößbauer erhielt für seine Entdeckung 1961 im Alter von 32 Jahren den Nobelpreis. Anschließend baute er an der Technischen Universität München das Physik-Department auf; er verstarb im September 2011. Zuletzt stellten mit dieser Methode Roboter auf dem Mars fest, dass auf dem roten Planeten einst Wasser geflossen sein muss.

# Fliegen wie ein Vogel

Mit dem Airbus A 380, dem größten Passagierflugzeug der Welt, stößt der konventionelle Flugzeugbau an technologische und wirtschaftliche Grenzen: noch größer, schneller, weiter geht nicht. Die Alternative ist ein extrem flaches Flugobjekt namens BWB AC 20.30. Es sieht aus, als komme es aus einer anderen Galaxie – wird aber in Hamburg gebaut. Am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg forschen Nachwuchswissenschaftler und Studierende an einem ungewöhnlichen Flugzeugtyp.

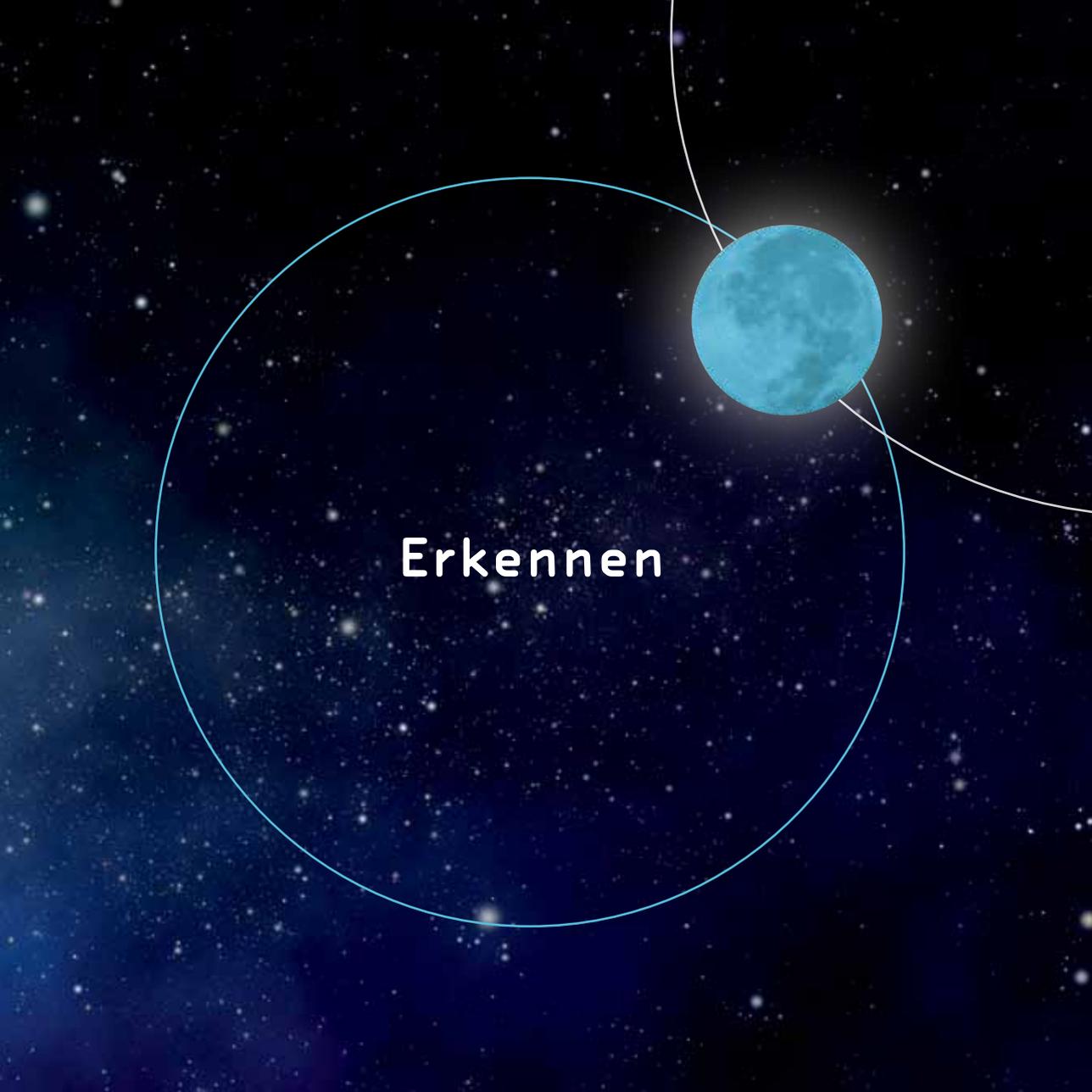
**B**eim Flugzeug mit „Blended-Wing-Body“ (BWB) sind Rumpf und Tragflächen nicht klar abgegrenzte Teile der Maschine, sondern gehen fließend ineinander über. Das sorgt für wesentlich mehr Auftrieb und einen geringeren Luftwiderstand. Diese Flugzeuge kopieren die Aerodynamik von Vögeln und sehen ihnen deshalb auch ähnlich. Potenziell verbrauchen sie bis zu einem Viertel weniger Treibstoff als herkömmliche Flieger. Zudem können tiefgekühlte Tanks in die großen Flügel integriert werden, sodass Wasserstoff als Antriebsenergie genutzt werden kann.

**I**nnovativer Flugzeugbau hat in Hamburg eine lange Tradition. 30.000 Menschen arbeiten derzeit in dieser Branche. Die Studierenden um den Mentor Prof. Dr.-Ing. Thomas Netzel haben ambitionierte Pläne. Spätestens im Jahr 2030 soll der Prototyp eines BWB AC 20.30 zum Jungfernflug starten. 900 Passagiere können dann vielleicht ohne Zwischenstopp um die halbe Welt fliegen.

## Wissenschaftler und Studierende entwickeln einen neuen Flugzeugtyp



ERFINDEN

The image features a dark blue, star-filled space background. A large, thin, light blue circle is centered in the lower half of the frame. In the upper right quadrant, a bright blue planet with a textured surface is shown. A thin, white line representing a ring system or orbit extends from the planet, passing through the top of the large blue circle. The German word "Erkennen" is written in white, bold, sans-serif font in the center of the large blue circle.

**Erkennen**

Historisch sind die Geisteswissenschaften den experimentellen Naturwissenschaften gefolgt, denn sie sind die Antwort auf die Herausforderungen des naturwissenschaftlichen Fortschritts, der sich sowohl in der Technik wie auch in den Humanwissenschaften zeigt. Wenn der Forschungsprozess in den Naturwissenschaften die Natur unter dem Gesichtspunkt der Möglichkeiten begreift, die sie zur Erweiterung unserer technischen Verfügbarkeit bereithält, sehen die Geisteswissenschaften ihre Aufgabe darin, Sinnzusammenhänge herauszuarbeiten. Illustriert werden die Herausforderungen der Naturwissenschaften in dieser Publikation durch Cramers Arbeiten zur Entschlüsselung der Sprache der Gene, Jensens Schalenmodell, die Forschungen zur Architektur der Zellen und Meyers Evolutionsbiologie.

Welcher Art die Antwort der Geisteswissenschaften sein kann, zeigt ein Befund des Kunsthistorikers Klaus Bredekamp. Er berichtet, dass noch im 14. Jahrhundert, auf dem Höhepunkt der Renaissance, in Siena eine antike Venusstatue zerschlagen wurde, weil man sie für eine Reihe militärischer Niederlagen verantwortlich machte. Wahnhafte religiöse Verzerrungen in der Moderne zeigen uns, dass der Fortschritt der Erkenntnis so fragil ist wie die zivilisatorischen Standards, in die sie eingebettet sind. Doch bleibt der Antrieb, mehr über die Realitäten der Welt zu erfahren, um vor Rückschlägen gewappnet zu sein. Dazu dient in besonderer Weise das Historische Wörterbuch der Philosophie, an dem zwei Forschergenerationen gearbeitet haben. So entsteht das vermeintliche Paradoxon: Entschleunigung hilft, um mit der Entwicklung Schritt halten zu können.

# Was die Gene zur Wirkung bringt

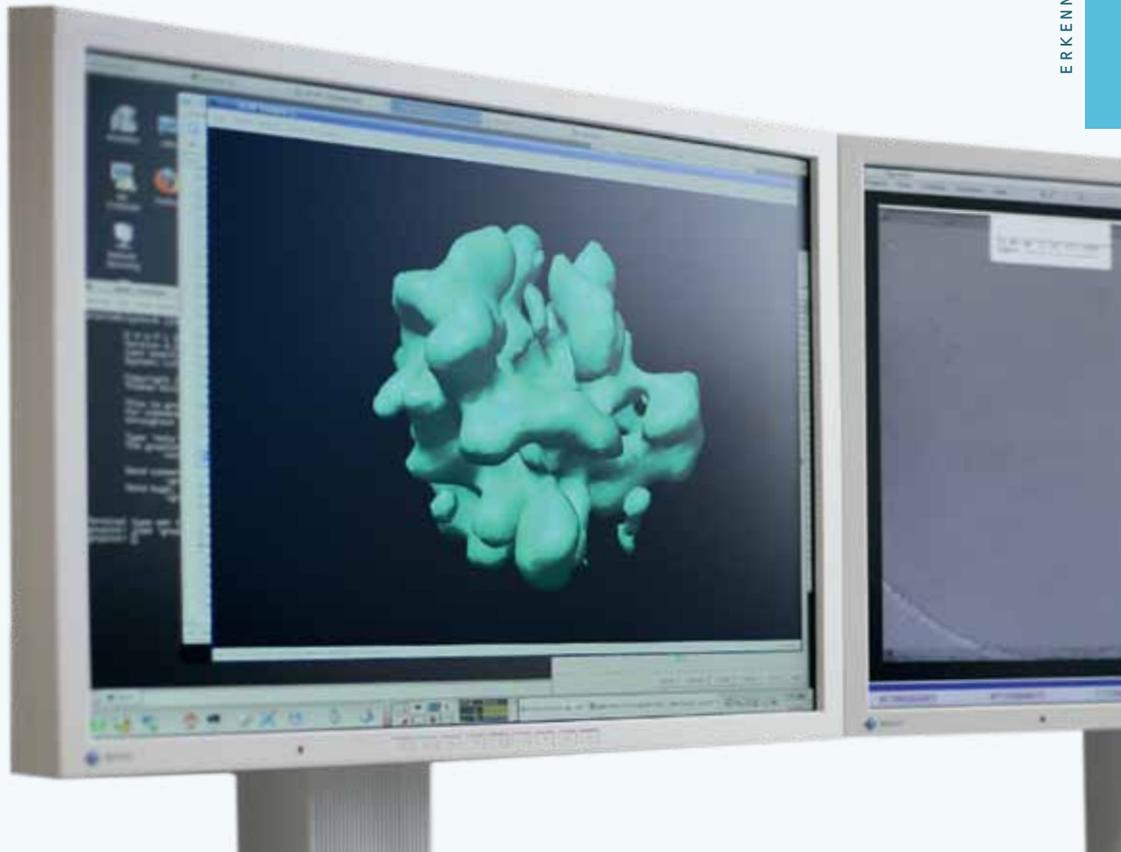
30.000 Gene machen einen Menschen aus, 6.000 sind es bei der Bäckerhefe und rund 100.000 beim Kohl. Längst kennen wir die Genome hunderter Organismen und sogar die Sequenz ihrer Bausteine. Doch mit diesem Wissen allein lässt sich wenig anfangen, meint der Chemiker Patrick Cramer: „Die spannende Frage ist doch: Wie kommt die Zelle an die Information heran, die in all diesen Genen steckt? Und wie übersetzt sie sie in eine Funktion, die etwas im Körper bewirkt?“

Um diese Übersetzungsmaschine der Zelle zu verstehen, macht sich Cramer ein Bild von ihren Bestandteilen: „Durch die Röntgenstrukturanalyse lässt sich der atomare Aufbau auch von sehr großen und asymmetrisch geformten Makromolekülen darstellen.“ Mit einem speziellen Cryo-Elektronenmikroskop versucht Cramers Team auch die räumliche Struktur all jener Biomoleküle zu erfassen, die bei der Abschrift der genetischen Information

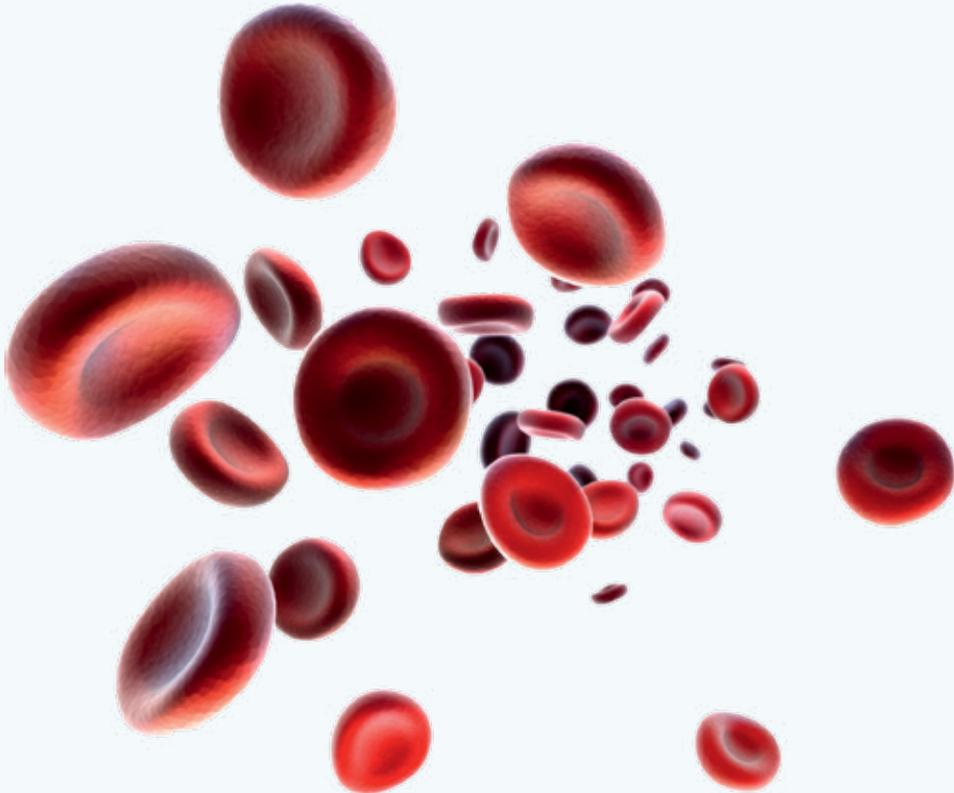
in komplexen Verbänden zusammenarbeiten. So soll Schritt für Schritt die Architektur der gesamten Übersetzungsabläufe enthüllt werden. Einen der wichtigsten molekularen Dolmetscher hat Patrick Cramer bereits sehr genau beschrieben, die RNA-Polymerase II, kurz Pol II. Nun will er ihre großen Zwillinge Pol I und III erforschen: Sie sind von zentraler Bedeutung für das Zellwachstum; ihre Fehlsteuerung kann zu Krebs führen.

Cramer erläutert: „Wir wollen das weitgehend ungelöste Problem der Genregulation mit neuen Mitteln angehen und setzen dabei auf die molekulare Systembiologie.“ Der Chemiker wurde für seine Leistungen mit zahlreichen Preisen geehrt. Nach Stationen in Cambridge, Grenoble und Stanford zog es den Spitzenforscher nach München an die Ludwig-Maximilians-Universität, wo er seit 2004 das Gen-Zentrum leitet.

# Molekulare Übersetzer genetischer Informationen



# Architekten für die Bausteine des Lebens



## Die Zellstruktur verändern, um schwere Krankheiten zu besiegen



Joachim Spatz ist so etwas wie ein Innenarchitekt und gestaltet als Baumeister der Biologie winzige Räume. An der Universität Heidelberg und am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (Stuttgart) beschäftigt er sich mit menschlichen Zellen und versucht den Aufbau von Zellen – also ihre Architektur – zu beeinflussen. Seine Forschung trägt viel zum Verständnis zellulärer Veränderungen bei.

**W**arum gehen Krebszellen auf Wanderschaft, und wie machen sie das? Um Antworten zu bekommen, muss man in den Nano-Kosmos der Zellen eintauchen, ohne diese zu zerstören. Es müssen winzige Kräfte gemessen werden, die auf das Zytoskelett der Zellen einwirken, das ihnen mechanische Eigenschaften verleiht. Der Pionier auf diesem Gebiet ist Joachim Spatz. Er hat die sogenannte Nanolithographie geprägt. Zu seinem Team gehören Physiker, Chemiker und Biologen. Sie wollen eine Brücke schla-

gen von der Nanotechnologie zur Medizin, um bessere Implantate herzustellen und die Krebsforschung voranzutreiben.

**S**patz bringt Zellen gezielt mit bestimmten Biomolekülen in Kontakt. „Diese Moleküle bestehen aus chemischen Substanzen, die wie Hände nach Rezeptoren der Zelle greifen und deren Position verändern können.“ Nervenzellen sind anders gebaut als Knochen- oder Blutzellen, und die Funktion einer Zelle bestimmt ihre Struktur. Dieser Satz gilt auch umgekehrt. Indem Spatz die Zell-Architektur verändert, verändern sich auch die biochemischen Signale, die dann wiederum andere Gene aktivieren. Für kranke Menschen kann diese Forschung einen großen Nutzen haben. Vielleicht lassen sich künftig Biomoleküle als Rezeptoren von Stammzellen in Haut- oder Herzzellen umwandeln. Immunzellen könnten spezifische Infektionskeime abwehren und sogar Krebszellen bekämpfen.

# Licht im Dunkeln



## Mit High-Tech-Mikroskopie aus Göttingen das Gehirn beim Denken beobachten

Während Sie diese Worte lesen, arbeiten hunderte Milliarden Neuronen in Ihrem Gehirn daran, dass Sie wahrnehmen, verstehen, vielleicht ja auch dazulernen und im besten Fall das Gelesene später erinnern. Eigentlich sind es nur Moleküle, die diese Prozesse steuern und ausführen. Doch wie sie in ihren größeren Netzwerksystemen arbeiten, ist angesichts der Komplexität des menschlichen Gehirns ein nahezu unerschöpfliches Forschungsfeld. Die größte Herausforderung besteht darin, die bisher in der Molekularphysiologie gewonnenen Erkenntnisse auf medizinische Zwecke anzuwenden, um künftig Krankheiten wie Parkinson, Schizophrenie oder Alzheimer besser therapieren zu können.

Dieses ambitionierte Ziel verfolgt der Exzellenzcluster und das DFG-Forschungszentrum „Mikroskopie im Nanometerbereich und Molekularphysiologie des Gehirns (CNMPB)“ in Göttingen. Molekulare Prozesse und Interaktionen in neuronalen Zellen müssen hierfür unter die Lupe genommen werden. Voraussetzung dafür ist die hochauflösende Mikroskopie (Nanoskopie), die in dem Exzellenzcluster einen Schwerpunkt bildet. Hier sollen Mikroskopiemethoden entwickelt werden, mit denen molekulare Vorgänge innerhalb von lebenden Zellen mit einer hohen räumlich-zeitlichen Auflösung abgebildet werden können.

# Ausdruckstanz im Wabenheim

Als Karl von Frisch 1973, gemeinsam mit Nikolaas Tinbergen und Konrad Lorenz, den Nobelpreis erhielt, wurde er für seine Forschungen über das Hör- und Sehvermögen von Fischen, aber vor allem für seine spektakulären Untersuchungen über das Verhalten der Westlichen Honigbiene geehrt. Er fand heraus, dass Bienen Pflanzen am Geruch unterscheiden und dass sie eine dem Menschen ähnliche Farbwahrnehmung haben, dass sie durch das hohe Auflösungsvermögen ihres Facettenauges Bewegungen gut wahrnehmen können und dass ihnen kleine Himmelsausschnitte reichen, um Richtungs- und Zeitinformationen zu erhalten, da sie über eine innere Uhr mit drei verschiedenen Synchronisations- und Taktmechanismen verfügen. So können sie Futterstellen genau dann anfliegen, wenn diese Nahrung bereithalten.

**D**och wie erfolgt der Wissenstransfer? Hier machte von Frisch seine spektakulärste Entdeckung: Die Bienen haben zwei unterschiedlich choreografierte Tänze: Der Rundtanz dient zur Information über die Futterstellen und Nahrungsquellen in näherer Umgebung, der Schwänzeltanz als Navigator für weiter entfernte Objekte. Dabei bewegt sich die tanzende Biene schwänzelnd auf der senkrecht hängenden Wabe im Bienenstock ein Stück geradeaus und kehrt in einem Halbkreis zum Ausgangspunkt zurück. Die Tanzrichtung zeigt die Richtung der Futterstelle an, die Tanzgeschwindigkeit und die Anzahl der Läufe die Entfernung.

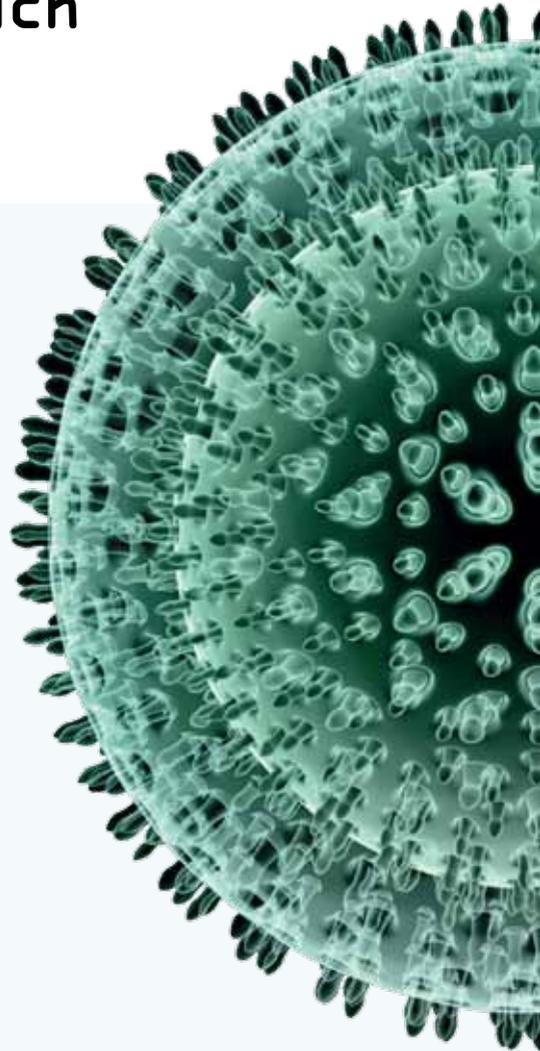
**D**ie Entdeckungen des Biologen beflügelten auch die Verhaltensforschung an Vögeln, Walen, Affen und vielen anderen Tieren.

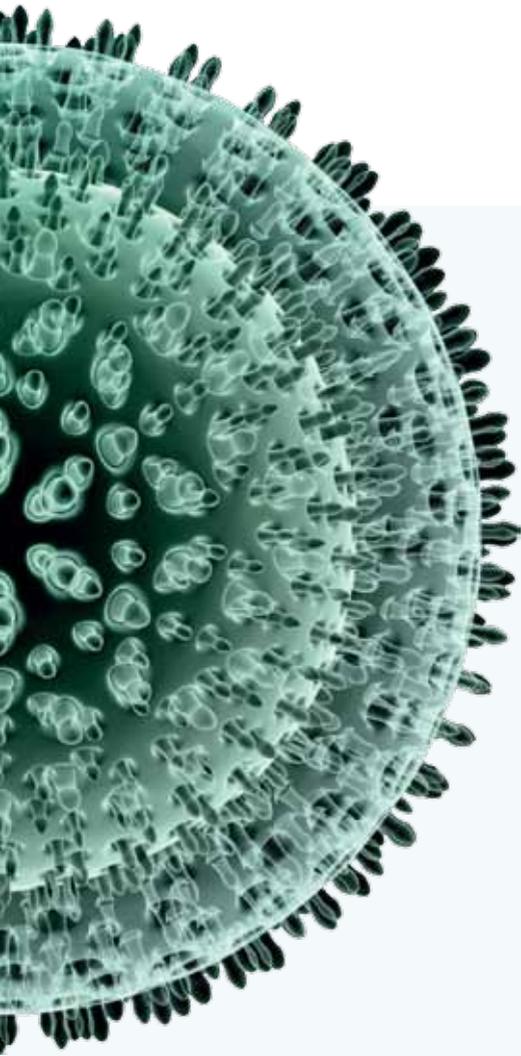
# Nobelpreisträger Karl von Frisch entschlüsselte die Sprache der Bienen



# Dolmetscher im Reich der Bakterien

Die kleinsten und zugleich vielfältigsten Lebewesen unserer Erde verständigen sich durch chemische Signale. Mikroorganismen sind überall. Sie besiedeln Flora, Fauna und auch den Menschen. Einige machen uns krank, andere sind für die Gesundheit unverzichtbar. Viele Arten sichern unsere Lebensgrundlagen. Sie reinigen Wasser und Luft oder sorgen für fruchtbare Böden. Wer die Sprache der Bakterien versteht, kann ihre Eigenschaften nutzen und ändern – etwa um Krankheiten zu verhindern. Dieses Ziel verfolgt die Graduiertenschule Jena School for Microbial Communication, kurz JSMC.





## Forscher entschlüsseln, wie Mikroorganismen kommunizieren

**M**ikrobiologische Forschung hat in Jena Tradition. In gemeinsamen Projekten befassen sich universitäre und außeruniversitäre Forschungsinstitute unter anderem mit der Entwicklung neuer Antibiotika, der Säuberung verseuchter Erde oder der Produktion industriell verwertbarer Biomoleküle.

**V**om Expertenwissen profitiert besonders der wissenschaftliche Nachwuchs: Drei internationale Graduiertenkollegs haben sich 2006 unter dem Dach der JSMC an der Universität Jena zusammengeschlossen. Die Einrichtung bietet etwa 200 Doktoranden aus aller Welt eine fundierte Ausbildung von der mikrobiologischen Grundlagenforschung bis hin zu deren industrieller Anwendung. Für internationale Vernetzung sorgen Kooperationsprojekte im Ausland, wissenschaftliche Veranstaltungen mit internationalen Gästen und die Teilnahme an Konferenzen. Denn für Wissenschaftler wie für Mikroben gilt: Kommunikation ist das A und O.

# Im Kosmos der Sprachen und Literaturen

*»Auch das, meine Liebe,  
ist wieder ein Zeichen, dass wir  
schleunigst hier weg müssen.«*

## Transnationale Literaturwissenschaft und moderne Komparatistik am Peter-Szondi-Institut

„Als wir in Bergen-Belsen aufgehalten wurden, sagte meine Großmutter zu ihrer Gesellschaftsdame, weil es keine Butter gab: ‚Auch das, meine Liebe, ist wieder ein Zeichen, dass wir schleunigst hier wegmüssen‘. Das war alles.“ Diese von Klaus Reichert wiedergegebene und kommentierte Anekdote Szondis, die als Moment gelebter Verknennung grauenhafter entsetzt als die Erinnerung an die erlebten Gräuelpunkte selbst, erlaubt Einblicke in die Methode Szondi. Sie öffnet den Blick für die Bedeutung des scheinbar Nebensächlichen und vermeintlich Unerheblichen.

**N**icht die Sinndeutung steht im Zentrum. Szondi wollte das Gedicht für sich sprechen lassen, anstatt darüber zu sprechen. Das schloss auch ein, dass er auf einer Nicht-Verallgemeinerbarkeit der an einem Gedicht gewonnenen Erkenntnisse bestand. Ein wesentlicher Beitrag Szondis war die Internationalisierung der Literaturwissenschaft in der Bundesrepublik. Immer wieder thematisierte er die Situation der Juden in Deutschland,

warnte vor einem neuen Antisemitismus und reflektierte über die gesellschaftliche Verantwortung des Wissenschaftlers. Die Anziehungskraft Szondis zeigt sich an den Namen der Gäste, die im Laufe seines Wirkens eine Einladung an das Institut für Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft der Freien Universität Berlin annahmen: Theodor W. Adorno, Jacques Derrida, Jean Starobinski oder Gershom Scholem.

**H**eute trägt das Institut den Namen Peter Szondi-Institut. Auf dem Gebiet der Komparatistik gehört es zu den international führenden Einrichtungen und ist an Sonderforschungsbereichen und Graduiertenschulen der bundesweiten Exzellenzinitiative beteiligt. Das Peter Szondi-Institut vergibt regelmäßig Gastprofessuren an renommierte Schriftsteller und Übersetzer. Als Erste lehrte im Sommersemester 2005 die spätere Literatur-Nobelpreisträgerin Herta Müller. Andere waren Ilja Trojanow, Sibylle Lewitscharoff und Rainald Goetz.

# Die Ästhetik des Augenblicks



## Kunst- und Bildgeschichte von der Antike bis zur Gegenwart

Was verbindet Hans-Peter Briegel, in den 80er Jahren Verteidiger in der deutschen Fußballnationalmannschaft, mit dem Fresko der Anghiari-Schlacht? Ein Sportfoto von 1982 und das Renaissancegemälde von Leonardo da Vinci bringen es an den Tag. Wir sehen Extremerfahrungen, Menschen in nicht zu steigender körperlicher und psychischer Anspannung. Die szenische Übereinstimmung bis ins Detail ist verblüffend. Die Choreografie der Motive besticht durch ihren kompositorischen Reiz.

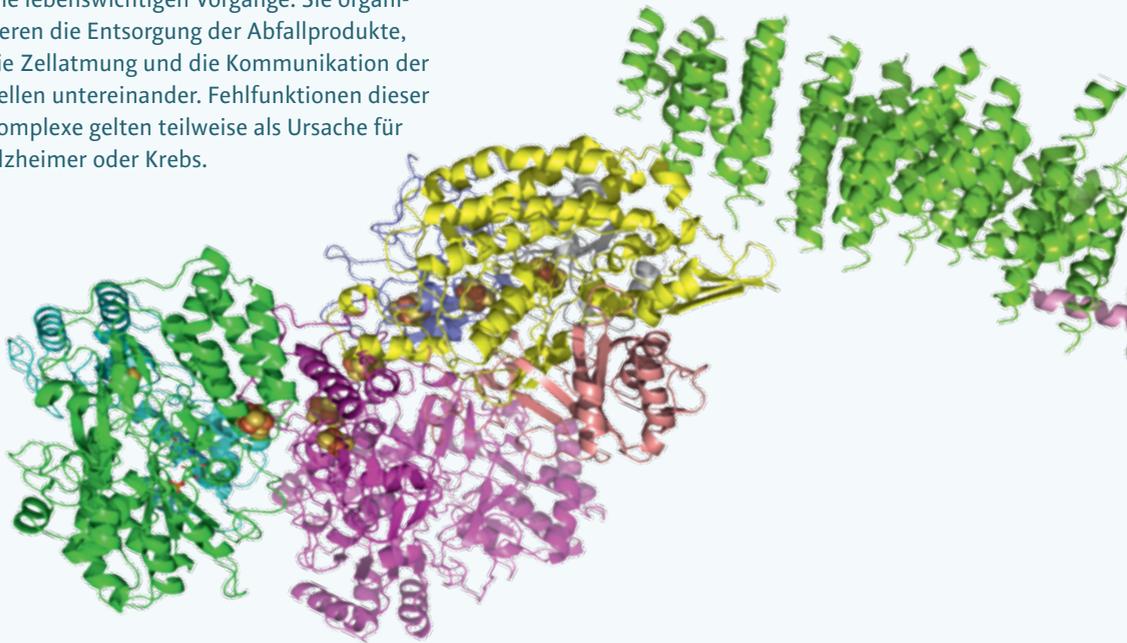
**A**ufgespürt hat sie einer, der Kompetenz im Profanen wie in der Hochkultur besitzt: Horst Bredekamp. Er vertraut darauf, dass Bilder ausdrücken können, was der Sprache nicht gelingt. „Es dient daher beiden, Worten und Bildern, sich wechselseitig zu erhellen. Sprache stützt das Bildverständnis, Bilder stützen die Spracherkenntnis.“ So können

wir die Ballspiele der Moderne als metaphorische Wiederbelebung der Kriegsszenen des 16. Jahrhunderts dechiffrieren. „Mit jedem Spiel fängt alles neu an, ist jeder Spieler im Grunde nackt, wie der Künstler vor der Leinwand.“

**E**s lässt sich nicht alles rationalisieren, und gerade darin zeigt sich, auch im Fußball, die Unhintergebarkeit ästhetischer Regeln: „Die Analyse der Laufwege und aller Spielzüge, alle taktischen Statistiken haben auf das Spiel selbst wenig Einfluss gehabt“. Kein Trainer würde das Durchstolpern durch die Mitte predigen und dem eleganten Spiel über die Flügel abschwören, auch wenn Statistiken belegt haben, dass Ersteres erfolgreicher sei. Das Spiel über die Flügel sieht eben besser aus. Die Ikonografie Bredekamps schärft unseren Blick, nicht nur beim Fußball.

# Schwere Krankheiten zellbiologisch erforschen

Es ist zwar keine besonders romantische Vorstellung, aber der menschliche Organismus gleicht einem gigantischen Maschinenraum. In jeder Zelle steuern Bio-Maschinen – sogenannte makromolekulare Komplexe – alle lebenswichtigen Vorgänge. Sie organisieren die Entsorgung der Abfallprodukte, die Zellatmung und die Kommunikation der Zellen untereinander. Fehlfunktionen dieser Komplexe gelten teilweise als Ursache für Alzheimer oder Krebs.

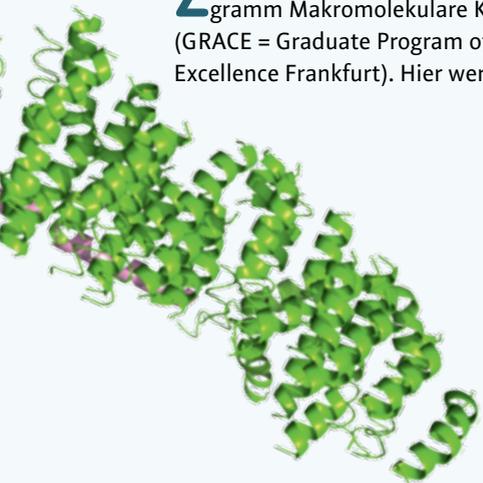


## Am Exzellenzcluster „Makromolekulare Komplexe“ werden zelluläre Ursachen von Krebs und Alzheimer erforscht

**D**ie Erforschung dieser Krankheiten steht im Mittelpunkt des im November 2006 gegründeten Exzellenzclusters Makromolekulare Komplexe (CEF-MC) in Frankfurt am Main. Die Einrichtung ist eine Kooperation der Universität Frankfurt mit dem Max-Planck-Institut für Biophysik und Hirnforschung.

**Z**um Cluster gehört das Graduiertenprogramm Makromolekulare Komplexe (GRACE = Graduate Program of the Cluster of Excellence Frankfurt). Hier werden herausra-

gende Wissenschaftler ausgebildet, die neben ihren naturwissenschaftlichen Kenntnissen auch über Schlüsselqualifikationen verfügen, wie wissenschaftliches Schreiben, Präsentationstechniken und Führungsqualitäten. Einen hohen Stellenwert hat dabei die Vermittlung interdisziplinären Wissens durch die Zusammenarbeit von Doktoranden verschiedener Fachbereiche, wie Biochemie, Elektronenmikroskopie oder Neurowissenschaft. Zum Abschluss bereiten die Nachwuchsforscher Projekte vor als Grundlage für ein Postdoktorat. Der Sprecher des Clusters, Harald Schwalbe, sagt: „Der Cluster hat uns neue Möglichkeiten geschaffen, auch international Nachwuchsforscher anzuziehen, die hier optimale Bedingungen vorfinden.“ Ähnlich äußert sich auch der Präsident der Universität Frankfurt, Werner Müller-Esterl: Für ihn hat „der CEF Cluster in der ersten Förderperiode herausragende Beiträge geleistet und ist durch den Bau eines eigenen Forschungsgebäudes weiter gestärkt worden.“



# Vokabeln der Weltgeschichte

Es ist ein Zeichen großen Vertrauens, wenn man ein „galaktisches“ Projekt wie das Historische Wörterbuch der Philosophie beginnt. Es braucht langen Atem, sichere Finanzierungsquellen und intrinsische Motivation der Wissenschaftsgemeinschaft.

Das Werk erschien von 1971 bis 2005 unter der Herausgeberschaft von Joachim Ritter (†), Karlfried Gründer und Gottfried Gabriel. 2007 wurde es vom Herausgeber Gottfried Gabriel, Universität Jena, mit dem 12. Artikelband abgeschlossen. Die Zahlen sind beeindruckend: 6.000 Artikel zu 3.670 philosophischen Begriffen von 1.500 Autoren, die in ihren Spezialdisziplinen schrieben.

Das Werk steht unter Verantwortung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz, und wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Landes Berlin gefördert. Es ist ein Segen, auf einen Apparat zurückgreifen zu können, der die maßgeblichen Begriffe des abendländischen Denkens und der jüdischen, arabischen und fernöstlichen Philosophie mitsamt ihrer historischen Bedeutungsmodifikationen bereitstellt.

Vermutlich werden Tausende Wiki-Autoren die digitale Version des Wörterbuchs nutzen, um Ergänzungen und Aktualisierungen vorzunehmen, die im Laufe der Zeit notwendig werden. Ritter würde es gefallen, dass die Fackel unkonventionell, aber zeitgemäß weitergereicht würde.



# Was die Welt zusammenhält



## Magische Zahlen stabilisieren Atomkern

Kennen Sie das Brüsseler „Atomium“ von der Expo 1958? In Erweiterung des Bohrschen Tröpfchenmodells (1913) veranschaulicht das Schalenmodell das Atom. Für Johannes Hans Daniel Jensen war es ein langer Weg, bis er 42 Jahre danach zusammen mit Maria Goeppert-Mayer das Schalenmodell des Atomkerns durchsetzen konnte.

**J**etzt erklärten sich die sogenannten magischen Zahlen: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Atomkerne mit dieser Anzahl an Protonen oder Neutronen im Kern sind sehr stabil und kommen häufig vor. Aber woher kommt die Stabilität? Das erklärte Jensen 1948 mit der Spin-Bahn-Kopplung, der Wechselwirkung des Bahndrehimpulses eines Elektrons mit seinem Eigendrehimpuls: Sind die Schalen im Atomkern voll besetzt, ist das Atom „Spin-Bahngekoppelt“ stabil. Erst durch diese Erkenntnis konnten diverse Eigenschaften wie Spiegelsymmetrien und Drehmomente vieler stabiler und radioaktiver Kerne erklärt werden.

**S**päter konnte Jensen im Austausch mit Goeppert-Mayer die Eigenschaften der leichteren Atome erklären. Sie veröffentlichten diese Erkenntnisse 1955 im Buch „Elementary Theory of Nuclear Shell Structure“. Beide erhielten dafür – zusammen mit Eugene Wigner – 1963 den Nobelpreis für Physik. Die Universität Heidelberg, wo Jensen von 1949 bis zu seiner Emeritierung 1969 arbeitete, gehört bis heute zu den renommiertesten Forschungseinrichtungen der Atomphysik. Studierende können hier ein internationales Masterstudium absolvieren, daneben existiert eine Graduiertenschule für fundamentale Physik. Anlässlich Jensens 100. Geburtstages wurde der J. H. D. Jensen-Preis geschaffen. Die Auszeichnung ist mit einer Gastprofessur verbunden und wird seit 2008 jedes Jahr an international herausragende Forscher aus dem Bereich theoretische Physik vergeben.

# Evolution beobachten – und verstehen

Wie entstehen neue Arten? Seit Charles Darwin wollen Biologen verstehen, wie die Natur immer wieder neue Lebensformen hervorbringen kann – so auch Axel Meyer von der Universität Konstanz. Für seine Studien hat der Zoologe die Buntbarsche der großen afrikanischen Seen und Kraterseen Nicaraguas ausgewählt. „Diese Fische sind ein Paradebeispiel für die Fantasie der Evolution“, schwärmt Meyer, „allein im Viktoriasee sind in weniger als 100.000 Jahren 500 verschiedene Arten entstanden.“ In den Kraterseen Nicaraguas findet man Arten von Buntbarschen, die nur in einem einzigen Kratersee vorkommen, der weniger als 2000 Jahre alt ist.



## Das Genom steuert die Formenvielfalt der Buntbarsche



**D**amit alle ihr Auskommen haben, müssen sie sich anpassen. „Da gibt es extreme Futterspezialisten, die ausschließlich Schnecken knacken“, erklärt Meyer, „andere picken größeren Fischen die Augen aus oder fressen deren Schuppen. Ähnlich spezialisiert sind auch einige Buntbarsche im Malawi- und Tanganyikasee.“ Daher dachte man zunächst, die Schneckenknacker aus all diesen Seen wären eng miteinander verwandt. Genetische Untersuchungen zeigten aber, dass sämtliche Arten eines Sees aus nur einem gemeinsamen Vorfahren entstanden sind. Sie sind daher näher miteinander verwandt als mit ähnlichen Barschen der Nachbarseen, was zeigt, dass diese erstaunlichen Anpassungen mehrfach unabhängig voneinander entstanden.

**K**örperliche Merkmale sind also kein verlässlicher Hinweis auf die evolutionären Beziehungen von Lebewesen, so Meyers Fazit, und: „Die Evolution wiederholt sich und folgt dabei entwicklungsbiologischen und genetischen Regeln, die von ökologischen Faktoren abhängen“. Diesem Zusammenhang von Entwicklungsbiologie und Genetik will er nun mit modernsten Methoden der Genomforschung auf die Spur kommen. Sein Team ist Teil eines internationalen Konsortiums zur Aufklärung des Buntbarsch-Genoms. „Wir suchen auch nach Genen, die die Form der Lippen und Zähne der Fische bestimmen oder ihr Sozialverhalten beeinflussen.“ Dabei helfen auch Kreuzungsexperimente mit lebenden Buntbarschen, die Meyer zu hunderten in seinen Aquarien hält. Nachschub holt er sich bei Tauchgängen in den Seen Nicaraguas und Afrikas, denn „um die Fische zu verstehen, muss ich sie in ihrem natürlichen Lebensraum beobachten“.

# Exzellente Kooperation

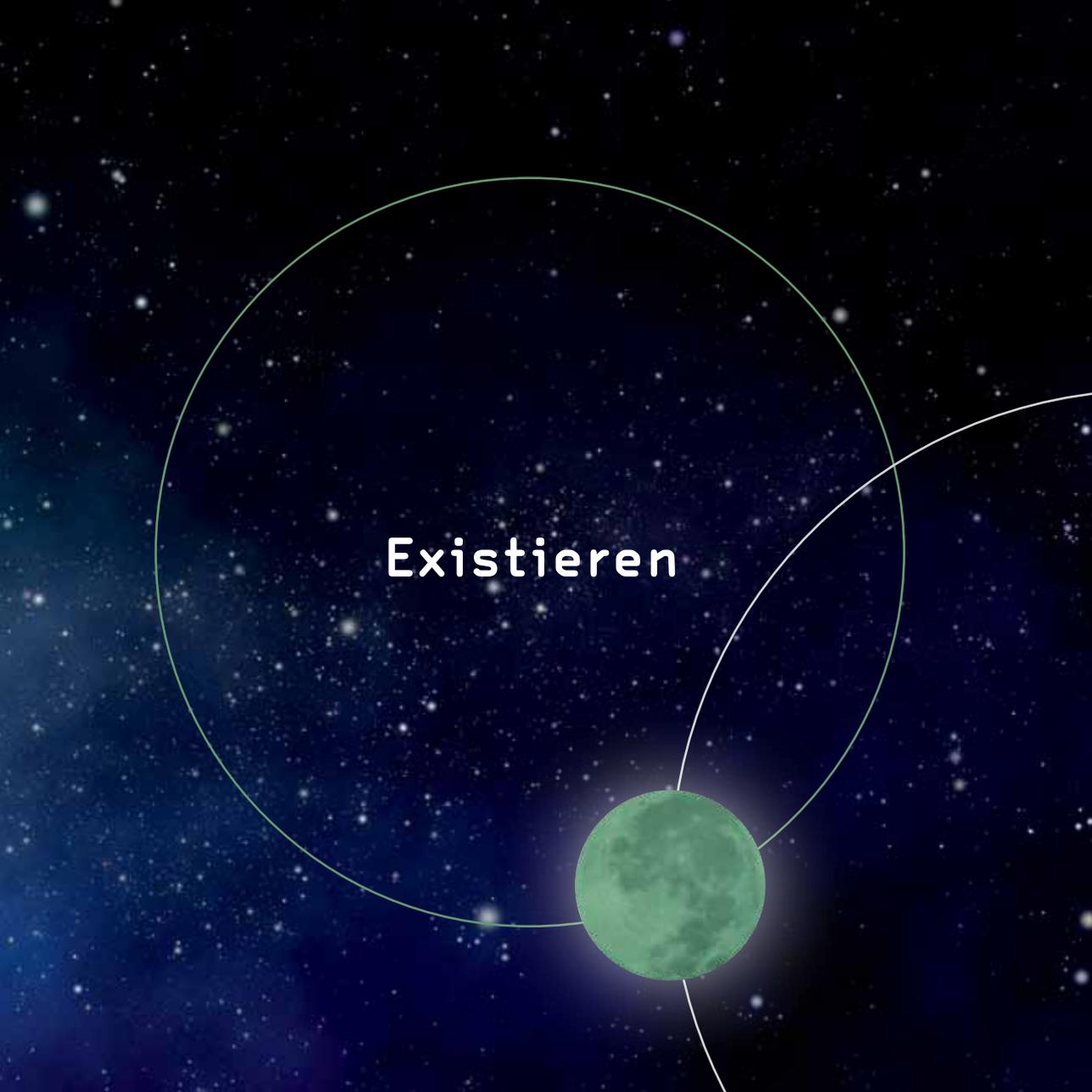
„Allein machen sie dich ein“ war ein trefflicher Spruch der 68er Studentenrevolte. Er meinte: Revolution geht nur gemeinsam. Was ist Grundlagenforschung eigentlich anderes als der Versuch einer (Wissens-) Revolution? Spitzenforschung wird zunehmend in Clustern und Schools betrieben.

Es geht um Sterne mit großer Masse, die Licht wie eine Linse ablenken, um Terahertzstrahlung, mit der Werkstoffe geprüft und Tumore erkannt werden können, und um viele weitere große Forschungsthemen. Die Bonn-Cologne Graduate School of Physics and Astronomy (BCGS) ist eine Kooperation der Universitäten Bonn und Köln zur Spitzenforschung in der theoretischen Physik. Letztlich wird darum gerungen, die Welt in ihrer Entstehung und Struktur komplett zu verstehen.

Die Graduate School of Systemic Neurosciences (GSN) ist eine Institution der Ludwig-Maximilians-Universität München. Sie besteht aus Neurowissenschaften, Psychologie, Elektrotechnik und theoretischer Biophysik. So werden hochkomplexe Vorgänge im Gehirn ganzheitlich erforscht. Jährlich vergibt jede dieser Graduate Schools 25 bis 30 Promotionsstellen an herausragende nationale und internationale Bachelor- und Masterabsolventen unterschiedlicher Disziplinen. Exzellente Bachelorabsolventen können über das Fast-Track-Programm Dokortitel innerhalb von vier Jahren erwerben. Die Besten werden zusätzlich mit hoch dotierten Stipendien ausgezeichnet. Beide Graduiertenschulen werden seit 2007 durch die Exzellenzinitiative der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.



**Graduiertenschulen:  
Synergien der Forschung  
für Nachwuchswissenschaftler**

A green planet with a white orbital path against a starry space background. The planet is positioned at the bottom right of the frame, and a white line representing its orbit curves around it. A large, faint green circle is centered in the upper left quadrant. The background is a dark blue space filled with numerous small white stars of varying brightness.

Existieren

Die Forschungen, die wir hier exemplarisch vorstellen, sind der Verbesserung unseres Existierens verpflichtet, besonders der Erweiterung von Heilungsmöglichkeiten, der Verminderung von Erkrankungsfolgen sowie der Entwicklung und Verbesserung von Diagnosemethoden.

Feodor Lynens Erkenntnisse zum Stoffwechsel waren die Grundlage zur Erforschung von Diabetes. Zur Hausens Erkenntnis, dass Gebärmutterhalskrebs durch Viren verursacht wird, hat Vorsorgemöglichkeiten durch gezielte Impfprogramme bewirkt. Fortschritte der minimal-invasiven Chirurgie erhöhen die Erfolgchancen und verkürzen einen vormals langwierigen Prozess der Rekonvaleszenz.

Patienten mit starken Knorpelschäden im Knie können auf nachwachsende Knorpelimplantate hoffen. Aachener Forscher entwickeln ein Netzhautimplantat, das Blinden ein gewisses Sehen ermöglicht, und in Köln nutzen Wissenschaftler Kohlenmonoxid zur Wundheilung. Doch der Mensch ist mehr als Materie. Mit der Hermeneutik, einer Methodologie zum ganzheitlichen Verstehen und Interpretieren, ergänzen Freiburger Philosophen das Wissen über die physischen Grundlagen unseres Existierens um psychische Komponenten.

# Lichtblick für Blinde



## Netzhaut-Implantat bringt Menschen einen Teil ihrer Sehkraft zurück

Erst schwinden Farben und Kontraste, dann wird das Blickfeld enger. Schließlich bleibt die Welt für immer dunkel. Der unaufhaltsame Verlust des Sehvermögens kann die Folge der Erbkrankheit Retinitis Pigmentosa sein, an der weltweit mehr als drei Millionen Menschen unheilbar leiden. Die lichtempfindlichen Zellen in der Retina, also der Netzhaut, sterben dabei ab. Die darin liegenden Nervenzellen bleiben aber teilweise erhalten. Hier kommt die Idee einer völlig neuen Sehprothese des Elektrotechnikers Wilfried Mokwa ins Spiel.

**E**ine Art Hightech-Brille mit eingebauter Kamera nimmt Bilddaten auf und sendet sie drahtlos an einen Chip, der direkt in der Netzhaut sitzt und die empfangenen Signale über Elektroden an die Nervenzellen weiterleitet. Die verbliebenen gesunden Nerven werden stimuliert, das Dunkel erhellt sich: Schemenhaft erhält die Umgebung Konturen. Dass die Idee prinzipiell funktioniert, hat das Aachener Team mit einer noch sehr einfachen

Sehprothese aus 25 Elektroden schon bewiesen. Sechs vollständig erblindete Patienten ließen sich den Prototyp probeweise vier Wochen lang ins Auge einsetzen und konnten drahtlos eingespeiste Testsignale als Lichtpunkte erkennen.

**D**ie laufende Forschung zum Retina-Implantat konzentriert sich auf die verfeinerte Verknüpfung der Elektroden mit den Nervenzellen. „Das kann nur gelingen, wenn wir den räumlichen Aufbau der degenerierten Netzhaut besser kennen. Wenn die Sehzellen bei fortschreitender Retinitis absterben, dann beginnen die Nervenzellen sich neu zu verschalten. Diese neuronale Umstrukturierung wollen wir erfassen, damit wir das Design unseres Systems darauf abstimmen können“, erklärt Mokwa. Biologen des Forschungszentrums Jülich und Mediziner der Universitätskliniken Aachen und Essen unterstützen die Studien.

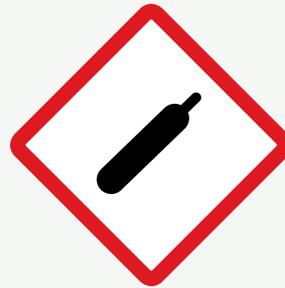
# Heilsames Gift

Den Finger eingezwickt, schon ist er da – der blaue Fleck. Bald wird er grün, dann gelb, und schließlich ist er weg. Bei all dem ist die Hämoxigenase beteiligt: Das körpereigene Enzym verdaut das Blut im verletzten Gewebe und setzt gleichzeitig ein heilsames Gas frei. Es heißt Kohlenmonoxid (CO) und schützt die betroffenen Zellen vor dem Absterben.

**D**as farb- und geruchlose Gas ist eigentlich für seine tödliche Wirkung bekannt. Gelangt es mit der Atemluft ins Blut, blockiert es den Sauerstofftransport. Man erstickt. Doch allein die Dosis macht das Gift. In kleinen Mengen am richtigen Ort entfaltet Kohlenmonoxid heilsame Kräfte: Es wirkt entzündungshemmend, gefäß-erweiternd und durchblutungsfördernd.

**H**ans-Günther Schmalz vom Institut für Organische Chemie der Universität zu Köln erklärt: „Leider kann der Organismus Kohlenmonoxid nur dort in wirksamen Mengen produzieren, wo auch Hämoglobin abgebaut wird, etwa in den roten Blutzellen“. Der Chemiker ist überzeugt, dass auch andere Zellen und Gewebe von der Heilkraft des Moleküls profitieren könnten. Daher will er das Gas in den Körper schleusen, ohne ihn zu vergiften. „Wir haben Moleküle gebastelt, die Eisen enthalten und Kohlenmonoxid binden können. Diese Verbindungen sind zunächst stabil. Erst wenn sie in eine Zelle gelangen und dort von Enzymen zersetzt werden, geben sie das Kohlenmonoxid frei.“ Die neuen Moleküle bieten zahlreiche Optionen für therapeutische Anwendungen: Nierenspezialisten testen derzeit ihren Einsatz zum Schutz von Organen, die zur Transplantation bestimmt sind. Dermatologen prüfen gerade ihren Einfluss auf die Wundheilung verbrannter Haut.

## Chemiker wollen Krankheiten mit Kohlenmonoxid behandeln



# Die Methusalem-Methode



## Mit adulten Stammzellen altersbedingten Krankheiten vorbeugen

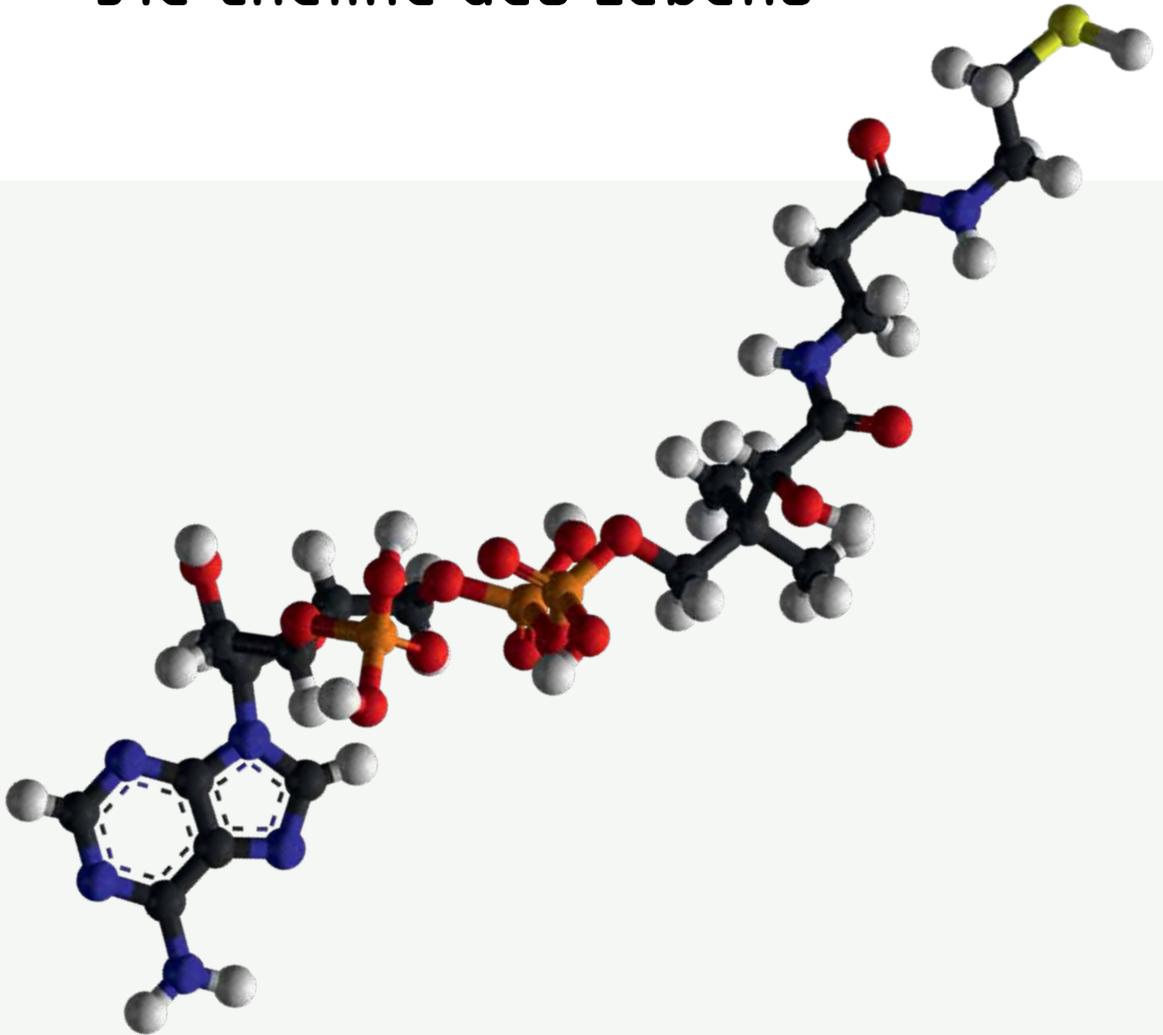
Hirnzellen und innere Organe altern und verlieren nach und nach oder plötzlich ihre Funktionen, so etwa bei der Alzheimer-Krankheit oder Koronardefekten. Der Mensch besitzt körpereigene, sogenannte adulte Stammzellen. Sie sorgen zeit unseres Lebens für den Erhalt und die Regenerationsfähigkeit von Organen und Geweben. Die Funktion adulter Stammzellen lässt allerdings im Alter nach, was die Organfunktionen im Alter mindert.

**D**ie von Karl Lenhard Rudolph an der Universität Ulm geleitete Forschungsgruppe will die Mechanismen verstehen, die zum Leistungsabfall der adulten Stammzellen führen. Aus den Erkenntnissen könnten pharmakologisch wirksame Substanzen entwickelt werden, um die Zellregeneration zu unterstützen. Adulte Stammzellen haben gegenüber embryonalen Stammzellen einen großen Vorteil: Sie kommen in fast allen Organen vor und können sich, anders als gewöhnliche

Zellen, zeitlebens teilen und selbst erneuern. Im Unterschied zum Einsatz von embryonalen Stammzellen müssen dabei keine riskanten Zelltransplantationen vorgenommen werden.

**E**in erster Coup ist Rudolph bereits gelungen: Er hat entdeckt, dass ein bestimmtes Signalmolekül adulte Stammzellen mit zunehmendem Alter in ihrer Arbeit einschränkt. Sein Team hat mehrere Wirkstoffe entwickelt, die das Molekül in Schach halten sollen. „Jetzt wollen wir prüfen, ob wir damit wirklich die Funktion verschiedener Stammzelltypen verlängern können. Gelingt das, können wir Medikamente gegen Krankheiten entwickeln, deren Ursachen in der eingeschränkten Regenerationsfähigkeit eines Organs liegen“, so Rudolph. Diese Forschung nimmt angesichts der Alterung von Bevölkerungen dramatisch an Bedeutung zu. Der Mediziner wurde für seine Arbeiten mit dem renommierten Leibniz-Preis ausgezeichnet.

# Die Chemie des Lebens



## Nobelpreisträger Feodor Lynen erforschte biochemische Abläufe im Menschen

Zuckerkrankheit, Herzinfarkt und Schlaganfall sind weltweit so verbreitet, dass sie als Epidemien des 21. Jahrhunderts bezeichnet werden. Ihre Ursachen liegen im Stoffwechsel. Ihn genau zu verstehen und damit auch jene Krankheiten, ist seit Mitte des 20. Jahrhunderts ein herausragendes Forschungsthema. Biochemiker in aller Welt waren damals den Abläufen im Stoffwechsel auf der Spur. Dazu gehörte es, die reaktionsträge Essigsäure so zu aktivieren, dass sie sich auf solche Umwandlungen im Körper einließ.

**E**xperimente von Feodor Lynen an der Ludwig-Maximilians-Universität München im Jahr 1951 brachten den Durchbruch. Ihm gelang die Isolierung aktivierter Essigsäure aus Hefezellen. Dieses „Acetyl-Coenzym A“ ist an vielen Stoffwechselvorgängen beteiligt. Grundlage für seine Entdeckung war Lynens Intuition, dass Acetatreste an Schwefel

gebunden sein könnten. Das konnte er experimentell bestätigen und damit das Acetyl-Coenzym A nachweisen. Sein Forschungsbericht umfasste nur eine, allerdings hoch brisante Seite. Er war quasi über Nacht zur international berühmten Forscherpersönlichkeit geworden. Seine Entdeckung ermöglichte die klinische Erforschung von Fettstoffwechselstörungen wie die Entstehung von Diabetes Mellitus und Arteriosklerose.

**D**ie Verleihung des Nobelpreises (1964 zusammen mit Konrad Emil Bloch) empfand Lynen als angemessen. Er hatte ja nichts unversucht gelassen, um das Glück zu zwingen. Er hatte nie die Absicht, eine Schule zu gründen, und doch geschah genau das. Viele seiner Schüler wurden als Professoren an Universitäten oder Max-Planck-Institute berufen. Die „Lynen-Schule“ hatte schon bald Ableger in aller Welt.

# Frühe Diagnose und Heilung im Blick

Bislang ist mit der Alzheimer-Diagnose der Wettlauf mit der Zeit bereits verloren. Schon zwei Jahrzehnte kann sich die Krankheit entwickelt haben, bevor sie zum Ausbruch kommt. Lange kann das Gehirn den Zell- und Synapsenverlust kompensieren, bevor die ersten Anzeichen sichtbar werden. Ein Drittel der Gehirnzellen kann dann zerstört sein. In diesem Stadium ist die Krankheit nicht mehr aufzuhalten. Für jeden Einzelnen und für die Angehörigen ist der Befund eine Katastrophe. Das soll sich ändern. Am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE) in München arbeitet man an neuen Diagnose- und Therapieverfahren.

**D**as Team um den Neuropathologen Jochen Herms schlägt Erfolg versprechende Wege zur Früherkennung ein: Zukünftig soll möglicherweise ein Blick ins Auge oder eine Untersuchung des Riechepitels helfen. Herms vertritt die These, dass man auch in anderen Organen als dem Gehirn wie beispielsweise der Netzhaut oder der Riechschleimhaut von Alzheimer-Patienten krankhafte Verän-

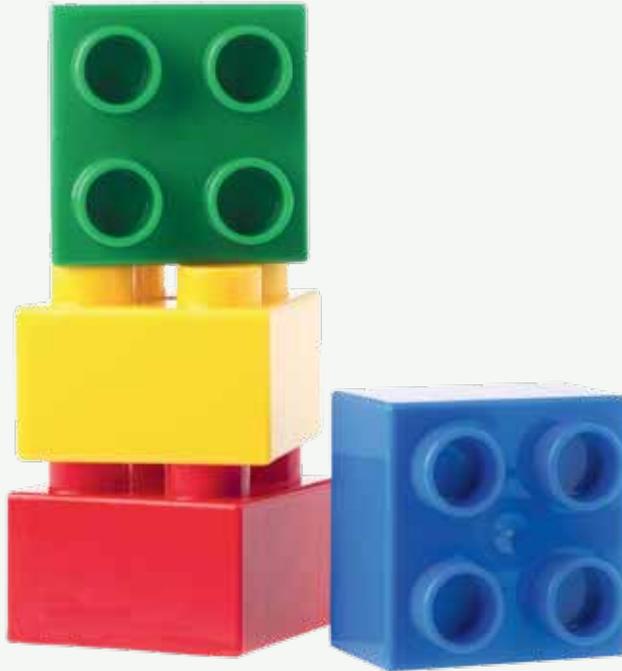
derungen feststellen kann. Diese wiederum lassen möglicherweise Rückschlüsse auf entsprechende Vorgänge im Gehirn zu, und zwar lange bevor die typischen Alzheimer-Symptome auftreten. Unter Verwendung transgener Mausmodelle der Alzheimerschen Erkrankung wird die fortschreitende Pathologie in der Hirnrinde während des Krankheitsverlaufs mithilfe der in vivo Zweiphotonenmikroskopie untersucht. Ziel ist es, mit der Behandlung der Krankheit beginnen zu können, bevor irreversible Schäden auftreten. Dann wären mit der Diagnose nicht zugleich alle Hoffnungen auf eine Heilung beendet.

**D**er Forschungsansatz wird ergänzt durch Untersuchungen am Clemens-Schöpf-Institut der Technischen Universität Darmstadt, um Sonden-Farbstoffe zu identifizieren, die Veränderungen in der Netzhaut oder der Riechschleimhaut erkennbar machen. Optikunternehmen wie Carl-Zeiss-Jena oder die Karl-Storz AG entwickeln entsprechende Geräte.

# Entwicklung neuer optischer Diagnoseverfahren zur früheren Erkennung von Alzheimer



# Dem Leben auf der Spur



## Mit einer neuen Methode biologische Signale analysieren

Wie funktionieren lebende Zellen? Woher nehmen sie ihre Energie, wann teilen sie sich, warum mutieren manche zu Krebszellen? Wer Antworten auf diese Fragen sucht, muss sich mit biologischen Signalen befassen. Denn sie steuern alle Lebensvorgänge in und zwischen Zellen. „Viele Krankheiten wie Krebs oder Rheuma kommen durch fehlgeleitete Signalprozesse zustande. Ein besseres Verständnis der Zusammenhänge könnte die medizinische Diagnostik und Therapie revolutionieren“, sagt Michael Reth. Der Biologe ist Sprecher des von ihm initiierten Zentrums für Biologische Signalstudien BLOSS, einem Exzellenz-Cluster der Universität Freiburg, das nach dem Motto „Von der Analyse zur Synthese“ forscht.

**B**iologische Signalstrukturen sind überaus komplex. Um sie aufzuklären, nutzen die Freiburger Wissenschaftler eine neuartige Forschungsstrategie: Statt alle Komponenten eines Prozesses nur zu analysieren, konzentrieren sie sich auf die wichtigsten und bauen

sie in überschaubaren Modellsystemen neu zusammen. Zusätzlich entwerfen sie künstliche Moleküle, durch die sich Signalwege gezielt beeinflussen und ergründen lassen. Dieser Ansatz entstammt der Synthetischen Biologie, einem neuen Zweig der Lebenswissenschaften. Die Universität Freiburg besetzte die erste Professur in dieser Disziplin, ergänzt um eine Juniorprofessur für Synthetische Biologie und Signalprozesse. „Diese Fächerkombination ist weltweit einmalig und die ideale Voraussetzung, um die wesentlichen Eigenschaften eines Signalprozesses zu erfassen“, betont Reth.

**V**iele Biologen, Chemiker und Informatiker des Exzellenz-Clusters kommen aus Asien, den USA oder dem europäischen Ausland nach Freiburg. Die BLOSS-Juniorprofessuren und die Spemann Graduiertenschule für Biologie und Medizin machen das Zentrum attraktiv für den wissenschaftlichen Nachwuchs.

# Neue Heil-Kultur

Knorpelschäden am Knie sind ein weitverbreitetes Leiden, weil auf dem Knie das gesamte Körpergewicht lastet. Es muss Extremlastungen durch sportliche Aktivitäten, aber auch Dauerbelastungen durch zu hohes Gewicht aushalten. Das Kniegelenk ist von einem festen, aber biegsamen Knorpelgewebe überzogen. Wird dieser Knorpel einmal beschädigt, durch einen Unfall, zu hohe Beanspruchung im Leistungssport oder einfach durch Verschleiß, kann er das Gelenk nicht mehr schützen – es nutzt sich ab.

**M**ichael Sittinger und seine Kollegen an der Charité versuchen nun, durch spezielle Lockstoffe Abhilfe zu schaffen. Diese werden ins Knie gegeben, um dort gesunde Zellen aus dem Knochenmark in den darüber liegenden Knorpel zu „locken“, und zwar genau an die geschädigte Stelle. Dazu wird im Labor zunächst eine Art Nest gebaut, in das sich die gesunden Zellen einnisten sollen. Dieses Nest besteht aus vielen kleinen künstlichen

Fasern und hat in etwa die Form eines Wollknäuels. Seine Struktur gibt den Zellen Halt und bewirkt, dass sie in alle Richtungen wachsen und schließlich anwachsen.

**D**amit die gesunden Zellen später auch in das Wollknäuel hineinwandern, wird noch ein weiterer Lockstoff hinzugegeben. Er soll unversehrte Stammzellen aus dem Knochenmark zum Knorpel locken – wie die Bienen zum Nektar. Dort erhalten sie die Anweisung, Knorpelzellen zu bilden, bis sie schließlich das Wollknäuel ganz ausfüllen. Dieses wird dann bei einer Operation im Knie befestigt. Da das Gerüst des Knäuels aus abbaubaren Fasern besteht, löst es sich innerhalb weniger Monate vollständig auf. Der Knorpel wächst am Kniegelenk an, der Schaden ist behoben, das Knie wieder voll belastbar. Sportler, gewichtige Bürger und die Krankenkassen begleiten diese Forschungsarbeit mit großer Anteilnahme.

## Mediziner stimulieren das Knorpelwachstum im Knie



# Verstehen und Interpretation

*... im Bewusstsein eigener  
Grenzen und durch Anerkennung  
des Anderen in seiner Fremdheit*

Hans-Georg Gadamer | Sein, das verstanden werden kann, ist Sprache

## Die Hermeneutik Hans-Georg Gadamers

Hans-Georg Gadamer gilt als der bedeutendste Vertreter der philosophischen Hermeneutik. Der Schüler Husserls und Heideggers vertrat in seinem 1960 veröffentlichten Hauptwerk „Wahrheit und Methode“ die Auffassung, dass die philosophische Hermeneutik prinzipiell auf alle ethisch-ästhetischen Aspekte und Fragen des Lebens Anwendung finden kann. Viele Formen des Wissens und Verhaltens lassen sich, so Gadamer, als Verstehens- oder Interpretationsleistungen beschreiben. Diese Auffassung hatte auf die literarische Hermeneutik und damit auf die Geisteswissenschaften großen Einfluss.

Mit Jürgen Habermas und Karl-Otto Apel stritt Gadamer heftig darüber, ob die Annahme eines dialogisch gewonnenen Konsenses naiv sei, weil sie möglicherweise Herrschaftsstrukturen unterschlägt, die im Dialog nicht zum Vorschein kommen. Diese Debatte war ein seltenes Beispiel dafür, dass wissenschaftliche Kombattanten die Argumente des Kritikers ernst nahmen und für die Entwicklung der je eigenen Theorien fruchtbar zu nutzen verstanden. So ist der Einfluss Gadamers auf das Konzept des herrschaftsfreien Diskurses von Habermas unverkennbar. In den Schriften der Skeptischen Philosophie, aber auch im Schaffen der Schüler bleibt das Werk Gadamers lebendig.

Wie sagt es Odo Marquard, ein Vertreter der philosophischen Skepsis, in der Tradition Gadamers so treffend? „Die Geschichtsphilosophen haben die Welt nur verschieden verändert; es kommt darauf an, sie zu verschonen; die änderndste Form des Verschonens aber ist die Interpretation.“

# Impfung gegen Krebs



## Viren als Auslöser für Gebärmutterhalskrebs

Gebärmutterhalskrebs gilt weltweit als der zweithäufigste bösartige Tumor bei Frauen. Wie es zum bösartigen Zellwachstum und damit zu einem Zervixkarzinom kommt, hat der Mediziner und Biologe Harald zur Hausen entdeckt.

**I**n seiner Krebsforschung konzentrierte sich zur Hausen auf die Rolle von Virusinfektionen – damals ein eher ungewöhnlicher Forschungsansatz. Bereits 1974 publizierte zur Hausen die Hypothese, dass humane Papillomviren eine Rolle bei der Entstehung von Gebärmutterhalskrebs spielen könnten. Anfang der 1980er Jahre gelang es ihm und seiner Arbeitsgruppe an der Universität Freiburg, die Hypothese zu belegen. Er konnte die Typen HPV 16 und HPV 18 des humanen Papillomvirus aus erkranktem Gewebe isolieren. Diese Entdeckung eröffnete neue Perspektiven der Vorbeugung und Behandlung.

**A**us den Oberflächenproteinen der Viruspartikel wird seit 2006 ein Impfstoff entwickelt und erfolgreich eingesetzt, mit dem sich junge Frauen vor den lebensbedrohlichen Wucherungen schützen können. Für diese Leistung wurde zur Hausen 2008 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet. Heute ist zur Hausen überzeugt, dass Viren und andere Erreger verschiedene bösartige Tumoren auslösen können: „Infektiöse Ereignisse spielen bei der Krebsentstehung vermutlich eine sehr viel größere Rolle als bislang angenommen“, sagt der Arzt. Er leitete von 1983 bis 2003 das Deutsche Krebsforschungszentrum in Heidelberg und möchte „junge Forscher anregen, diese Spur weiter zu verfolgen“.



**Informieren**

Information gilt als die mittlerweile wichtigste Ressource für Wertschöpfung und Lebensqualität. Es kommt also darauf an, Information zu verstehen und sie effektiv und effizient zu nutzen. Zur Information gehört erstens ihre Entstehung: Aus Fakten können durch Erhebung Daten werden; aus Daten kann durch Verstehen Information werden; daraus kann durch Integration in vorhandene Strukturen Wissen werden; aus aktueller Information plus Wissen kann durch intelligente Ziel-Mittel-Verknüpfung Handeln werden. Zweitens gehört zur Nutzung der Ressource die Vermittlung und Verbreitung von Information: Datenerfassung, Speicherung und Übertragung, aber auch Wissensaustausch durch Kommunikation. Drittens geht es um die rationale, effiziente, ethisch verantwortliche Verwendung von Information.

Dieser Abschnitt beschreibt selektiv typische Forschungsbeispiele aus diesem Themenfeld. Wie unser Gehirn entscheidet, welche Reize dabei verarbeitet werden, untersuchen Neurobiologen und Philosophen an der Berlin School of Mind and Brain. In Bremen fragen Hirnforscher, ob der freie Wille des Menschen nur eine Illusion ist. Vier Themen fokussieren das Erheben, Transportieren, Verbreiten und Schützen von Daten durch neue Techniken. Da geht es um Genauigkeit, Schnelligkeit und Sicherheit. Weitere Themen betreffen die innovative Verwendung von Information, exemplarisch in der analytischen Chemie, der Hirnchirurgie, der Geschäftsprozessoptimierung und der interkulturellen Kommunikation. Oft ist die Forschung an deutschen Hochschulen in diesen Bereichen weltweit führend.

# Gemeinsamer Geist

„Komplexe Fragen über die Arbeitsweise des Gehirns können heute nicht mehr im Alleingang von einer Disziplin beantwortet werden“, sagt Michael Pauen vom Institut für Philosophie der Humboldt-Universität zu Berlin. Zusammen mit dem Neurologen Arno Villringer, Direktor am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften und Professor an der Charité-Universitätsmedizin Berlin, ist Pauen Sprecher der Berlin School of Mind and Brain.

**D**ie Doppelbesetzung symbolisiert die Idee dieser Graduiertenschule: Forschung an der Schnittstelle zwischen Geist und Gehirn, im Grenzbereich zwischen Geisteswissenschaft und Neurobiologie. Dahinter stehen die ganz großen Fragen: Was ist Bewusstsein? Wer denkt in uns? Ist es nur die Summe der Neuronen und ihrer Vernetzung in unserem Gehirn? Oder ist etwas dahinter, was sich

dem Zugriff der Neurowissenschaft entzieht? Müssen wir die Vorstellung aufgeben, selbstständig denken und handeln zu können?

**D**ie Studierenden erhalten an der Berlin School of Mind and Brain eine Ausbildung in Neuroanatomie und Bildgebung sowie in Philosophie und Linguistik. Damit ihr interdisziplinäres Promotionsprojekt gelingt, werden sie von zwei Mentoren betreut – einer ist wissenschaftlich eher im Bereich „brain“ beheimatet, der zweite im Bereich „mind“. „Das gibt es weltweit nirgendwo sonst“, betont Villringer. 60 Wissenschaftler sind beteiligt, Philosophen, Psychologen, Sprachwissenschaftler, Biologen und Mediziner. Forschungsschwerpunkte sind die sechs Bereiche Entscheidungsfindung, Wahrnehmung, Sprache, Hirnplastizität und ontogenetische Entwicklung, Hirnstörungen und mentale Dysfunktionen und schließlich soziale Kognition.

# Philosophen und Neurobiologen erforschen unser Gehirn



# Eine Frage des Willens?



## Alte Fragen werden neu gestellt

Es waren Fragen, die Gerhard Roth schon als Schüler bewegten: Was ist der Geist? Wie entsteht Wahrnehmung? Warum ist der Mensch sich seiner selbst bewusst? Antworten suchte er als Student der Philosophie in Münster und Rom. „Dort erfuhr ich zwar alles, was kluge Menschen von Platon bis Kant und Hegel gedacht haben, aber wer denn nun Recht hat, konnte mir keiner sagen“, blickt Roth zurück.

**D**eshalb wandte er sich anderen Disziplinen zu. Besonders beeindruckten ihn Bernhard Rensch und Wolfgang Metzger. Der Biologe Rensch untersuchte, ob Schimpansen planvoll handeln können. Metzger, einer der führenden Gestaltpsychologen, zeigte, wie unsere Sinne die Wahrnehmung beeinflussen. Weil in der Philosophischen Fakultät niemand diese Denkansätze aufgriff, studierte Roth zusätzlich noch Zoologie. Er promovierte in beiden Fächern und fordert junge Wissenschaftler auf, interdisziplinär zu denken.

**R**oth fragt nach der Existenz des freien Willens, denn „Psychologen und Neurobiologen sind sich darin einig, dass alles menschliche Handeln von bewussten oder unbewussten Motiven geleitet wird“. Der Widerspruch zu Immanuel Kants Konzept der Willensfreiheit ist offensichtlich. Für den Alltag gelte, so Roth, der Satz des schottischen Philosophen David Hume: Der Mensch fühlt sich frei, wenn er tun kann, was er will. Allerdings sieht Roth die Rechtsprechung durch die Erkenntnisse der Hirnforschung im Dilemma. Noch folgt sie Kants Postulat des freien Willens und begründet damit die Schuldfähigkeit eines Straftäters. Aber die neurobiologischen Erkenntnisse erfordern zumindest eine Überprüfung dieser Prämisse. So beobachtet Roth, dass „immer mehr Juristen zweifeln, ob sich der Begriff der strafrechtlichen Schuld noch aufrechterhalten lässt“.

# Mekka für Teilchenphysiker



## Bis heute profitiert die Universität Bonn von Nobelpreisträger Wolfgang Paul

Um unbekannte Substanzen zu analysieren, kann man ihre Eigenschaften über Ionen (elektrisch geladene Teilchen) sichtbar machen. Dazu muss man diese aber erst einmal „einfangen“. Mit der „Paul-Falle“ lassen sich Ionen fangen, speichern und auch wieder freisetzen. Dazu muss man ihr magnetisches Moment kennen. Je nach Art der einwirkenden Felder kann man sie dann in ausgewählten Gruppen oder auch sämtlich in einem „Quadrupolfeld“ gefangen halten.

**D**er Physiker Wolfgang Paul war Pionier auf dem Gebiet der Teilchenphysik sowie der Massenspektrometrie. Als Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Bonn entwickelte er 1953 zusammen mit Helmut Steinwedel den Quadrupolmassenfilter.

**D**ie Erweiterung der Ionenfalle zur „Paul-Falle“ durch George Stafford 1983 führte dazu, dass sie sich als Technologie in der analytischen Chemie durchsetzte. Sie spielte ferner eine wichtige Rolle bei der Realisierung des Quantencomputers. Vor allem wird sie zur Analyse von Substanzen in Ionenfallen-Massenspektrometern genutzt. Für die Ionenfalle erhielt Paul 1989 zusammen mit Norman Foster Ramsey und Hans Georg Dehmelt den Nobelpreis für Physik. Außerdem bekam er zahlreiche nationale und internationale Auszeichnungen. Die Hälfte des Nobel-Preisgeldes gab Paul in eine Stiftung zur Förderung internationaler Beziehungen in der Wissenschaft. Damit werden herausragende Physiker nach Bonn eingeladen.

# Mit Programm zum Erfolg

In Unternehmen laufen ständig mehr oder weniger komplex-dynamisch miteinander verwobene Prozesse ab. Diese Informations-, Kommunikations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollvorgänge machen letztlich die Wertschöpfung aus. Sie sind aber oft nicht eindeutig geregelt, werden ad hoc ausgeführt oder sind historisch entstanden, schwer durchschaubar und jedenfalls kaum optimal aufeinander abgestimmt. Es ist ein alter Traum der Betriebswirtschaftslehre, das zum Chaos neigende System einmal perfekt so zu programmieren, was Otto Schnutenhaus einmal definiert hat als „Übersichtsmaximale Wirkzusammenhangssicherung“:

**D**en Traum grundsätzlich und allgemeingültig Realität werden zu lassen, ist das Forschungs-Lebenswerk von August-Wilhelm Scheer. Bekannt wurde Scheer als Entwickler des ARIS-Konzepts, der „Architektur

integrierter Informationssysteme“. Mit diesem Modell, das heute die Grundlage verschiedener Software-Produkte bildet, lassen sich Geschäftsprozesse analysieren, steuern und optimieren. Entstanden ist es im Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) an der Universität des Saarlandes. Um das Prinzip der Geschäftsprozess-Modellierung in die Praxis zu transferieren, gründete er 1984 die Firma IDS Scheer (Integrierte Datenverarbeitungssysteme). Sie eroberte rasch die Märkte und erreichte binnen weniger Jahre die Weltspitze. Die einst an der Börse gelistete IDS Scheer AG wurde 2010 von der Software AG übernommen.

**S**cheer war „Entrepreneur des Jahres“, erhielt den Philipp Morris Forschungspreis, das Bundesverdienstkreuz 1. Klasse und viele weitere Ehrungen.

## Software zur optimalen Steuerung von Geschäftsprozessen



# Ganz privat im World Wide Web

Als 2011 in Ägypten, Tunesien und Syrien zehntausende Menschen für mehr Demokratie demonstrierten, benutzten die Regimegegner eine Technik, die 2.000 Kilometer entfernt, in Darmstadt, entwickelt wurde. Dort forscht Juniorprofessor Thorsten Strufe an der Technischen Universität: „Wir pro-

grammieren hier eine Software, mit der man anonym übers Internet kommunizieren kann.“ Vor allem Menschen in autoritären Ländern, die Furcht vor Repressionen ihrer Regierungen oder außerstaatlichen Organisationen haben, nutzen solche Verfahren zum sicheren Austausch persönlicher Daten.



## Programmierung eines sicheren sozialen Netzwerks



**S**trufe ist Inhaber des Lehrstuhls für Peer-to-Peer-Kommunikation an der TU Darmstadt. Zusammen mit seinem Team forscht er an dem spannenden Ziel, im World Wide Web ein sicheres soziales Netzwerk zu etablieren. Denn Systeme wie Facebook haben in punkto Sicherheit zwei Nachteile: Vertrauliche Daten liegen auf wenigen zentralen und miteinander vernetzten Servern. Wer das System knackt, kann sensible Angaben von Millionen Menschen ausspähen. Außerdem sammeln Betreiber sozialer Netzwerke viele Informationen über ihre Mitglieder. So werden private Interessen, Kontakte oder Vorlieben öffentlich.

**D**eshalb setzt man in Darmstadt auf dezentrale Netzwerke. Nach dem Peer-to-Peer-Prinzip werden die Daten auf viele Rechner verteilt. Jedes Nutzerprofil ist verschlüsselt nur auf dem eigenen Computer und denen von Freunden gespeichert. So kann jeder selbst entscheiden, wie viel seiner Privatsphäre er preisgibt. Vormalig entwickelten die Forscher das System „Safebook“, inzwischen sind verbesserte Versionen im Einsatz.

# Schnell und sicher surfen auf der Datenautobahn



## Informatiker entwickeln das Internet der Zukunft

Man stelle sich das Chaos auf unseren Autobahnen vor, wenn die Fahrer weder die Länge ihrer Strecke noch ihr Ziel sähen. Ein solches Durcheinander herrscht oft im Internet. Einzelne Informationspakete haben keinen Einfluss auf die Wahl ihres Weges durch die virtuellen Datenbahnen. So kann es sein, dass Nutzer in Hamburg Daten aus Peking herunterladen, die auch am eigenen Standort verfügbar wären. Da mittlerweile Millionen Menschen im World Wide Web surfen, telefonieren oder Fotos in die sozialen Netzwerke laden, ist es immer häufiger überlastet.

**A**nja Feldmann, Professorin für Intelligente Netze und Management verteilter Systeme der Technischen Universität Berlin, entwickelt deshalb das Internet der Zukunft. Die Informatikerin analysiert unter anderem, wann wie viele Menschen auf welche Inhalte zugreifen, um Engpässen im Netz vorzuzukommen. Eine ihrer Ideen ist es, das Internet in verschiedene Bereiche einzuteilen, die unterschiedliche Anforderungen an Sicherheit und Geschwindigkeit erfüllen. So wollen Nutzer ihre Daten beim Surfen nicht preisgeben, zum Online-Banking ist dagegen die exakte Identifizierung notwendig.

**G**etestet wird auf dem TU-Campus Berlin-Charlottenburg. Die 46 Sendeanlagen auf fast allen Dächern gehören zu den weltweit größten Experimentierplattformen für Funk-Netze. Schon heute haben die Forschungsergebnisse von Feldmann das Internet schneller und sicherer gemacht. 2011 erhielt sie dafür den mit 2,5 Millionen Euro dotierten Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

# Das Ende der Sprachlosigkeit

erde 3036832 war 2163428 werden 1607233 wird 1542864 wie 1158875 wurden 792211 weblinks 715707 wenn  
4631 was 580513 waren 480494 wieder 473832 während 369140 wo 332448 weitere 269075 wir 245407 wikiped  
a 230587 wäre 216549 wegen 211626 weil 210035 wohl 209956 würde 185546 worden 180984 wien 179868 wei  
r 174209 welche 159940 wilhelm 156966 weiterleitung 147382 welt 141105 werke 136859 weiteren 135456 wobei  
2881 website 119614 w 116060 weg 115953 werk 114957 wenig 112278 will 111835 weltkrieg 102737 wer 100754  
99527 weiß 99341 wirklich 98686 weniger 97366 wappen 92589 warum 88003 wasser 85600 www 79198 wei  
rhin 78116 wolfgang 77305 wechselte 77290 welches 76948 weit 76551 walter 75105 westen 73671 world 73385  
st 72593 wollte 69575 wirtschaft 68002 william 67816 wort 66647 wissen 63687 wiener 63527 werner 59424  
hl 58261 wahrscheinlich 57668 wenige 56870 welcher 56482 württemberg 55983 weltmeisterschaft 55925 werd  
43 webseite 55379 weise 54592 wichtige 52659 wert 52411 wollen 49748 westfalen 49318 weder 48402 woen  
en 47552 wiederum 46273 weltweit 46259 werbung 44496 with 42059 weiterer 41333 wm 40838 westlich 40498  
chtigsten 39495 weitgehend 39042 würden 39003 wenigen 38843 wirken 38747 washington 38476 wesentlich  
681 wiki 37560 wissenschaft 37368 wald 36946 weiteres 36085 winter 36023 wichtig 36005 wissenschaftliche  
121 wirkung 33416 wagen 33141 westlichen 33085 wuchs 32746 weißen 32148 wirkte 31674 weltkrieges 31366 wä  
n 30943 wesentlichen 30836 woche 30762 weist 30615 wettbewerb 30612 wissenschaftlichen 29261 wolf 28765  
esbaden 27419 width 27414 weltkriegs 27355 würzburg 26727 wissenschaften 26682 wodurch 26167 wls 26135  
derstand 25875 werken 25686 waffen 24398 weiße 24305 wann 24019 white 23877 weshalb 23170 wichtigen 23141  
ndows 22997 wichtiger 22589 wege 22543 weblink 22316 wahlen 22251 weisen 21866 wagner 21663 wunsch 21634  
rkt 21594 weltcup 21491 wahlkreis 21450 weimar 21169 weibchen 20927 web 20601 wichtigste 20569 wohnhaus  
368 werte 20323 weber 20302 weiss 20117 wieso 19861 welchen 19814 welchem 19810 wiederholt 19499 wirt  
schaftliche 19264 williams 19115 wechsel 18773 wirtschaftlichen 18389 weltmeisterschaften 18102 wenigstens  
070 wissenschaftler 18068 who 17559 weltmeister 17424 wehrmacht 17406 western 17385 wahrheit 17047 wilson  
023 werdegang 16697 womit 16629 wissenschaftlicher 16485 widmete 16444 willst 16389 wörterbuch 16322 we  
947 willen 15908 wesentliche 15856 wein 15240 weimarer 15213 wind 15131 wild 14879 warten 14857 wales 14680  
llten 14651 wuppertal 14456 weibliche 14422 worte 14072 wittenberg 13574 wende 13434 wesen 13334 worten  
312 weite 13271 wächst 13173 [www](#) 13162 [www](#) 13101 [www](#) 13062 webpräsenz 12969 walther  
956 westliche 12548 wurzel [www](#) 12507 [www](#) 12007 wahr 11978 waffe  
016 willy 11846 wörter 11830 what 11547 witwe 11528 wovon 11472 wiederherstellung 11318 weiterentwicklung  
259 wissenschaftlich 11241 werkstatt 11094 wachsen 11051 wdr 10864 weiblichen 10841 westfälischen 10785

## Ein elektronischer Super-Dolmetscher

Für Alexander Waibel sehen internationale Konferenzen in Zukunft so aus: Die Teilnehmer sprechen in ihrer eigenen Sprache und verstehen sich doch – ganz ohne Dolmetscher. Die simultane Übersetzung übernimmt eine Sprachsoftware, die nicht nur Wortbedeutungen kennt, sondern auch Sinnzusammenhänge erfasst und Redewendungen von einer in verschiedene andere Sprachen übertragen kann.

**W**aibel arbeitet als Professor für Informatik am Karlsruher Institut für Technologie und an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh. Außerdem leitet er das International Center for Advanced Communication Technologies (InterACT). Mit seinem InterACT-Team – Wissenschaftler aus Deutschland, den USA, Italien, Japan und Hongkong sind dabei – forscht er an einer Welt ohne Sprachverwirrung, ohne Dolmetscher und Vokabelschwächen. Der Ansatz: ein Programm, das mit Statistik statt mit Sprachregeln arbeitet. Die Software rechnet anhand von korrekten Übersetzungen aus, wie oft Worte und Wendungen

in der einen Sprache solchen im Parallelsatz der anderen Sprache entsprechen. Dabei ist die Software höchst effizient. Sie durchforstet das Internet simultan und nutzt so eine nahezu unbegrenzte Zahl von Texten. „Schon nach drei Jahren waren wir mit der Methode besser als alle Systeme, die 20 Jahre lang mit Regeln gefüttert wurden“, sagt Waibel.

**D**ie Simultanübersetzung gesprochener Ansprachen, Vorträge und Vorlesungen ist heute schon möglich. Derzeit arbeiten die Wissenschaftler an 15 Sprachen. Auch das Europäische Parlament zeigt Interesse. Dort hat Waibel seine automatische Übersetzung bereits vorgestellt – sein Vortrag wurde sowohl maschinell ins Spanische übersetzt als auch von menschlichen Übersetzern in weitere 23 Sprachen. In zehn Jahren soll die Übersetzung aller 200 wirtschaftlich relevanten Sprachen maschinell möglich sein. Dank der Sprachsoftware wird dann auch der Inhalt des Internet künftig für alle Menschen lesbar. „Die Sprachbarriere wird fallen“.

# Wie viel Mensch steckt in der Maschine?



## Künstliche Intelligenz interdisziplinär erforschen und Fantasie entwickeln

Maschinen, die denken oder sogar fühlen können, beflügeln seit jeher die Fantasie, sie gehören zum Inventar vieler Science-Fiction-Filme. Ähnlich spektakulär sieht die weltweite Forschung zu Fragen der künstlichen Intelligenz aus. Eine herausragende Institution hierzu ist das 2007 an der Universität Bielefeld im Rahmen der Exzellenzinitiative gegründete Exzellenzcluster Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC).

**D**as CITEC bündelt vier Themenfelder, welche die Schlüsselfunktionen kognitiver interaktiver Systeme in den Blick nehmen: Bewegungsintelligenz, Systeme mit Aufmerksamkeit, situierte Kommunikation sowie Gedächtnis und Lernen. Zum CITEC gehören rund 40 Forschungsgruppen aus den Bereichen Informatik, Biologie, Linguistik, Mathematik, Psychologie und Sportwissenschaft.

Für Helge Ritter, CITEC-Koordinator und Leiter der Forschungsgruppe Neuroinformatik, liegt die Besonderheit des Clusters in der Interdisziplinarität. „Mit dieser Ausrichtung konnten wir uns international eine starke Stellung erarbeiten und gehören mittlerweile zu den führenden Einrichtungen, die an der Verbesserung der Schnittstelle von Mensch und Technik arbeiten.“

**E**in Herzstück des Clusters ist die Graduiertenschule Cognitive Interaction Technology, in der kontinuierlich etwa 50 Stipendiaten auf eine akademische Laufbahn vorbereitet werden. Zum Konzept gehört auch die Virtuelle Fakultät, der namhafte Wissenschaftler aus vielen Ländern angehören, die in Bielefeld Forschungsseminare, Workshops und Konferenzen durchführen.

# Wegweiser durchs Gehirn



## Informatiker entwickeln Navigations-Software für neurochirurgische Eingriffe

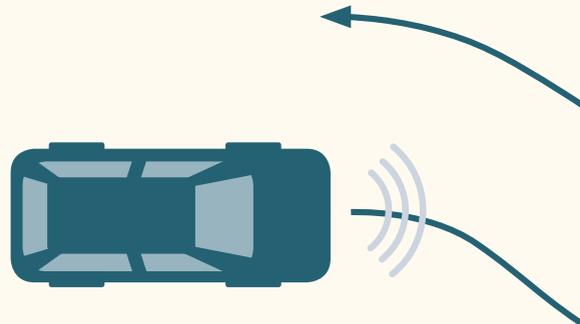
Unheilbare Parkinson-Symptome oder extreme Formen von Bewegungsstörungen, Kopfschmerz und Depression lassen sich durch die so genannte tiefe Hirnstimulation lindern. Dazu wird ein Schrittmacher im Brustbereich des Patienten eingesetzt. Unter der Haut verlegte Kabel leiten von dort dosierte Stromstöße über Elektroden in die erkrankten Hirnregionen. Mit dieser gezielten Anregung sollen betroffene Nervenzellen zu ihrer alten Funktion zurückfinden.

**D**er Erfolg der Operation hängt von der richtigen Platzierung der Elektroden ab. „Wir haben computergestützte Verfahren entwickelt, um all jene Daten bereitzustellen, die vor und während einer Operation am offenen Gehirn benötigt werden“, sagt Peter Gemmar vom Institut für Innovative Informatik-Anwendungen der Hochschule Trier. Mit ihrer Hilfe lassen sich neurochirurgische Eingriffe besser planen und sicherer durchführen.

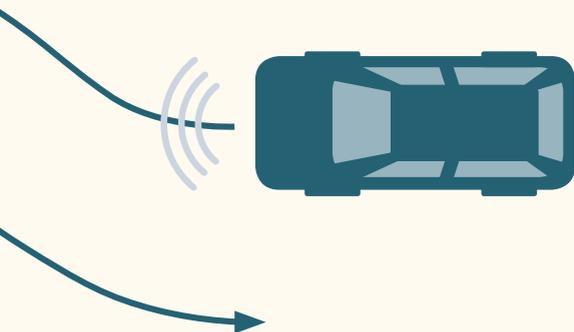
**S**chon die Analyse von Kernspin-Aufnahmen übernimmt die Software, denn Gemmars Studien belegen, dass die automatisierte Auswertung der Bilddaten effizienter ist als die Bewertung durch den Arzt. „Mit unseren Programmen erfassen wir auch individuelle Eigenheiten im Gehirn eines Patienten. So können wir die Risiken verschiedener Operationswege besser abschätzen und dann den günstigsten Weg durchs Gehirn vorschlagen“, erklärt der Informatiker. Auch im weiteren Verlauf der Operation leistet Gemmars Software wertvolle Dienste. Wenn der Chirurg die Elektrodenspitze an die Zielregion gebracht hat, gilt es ihre beste Endposition zu finden. Dazu wird die Aktivität des umgebenden Nervengewebes direkt mit Messelektroden abgeleitet. Das Computerprogramm bewertet die Signalmuster schneller als jeder Wissenschaftler. Schon bald werden Patienten von der Software aus Trier profitieren. Sie wird Teil eines OP-Planungssystems.

# Weltraumlotsen verhindern Kollisionen

Jemand steuert sein Auto um eine Kurve, direkt dahinter hat sich ein Stau gebildet. Vielleicht kommt die Reaktion zu spät und es kracht. Künftig könnte sich das besser abspielen: Satelliten in 22.000 Kilometer Höhe verfolgen die Position des Wagens. Ein Computer im Auto vergleicht die Daten mit dem Straßenverlauf, Radarsensoren registrieren Hindernisse. Gleichzeitig besteht Funkkontakt mit Fahrzeugen in der Nähe, Informationen über Route und Tempo werden ausgetauscht. Notfalls bremsen elektronische Helfer automatisch oder veranlassen ein Ausweichmanöver, auch wenn der Fahrer die Gefahr noch nicht erkannt hat.



## Satellitengestütztes Sicherheitssystem für Autos und Züge



**D**irk Abel ist überzeugt: „Mit Satellitentechnik und Car-to-Car-Kommunikation können Kollisionen vermieden werden. Der Professor für Regelungstechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen entwickelt mit seinen Mitarbeitern ein revolutionäres Verkehrskonzept. Grundlage ist das von der Europäischen Union geplante Satellitennavigationssystem Galileo. Abel möchte die Ortsbestimmung aus dem Orbit mit Lenkrad und Bremsen der Fahrzeuge verknüpfen. Neben mitdenkenden Autos arbeiten die Aachener an Rangier-Robotern, die autonom Waggons zusammenstellen oder Züge abbremesen.

**G**alileo soll 2018 einsatzbereit sein. Schon jetzt können Automobil- und Zughersteller ihre Modelle unter realen Bedingungen testen. Auf zwei Parcours – für Straße und Schiene – werden Verkehrssituationen nachgestellt. Rund um die beiden Gelände montieren die Wissenschaftler auf Masten dieselbe Satellitentechnik, die auch im All eingesetzt wird. Sogar die Bewegung der Satelliten auf ihren Umlaufbahnen wird dabei simuliert.

# Exzellenz in vielen Dimensionen

*»Versuchen Sie einem Außerirdischen nur mit Worten zu erklären, was Musik ist. Sie können ihm erklären, dass das Schwingungen sind, die etwa durch Saiten verursacht werden, die über Resonanzkörper verstärkt werden, und dass diese Schwingungen über die Sinnesorgane wahrgenommen werden können. Doch was sagt das über die Musik aus? Genauso schwierig ist es, darzustellen, was Hirzebruch für die Mathematik geleistet hat.«*

Don B. Zagier, Direktor Max-Planck-Institut für Mathematik in Bonn

## Internationalität beflügelt die mathematische Spitzenforschung

Die Universität Bonn gehört zu den wichtigsten Zentren der mathematischen Forschung und Lehre. Dieser Status ist untrennbar mit Friedrich Hirzebruch (1927 bis 2012) verbunden. Er gilt als bedeutendster deutscher Mathematiker des 20. Jahrhunderts. Er bearbeitete die algebraische Geometrie, die Topologie, die Zahlentheorie und die Singularitätentheorie. Mit dem Signatur-Satz von Hirzebruch-Riemann-Roch begründete er seine internationale Reputation.

**H**irzebruch war Promotor der internationalen Vernetzung der deutschen Mathematik nach dem Zweiten Weltkrieg. 1957 gründete er die internationale „Mathematische Arbeitstagung“. Aus dem von ihm 1969 aufgebauten Sonderforschungsbereich „Theoretische Mathematik“ entstand 1980 das Max-Planck-Institut für Mathematik (MPIM), das Hirzebruch bis 1995 leitete.

**D**as Hausdorff Center for Mathematics wurde 2006 im Rahmen der Exzellenzinitiative gegründet. Getragen wird es von den vier mathematischen Instituten der Universität, dem MPIM sowie dem Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften. Das Exzellenzcluster umfasst darüber hinaus zwei Graduiertenschulen: die Bonn International Graduate School in Mathematics und die International Max Planck Research School for Moduli Spaces (IMPRS). Der 1927 geborene und wissenschaftlich hochdekorierte Hirzebruch hielt bis zu seinem Tode 2012 Vorträge und stand den Nachwuchswissenschaftlern zur Verfügung.

# Gebündelte Information

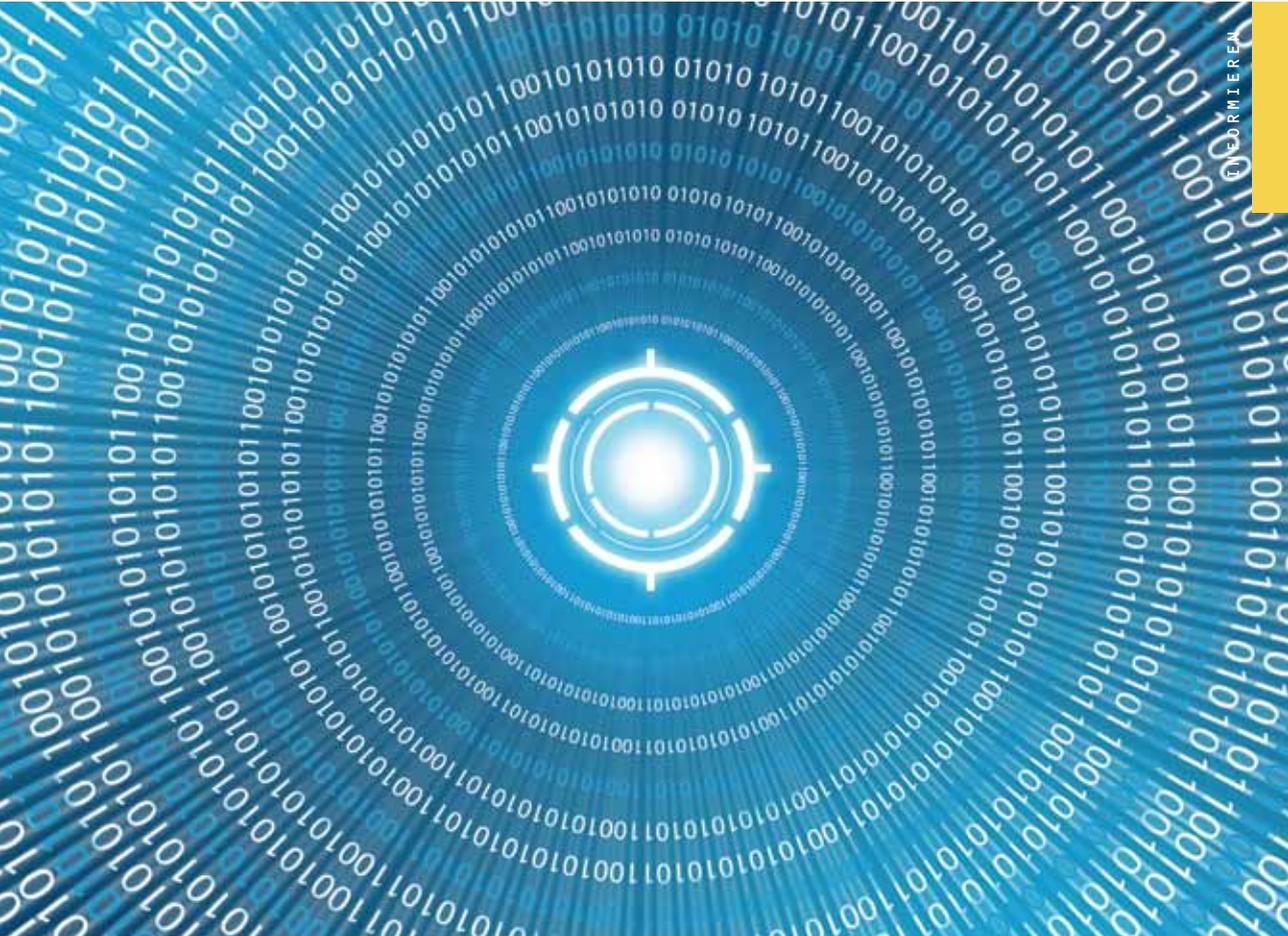
Im Karlsruher Institut für Technologie gab es einen Lichtblitz. Er dauerte eine Sekunde, erzeugte aber einen Donnerschlag für die Wissenschaft: In dieser Sekunde wurden 26 Terabit Daten, entsprechend 700 DVDs, auf einen einzigen Laser kodiert und übertragen.

**D**ie Fortschritte der Informations- und Kommunikationstechnologie sind rasant. Wegen des schnell wachsenden Datenaufkommens ist und bleibt die Übertragung großer Daten ein Nadelöhr. Dass das nicht so bleiben muss, dafür sorgen deutsche Wissenschaftler. Sie zeigen über diese und andere Geschwindigkeitsrekorde neue Wege auf. So das Team von Jürg Leuthold, der die Institute Photonik und Quantenelektronik sowie für Mikrostrukturtechnik am KIT leitet. Die Forscher hatten die Daten auf einen Laserstrahl kodiert und sie 50 Kilometer weit geschickt. Am Ziel angekommen, konnten sie die Daten wieder dekodieren. Das war der Weltrekord der Datenübertragung im Jahr 2011. Gerade

ein Jahr später kodieren die Forscher des KIT bereits 32 Terabit pro Sekunde auf einem Laserstrahl und übertragen diese 220 km.

**U**m zu erreichen, was vor wenigen Jahren noch als utopisch galt, verwendeten die Wissenschaftler das Orthogonale Frequenz-Division Multiplexingverfahren (OFDM), das in der Mobilkommunikation schon lange eingesetzt wird. Allerdings sind die optischen Datenraten ca. 1.000-mal höher als die Daten der Mobilkommunikation. Bei der Umsetzung des Verfahrens ins Optische ging es denn auch darum, die Verarbeitungsgeschwindigkeit um einen Faktor 1000 zu erhöhen. Bei der Umsetzung erhielt das KIT Unterstützung von Unternehmen und Wissenschaftlern aus ganz Europa. Spannend ist dieser Rekord besonders im Hinblick auf Anwendungen der virtuellen Realität, für Cloud-Computing und das künftige 3-D-Fernsehen: überall dort, wo enorme Bandbreiten in optischen Übertragungskanälen benötigt werden.

# Riesige Datenmengen mit Lasertechnologie übertragen





Verantworten

Unsere Welt hat sich fundamental verändert. Rund um den Globus werden Waren in gigantischem Ausmaß gehandelt; in früheren Entwicklungsländern entstehen Hightech-Fabriken, die Bevölkerung in ärmeren Teilen der Welt nähert sich dem Lebensstandard der Industriegesellschaften an. So erfreulich dieser Prozess für viele Menschen ist, zeigt er doch auch, wie zerstörerisch sich ungezügelter Wachstum auf Klima, Boden, Flüsse und Meere auswirken kann.

Deutsche Wissenschaftler arbeiten mit Partnern in der ganzen Welt daran, die Vorteile der Globalisierung mit einer nachhaltigen Entwicklung zu verknüpfen. So bauen Physiker aus Kassel mit britischen Firmen Meeresströmungskraftwerke, um die natürliche Kraft der Gezeiten in Strom umzuwandeln. Abwassertechniker der Technischen Universität Darmstadt konstruieren für

boomende Städte Anlagen, die Abwasser wiederaufbereiten und aus Klärschlamm Energie gewinnen können. Berliner Juristen beraten Kollegen in Vietnam, wie der Übergang zu einem modernen Rechtsstaat gelingt.

Trotz aller Chancen – viele Menschen reagieren mit Unsicherheit auf die neuen Herausforderungen. Die Soziologen Ortwin Renn und Ulrich Beck analysieren, wie gesellschaftliche Risiken wahrgenommen werden und fragen auch, ob sie kalkulierbar sind. Die Wissenschaftler suchen Strategien gegen Fortschrittsangst und Expertendiktatur. Ihr Ziel ist es, eine Balance zu finden zwischen Sicherheit und Spekulation, zwischen Konkurrenz und Kooperation. Denn Forschung muss Verantwortung übernehmen – für die Natur und eine wachsende Weltbevölkerung.

# Wenn Mikroben Gas geben



## Kleinstlebewesen produzieren Methan zur Stromerzeugung

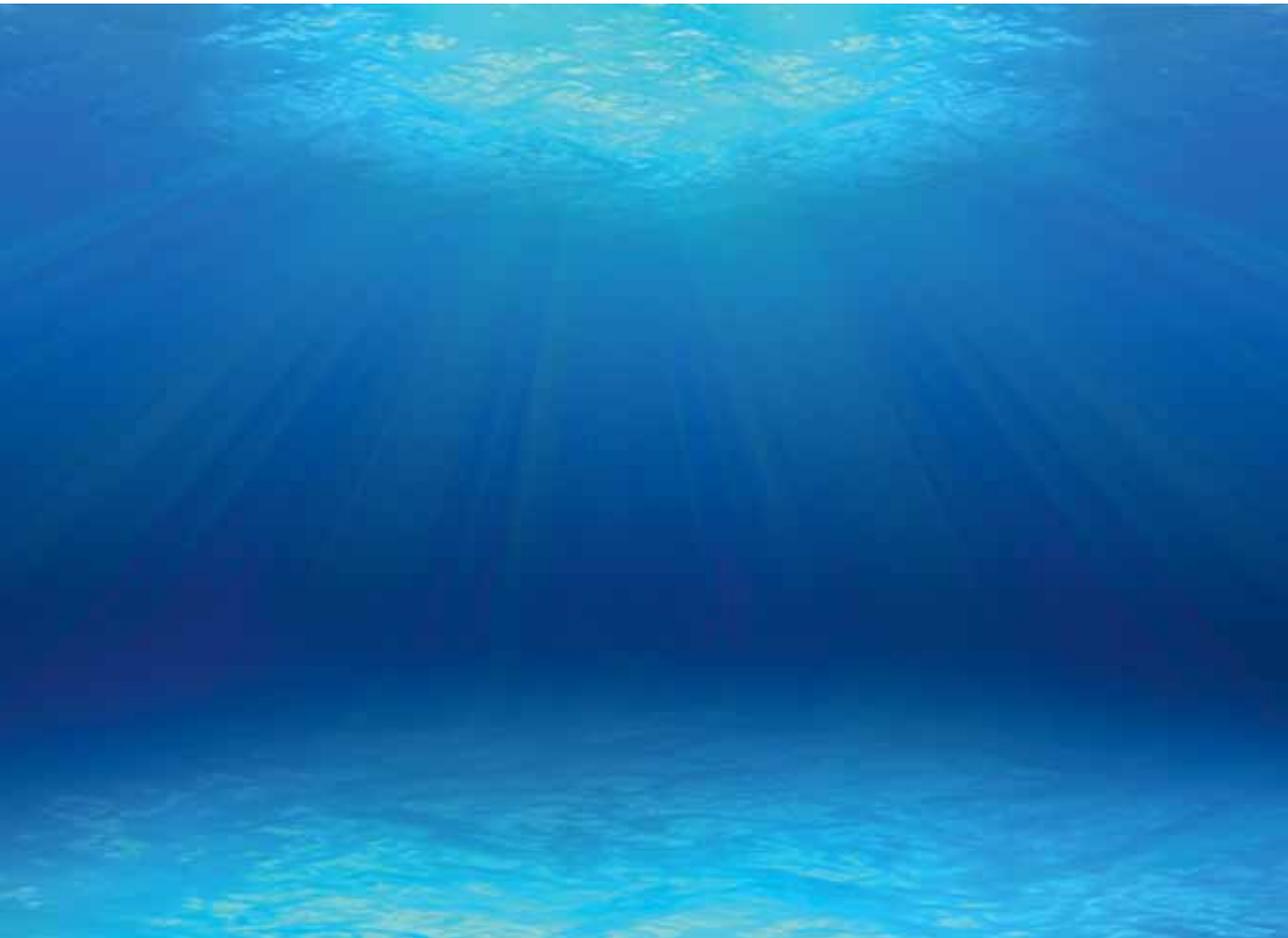
Alfred Pühler sitzt in seinem Labor an der Universität Bielefeld. Mit einem Blick durchs Lichtmikroskop taxiert der Mikrobiologe seinen jüngsten Fang: Kleinstlebewesen aus einer nahe gelegenen Biogasanlage. Dort vergären die Mikroben Maispflanzen zu Methan. Dieses Gas wird in einem angeschlossenen Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Pühler will wissen, welche Mikroben maßgeblich am Gärungsprozess mitwirken: „Wenn wir die Haupt-Player kennen, können wir Biogasanlagen gezielt damit animpfen und so den Kraftwerksbetrieb optimieren.“

**D**iese Player zu finden, ist keine einfache Aufgabe. Denn in einer Biogasanlage leben mehrere hundert verschiedene Mikroorganismus-Arten. Nur ein Teil von ihnen ist mehr oder weniger an der Methanerzeugung beteiligt. Um die wichtigsten Gasproduzenten zu identifizieren, erfassen die Bielefelder Biologen zunächst das genetische Material der

gesamten Mikroben-Gemeinschaft: Mit der Metagenom-Analyse wird die komplette DNA isoliert und in Stücke gespalten, die schließlich jedes für sich in seine Grundbausteine zerlegt und maschinell sequenziert werden. „Die eigentliche Arbeit steckt in der Auswertung der riesigen Datenmengen durch erfahrene Bioinformatiker.“

**A**ls wichtigster so entdeckter Methanproduzent erwies sich eine Mikrobe der Gattung *Methanoculleus*. Das Know-how zu ihrer Identifizierung und die benötigten Geräte stellte das Centrum für Biotechnologie (CeBiTec) der Universität Bielefeld. In einem internationalen Graduiertenprogramm können Nachwuchsforscher am CeBiTec die genetische Analyse von Genomen und Metagenomen betreiben – nicht nur von Mikroorganismen, sondern auch von allen anderen Lebewesen wie Pflanzen und Tieren.

# Ein Meer voller Energie



## Vor Nordirlands Küste wird sauberer Strom gewonnen

Heißes Wasser steigt im Wasserkocher aufgrund geringerer Dichte nach oben. Auch die Weltmeere sind in ständiger Bewegung. Das liegt an Temperaturunterschieden, aber auch an unterschiedlichem Salzgehalt und an Ebbe und Flut. Wie ließe sich diese Bewegungsenergie des Meeres zur Stromerzeugung nutzen?

**2**003 wurde als Pilotanlage (Seaflow) zu Forschungszwecken die erste Meeresströmungsturbine in der Irischen See in Betrieb genommen. 2008 wurde die Anlage SeaGen installiert. Sie funktioniert wie eine Windkraftanlage, nur liegen die 16 Meter großen Rotorblätter im Wasser. Anders als bei Windkraftanlagen ist der Energielieferant gut berechenbar: Gezeitenströme kennt man, während schlecht vorhersehbar ist, welcher Wind wann weht. Meeresströmungsturbinen sind effizienter als Windkraft- oder Fotovoltaik-

anlagen. Bei Serienfertigung werden die Stromkosten auf fünf bis zehn Cent pro kWh geschätzt.

**D**as deutsch-britische Forschungsprojekt Seaflow wird von Jochen Bard, Leiter des Instituts für Meeresenergien am Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) an der Universität Kassel geleitet. Es wurde von der Europäischen Kommission, dem Bundesministerium für Umwelt (BMU) und dem British Department for Trade and Industry gefördert. Seit 2005 arbeitet Bard am Projekt SeaGen, dem Nachfolger von Seaflow. Kommerziell nutzbare Anlagen sind das Ziel. Allein die bestehende Forschungsanlage liefert schon 1,2 Megawatt, Strom für 1.500 Haushalte. In Europa ließen sich jährlich 12.500 Megawatt Strom durch Meeresturbinen gewinnen.

# Der Gefahren-Gutachter

Wie sicher ist sicher genug? Schon einem einzelnen Menschen fällt es schwer, diese Frage für seinen Alltag zu klären. Wie kompliziert wird es erst, wenn sich eine ganze Gesellschaft einigen muss, welche natürlichen, technischen oder finanziellen Risiken sie eingehen will? Ortwin Renn, Professor für Technik- und Umweltsoziologie an der Universität Stuttgart, entwickelt Instrumente, um Risiken zu bewerten. Für ihn ist es wichtig, „ein Gleichgewicht zwischen Risiken, Nutzen und Ungewissheiten“ zu schaffen.

**D**as größte Problem liegt darin, dass weder Experten noch Laien rational urteilen. So nähert sich ein Mensch mit Spinnenphobie einem Krabbeltier anders als ein interessierter Zoologe. Ein Ingenieur, der in einem Kernkraftwerk arbeitet, fühlt sich weniger von einem GAU bedroht als große Teile der Bevölkerung. Während die einen selbstsicher behaupten, alles im Griff zu haben, stützen andere ihre Ablehnung auf Emotion und Spekulation. Beide Gruppen

sind befangen. Wie können sie dennoch konstruktiv über Risiken diskutieren?

**E**ine wichtige Frage, denn Gefahren drohen überall: in verdorbenen Lebensmitteln, Chemikalien, Naturkatastrophen, Terror oder Gentechnik. Renn versucht, die vielfältigen Probleme und Phänomene für alle nachvollziehbar zu beschreiben. Einerseits bedient er sich der klassischen Methode: Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß eines Unfalls werden multipliziert, um dann vorsorgende Grenzwerte festzulegen. Zugleich berücksichtigt er mögliche Spätfolgen und Langzeitschäden, die Verkettung mehrerer Ursachen, die raschere Verbreitung in einer globalisierten Welt sowie den Einfluss von Bedrohungen auf die Psyche und das soziale und kulturelle Leben der Menschen. Unabhängigkeit und klare Analyse sind für die Problembewertung elementar. „Risikopolitik“, so Renn, „muss sich sowohl vor Expertendiktatur als auch vor Populismus hüten, muss Bürger- und Staatsverantwortung abwägen“.

## Vom gesellschaftlichen Umgang mit Risiken und Entscheidungen



# Die Grande Dame der deutschen Soziologie

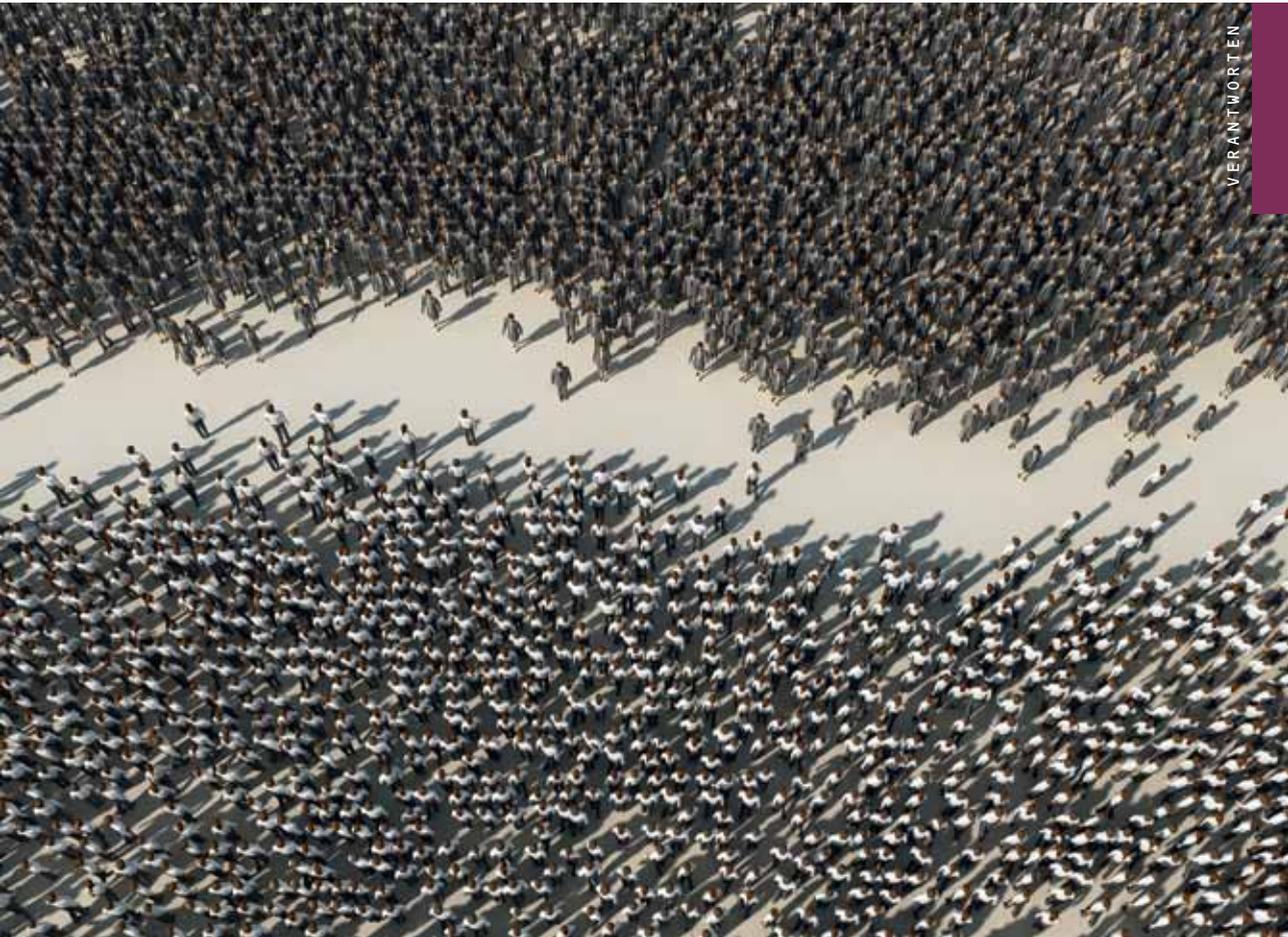
Renate Mayntz prägte ein halbes Jahrhundert soziologischer Forschung. Ihre Themen bildeten Orientierungsmarken, ob in der Makrotheorie, der Analyse politischer Steuerungsmechanismen, der vergleichenden Politikforschung, der Organisations- und Verwaltungswissenschaften oder in der Techniksoziologie. Sie beriet die Politik, lange bevor Politikberatung Mode wurde und gab dazu klare Regeln vor. „Man soll sein Wissen präsentieren, und die Politik muss entscheiden“. Hier scheint auch das ihr eigene Understatement auf, denn tatsächlich umfasste ihre Beratungstätigkeit mehr als die Exposition der wissenschaftlich belastbaren Möglichkeiten.

**S**ie arbeitete in der Studienkommission zur Reform des Öffentlichen Dienstrechts, gehörte dem Deutschen Bildungsrat an und beteiligte sich an der sensiblen Aufgabe, die Akademie der Wissenschaften der DDR in die Berlin-Brandenburgische Akademie zu überführen. Sie gründete das Max-Planck-Institut

für Gesellschaftsforschung und konzentrierte sich fortan auf Aspekte der Globalisierung und Governance. Mayntz ist seit 1997 emeritiert und beschäftigt sich nach wie vor mit den großen Problemen unserer Zeit. 2009 baute sie ein Netzwerk von internationalen Wissenschaftlern auf, die die Regulierung der Finanzmärkte erforschen. Derzeit beteiligt sie sich an einer Gruppe, die die Strukturen illegaler Märkte untersucht: Wie arrangieren kriminelle Organisationen den Verkauf gefälschter Produkte oder die illegale Entsorgung von Giftmüll? Welche Verbindungen gibt es zur legalen Ökonomie? Antworten auf diese und andere Fragen gibt es jeweils nach Abschluss der betreffenden Projekte.

**G**ibt es noch Fragen zur Produktivität unserer Emeriti? Sie möge uns lange erhalten bleiben! Mayntz erhielt 2010 den Innovationspreis des Landes Nordrhein-Westfalen für ihr Lebenswerk.

# Herausragende Analysen am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung



# Deutsches Recht nach Vietnam



E5 | Jürgen Keßler

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin | [www.fesvietnam.org](http://www.fesvietnam.org)

## Juristischer Wissenstransfer zur Reform der Rechtsordnung

Große Teile des chinesischen, türkischen und ungarischen Rechts wurden von der deutschen Rechtswissenschaft beeinflusst oder haben Teile des deutschen Rechtssystems übernommen. Ein solcher Prozess findet mit wissenschaftlicher Unterstützung aus deutschen Hochschulen gemeinsam mit der Friedrich-Ebert-Stiftung und dem DAAD seit 2010 in Vietnam statt.

**D**eutsche Experten organisieren den Wissenstransfer in den Bereichen Vertrags-, Zivil- und Arbeitsrecht, geistiges Eigentum sowie Verwaltungs- und Verfassungsrecht. Dazu gehört der Aufbau eines Instituts für Deutsches und Europäisches Recht an der Hochschule Hanoi. Jürgen Keßler, Professor für europäisches und internationales Wirtschaftsrecht an der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), koordiniert diesen Austausch. „Wir kooperieren eng mit Regierung und Hochschulen in Vietnam“, erklärt er. Derzeit gehe es vor allem um Vorschriften zur Verfassungsreform und die Erarbeitung eines

neuen Unternehmens- und Insolvenzrechts, das auch wirtschaftliche Kooperationen erleichtern soll. Im Rahmen dieses Austausches referieren Richter, Verwaltungsangestellte oder Rechtswissenschaftler aus der Bundesrepublik vor vietnamesischen Hochschullehrern, Richtern oder Ministerialbeamten. Die deutschen Experten halten zudem Vorlesungen für Studierende; einige der Nachwuchswissenschaftler erhalten Stipendien und können sich in Deutschland immatrikulieren.

**D**er Grund für diesen Wandel: Das Land will unter der Führung der Kommunistischen Partei an der Globalisierung teilhaben. Davon profitiert auch Deutschland. „Durch die angegliche Rechtsordnung wird die wirtschaftliche Zusammenarbeit gestärkt“, betont Keßler. Eine Hoffnung aus dem deutsch-vietnamesischen Rechtsdialog ist, dass sich Vietnam zu einem Rechtsstaat entwickle. „Die ersten Erfahrungen sind sehr ermutigend, denn Vietnam ist interessiert, deutsche Erfahrungen zu nutzen.“

# Stadtflitzer auf der Überholspur

Größer, schwerer, schneller. So lautete jahrzehntelang die Devise im Automobilbau. Doch mittlerweile ist klar, dass wir uns so in eine Sackgasse manövrieren. Denn die weltweiten Ressourcen sind begrenzt. Nach dem Willen der Bundesregierung sollen bis 2020 eine Million Pkw emissionsfrei auf deutschen Straßen unterwegs sein.

**B**islang bremste der hohe Preis dieser Autos den Einstieg in die umweltfreundliche Mobilität. An der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen entwickelt ein Team um Achim Kampker zusammen mit 80 mittelständischen Firmen das Elektrofahrzeug StreetScooter. Der Wagen soll ohne Batterie etwa 5.000 Euro kosten. Die Kunden – Zielgruppe sind zunächst Autovermietungen, Taxifirmen oder Logistikkonzerne – können wählen, ob sie dazu ein, zwei oder drei Akkus mit einer Reichweite von jeweils 45 Kilometer leasen.

**F**ür den normalen Alltag ist das völlig ausreichend. Denn die überwiegende Zahl von Autofahrten ist meist kürzer als zehn Kilometer. „Unser Ziel ist es, ein zuverlässiges und sicheres Fahrzeug für die Nutzung in Städten zu entwickeln“, sagt Kampker, der in Aachen den Lehrstuhl für Produktionsmanagement leitet. Damit der StreetScooter preislich auf dem Boden bleibt, werden bereits bei der Konstruktion jedes einzelnen Bauteils die späteren Produktionskosten einkalkuliert. Zudem findet die Entwicklung nicht an speziellen Standorten, sondern im virtuellen Raum statt. Auf einer zentralen Online-Plattform werden alle Projektdaten gesammelt und verwaltet. Gebaut wird der Stadtflitzer aus verschiedenen kombinierbaren Modulen – auch das spart Kosten.

## Ingenieure entwickeln ein preiswertes und umweltfreundliches Elektroauto



# Vom Risiko des Erfolgs



## Der Diskurs über die Folgen der Globalisierung

Atom-Super-GAU und Weltfinanzkrise, Terroranschläge, Orkane und Tsunamis. Ulrich Becks Theorie über die „Weltrisikogesellschaft“ wird durch die jüngeren Katastrophen bestätigt: Kaum jemand hat sie für möglich gehalten; sie sprengen unseren Erwartungshorizont und alle Vor- und Nachsorgepläne. Sie treffen die Moderne ins Mark und beenden das Zeitalter der Vollkaskogesellschaft.

**U**lrich Beck, Professor für Soziologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München, prägt seit Jahrzehnten die soziologische Forschung über die Folgen von Globalisierung und Technisierung. Seine Bücher über die Risikogesellschaft wurden in 35 Sprachen übersetzt, in Deutschland, aber auch in vielen anderen Ländern ist der Begriff zum geflügelten Wort geworden. Ausgerechnet an ihren Erfolgen, so Beck, drohe die Moderne zu scheitern. Der technische Fortschritt, auf dem Wachstum und Wohlstand der Industrie-

gesellschaft gründen, fördere zunehmend die Angst vor seinem Kollaps. Habe man früher Innovationen im Labor oder in begrenzten Feldversuchen getestet, diene inzwischen die ganze Welt als Experimentierfeld. Ob Atomanlagen, genmanipulierte Lebewesen oder Nanotechnologie – die Folgen wirkten global, seien unumkehrbar und beträfen auch nachfolgende Generationen.

**K**ennzeichen der „zweiten Moderne“, wie Beck die derzeitige Ära der Globalisierung nennt, seien die Entgrenzung des Risikos und die Suche des Individuums nach der verlorenen Sicherheit. Beck empfiehlt den Abschied von der „mathematischen Moralität“ des Expertendenkens, das die Größe einer Gefahr durch Wahrscheinlichkeitsberechnungen erkennen will. Stattdessen solle man die Angst der Menschheit vor dem Kollaps positiv nutzen: als Chance zur kosmopolitischen Kooperation und für eine Wende in den Geistes- und Sozialwissenschaften.

# Wasser: Lebenselixier für Millionen



## Ingenieure entwickeln energieautarke Abwasser- und Abfallinfrastrukturen für Megacities

Hanoi besitzt für sieben Millionen Einwohner keine Kläranlage. Das Abwasser der Menschen wird in Klärgruben unter den Gebäuden gesammelt. Sind diese voll, sollten sie eigentlich geleert werden. Da dies für viele Menschen zu teuer ist, laufen die meisten Klärgruben unkontrolliert über. Das Abwasser gelangt ungereinigt in Flüsse und Kanäle, belastet die Böden und gefährdet die Trinkwasserversorgung.

**Ä**hnliche Probleme gibt es in vielen Megastädten der Welt. In den Schwellen- und Entwicklungsländern wachsen die Städte schneller als die Infrastruktursysteme. Konventionelle große, zentrale Lösungen sind vielfach zu langsam, dezentrale Lösungen kaum kontrollierbar und zu teuer. Die Lösung heißt semizentral: kompakte, professionell betriebene Anlagen für einzelne Stadtteile. Peter Cornel hat die Idee am Fachgebiet Abwassertechnik der Technischen Universität Darmstadt entwickelt: Systeme mit 20.000 bis 50.000 angeschlossenen Einwohnern, die die wesentlichen Infrastrukturen Was-

ser, Abwasser und Abfall behandeln. Dies ermöglicht die Nutzung von Synergieeffekten, spart Geld und erhöht die Effizienz des Systems. Parkhausgroße geschlossene Gebäude innerhalb der Stadt beinhalten die Abwasserreinigung, Wasseraufbereitung, Abfallbehandlung und Energieproduktion. Kurze Wege minimieren den Transport- und Energieaufwand – das semizentrale Ver- und Entsorgungszentrum ist Teil der Stadt.

**A**m IWAR forschen interdisziplinäre Forscherteams aus Abwasser- und Verfahrenstechnikern, Umweltwissenschaftlern, Stadtplanern und Geodäten derzeit mit Schwerpunkt Vietnam und China. Gemeinsam mit der Hanoi University of Civil Engineering wurde ein Konzept zur Verbesserung der Umweltsituation in Hanoi entwickelt. Auch in der chinesischen Hafenstadt Qingdao ist deutsches Know-how gefragt. Dort entsteht bis 2014 das erste semizentrale Ver- und Entsorgungszentrum.



Wirtschaften

„It's the economy, stupid.“ Bill Clintons Einsicht hat seit 1992 nichts von seiner Aktualität eingebüßt: Wenn die Wirtschaft funktioniert und wächst, geht es den Leuten gut – das weiß auch die Politik. Wirtschaftliche Prosperität ist Voraussetzung für viele Ziele einer Gesellschaft.

In Deutschland arbeiten Wissenschaftler an der Erhaltung und Verbesserung unserer Lebensgrundlagen und -umstände. Ingenieure entwickeln intelligente Stromnetze, Logistiker optimieren Warenströme, Chemiker entwickeln biologisch abbaubare Kunststoffe. Die Wirtschaftswissenschaften sollen Entscheidungen von Politik, Organisationen und Unternehmen unterstützen. Dazu muss man verstehen, wie sich die Marktakteure verhalten und was sie beeinflusst. Welche Rahmenbedingungen sollte der Staat setzen, um Stabilität und Fortschritt, Wachstum

und Beschäftigung zu erreichen? Wie viel Regulation brauchen die Märkte? Wie sollen Unternehmer investieren und disponieren, um Wettbewerbsvorteile, Einkommen und Nachhaltigkeit zu erreichen? Wie können Konsumenten sich vor Manipulation schützen? Antworten sucht die Wissenschaft im hochkomplexen menschlichen Verhalten.

Junge Ansätze der Wirtschaftswissenschaften wollen Käufer und Anbieter, Wirkungen von Restriktionen und Anreizen verstehen, Handeln erklären und vorhersagen. Makroökonomisch stehen Analyse und Simulation von Marktgeschehen im Fokus, mikroökonomisch Erkenntnisse aus der Psychologie. Durch Krisen wie Insolvenzen, Staatsbankrotte und versagende Finanzmärkte werden Problemfelder offenbar. Hier ist die Wirtschaftsforschung in Politik und Management gefragt.

# Mensch im Mittelpunkt

Warum zahlen Leser für ihre „pay what you want“-Zeitung, die am U-Bahnhof unbewacht ausliegt? Warum teilt man einen Gewinn nicht nach Macht und Recht auf, sondern nach dem Prinzip „leben und leben lassen“? Menschen verhalten sich eben als soziales Wesen, also nicht ausschließlich wirtschaftlich handelnd und nur klare Ziele verfolgend, vollkommen informiert und perfekt egoistisch.

**W**arum unser Verhalten nur begrenzt rational ist, wird im Rahmen der Verhaltensökonomie erforscht. Axel Ockenfels ist in Deutschland der profilierteste und international renommierte Vertreter dieser Forschung. Gleichzeitig ist er Promotor einer Wissenschaft, die das reale ökonomische Verhalten erforscht. So stellt er auch die These vom bloßen Eigennutzstreben infrage und beweist experimentell soziale Verhaltensweisen wie das Phänomen der ökonomischen Fairness.

**S**olche Aussagen bilden die Grundlage der neuen „Behavioral Economics“. Die Verhaltensökonomie nutzt psychologische und neurowissenschaftliche Erkenntnisse, um besser zu verstehen, wie Wahrnehmungen und Entscheidungen entstehen und welche Anreizsysteme zu welchen Entscheidungen führen. Ockenfels beobachtete unter diesem Aspekt auch wirtschaftspolitisch-praktische Anwendungen wie Versteigerungen im Internet, die Regulierung des Strommarktes oder die Mindestlohn-These zur Lösung von Beschäftigungsproblemen. Das schlägt Brücken von abstrakt-steriler Theorie zur hochkomplexen Realität der Märkte. Begrenzte Rationalität des Verhaltens wird erklärbar, voraussagbar, beeinflussbar. 2005 wurde er mit dem renommierten Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet.

**Axel Ockenfels vertritt eine  
moderne Volkswirtschaftslehre**



# Joghurtbecher auf den Kompost



## Kostengünstige Produktion biologisch abbaubarer Kunststoffe

Kunststoffe sind überall, im Handy, im Spielzeug, im Auto, in fast jeder Verpackung. Sie lassen sich gut verarbeiten und sind lange haltbar, aber darin besteht auch ein Problem: Kunststoffe landen früher oder später auf dem Müll, etwa 1/10 davon leider im Meer. Die Müllmenge beträgt jetzt schon viele Millionen Tonnen, Tendenz steigend. Zudem wird bei der Herstellung viel Erdöl verbraucht. Längst ist klar: So kann es nicht weitergehen!

**B**ernhard Rieger, Technische Universität München, und sein Team haben mit einem Industriepartner eine überlegene Lösung erforscht: Sie entwickelten eine Synthese für den Kunststoff PHB, der sich in wenigen Wochen auf dem Kompost zersetzt. Der

Stoff bekommt bedarfsspezifisch passende Eigenschaften wie Elastizität und Durchsichtigkeit. Die Herstellung ist kostengünstig und kann mit herkömmlichen Kunststoffen auch qualitativ konkurrieren. Und das Beste: PHB entsteht durch Katalyse aus Kohlenmonoxid und Propylenoxid. Kohlenmonoxid lässt sich leicht aus Wasser und Kohle herstellen, und die Synthese benötigt nur halb so viel Erdöl wie die Produktion von Polypropylen.

**M**it dieser breit anwendbaren und nachhaltigen Technologie sind die Münchner Forscher weltweit führend. Für seine Leistung wurde Rieger zusammen mit seinem BASF-Partner Luinstra 2006 mit dem Forschungspreis der Phillip Morris Stiftung ausgezeichnet.

# Genetische Vielfalt entschlüsseln, ausbauen und nutzen



## Forschungsverbund Tier- und Pflanzenzucht



Seit Jahrhunderten ist die Tier- und Pflanzenzucht Grundlage für die Produktion gesunder und ausreichender Lebensmittel. In der heutigen Landwirtschaft spielen Züchtungstechnologien eine herausragende Rolle. Mit leistungsfähigen Pflanzensorten kann man den Ertrag stärker steigern als durch moderne Bewirtschaftungstechniken oder intensivere Düngung. „Um die Möglichkeiten der Züchtung noch besser auszuschöpfen, müssen wir das Know-how aus allen Bereichen der Lebenswissenschaften bündeln“, erklärt Chris-Carolin Schön, Agrarwissenschaftlerin an der Technischen Universität München.

**I**m Forschungsverbund SYNBREED kooperieren Pflanzen- und Tierzüchter mit Molekularbiologen, Bioinformatikern und Humanmediziner. Diese interdisziplinäre Besetzung soll Synergien aufzeigen, neue Ideen und Ansätze ermöglichen. Im Mittelpunkt steht die Nutzung der natürlichen Vielfalt der wirtschaftlich bedeutenden Arten Mais, Huhn und Rind – Nahrungsmittel mit einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung.

Besonders interessant sind Eigenschaften, die zur Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit dieser Arten beitragen. Hier liegt auch die größte Schwierigkeit: Komplexe Merkmale wie beispielsweise der Ertrag von Mais oder die Milchleistung von Kühen sind vom Wechselspiel zahlreicher genetischer Faktoren abhängig.

**S**chön erläutert: „Inzwischen betrachten wir in einem Genom tausende genetische Elemente gleichzeitig und schauen dann, welche Kombination davon zum Beispiel die Legeleistung von Hühnern am stärksten beeinflusst.“ Von der Weiterentwicklung genomischer Forschungsansätze profitieren alle Mitglieder des Verbunds – das sind neben der Technischen Universität München, die Universitäten in Göttingen, Hohenheim und Kiel sowie vier außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und zwei Industriepartner. Teil des Programms ist eine strukturierte Doktorandenausbildung mit Promotionskolleg, Summer Schools und Forschungsstipendien.

# Die Wissenschaft der Werbung

Konsumenten können Premium-Biermarken im Blindtest nicht erkennen und zeigen da andere Präferenzen als im offenen Test mit sichtbarer Marke. Becks hat seine erfolgreiche Positionierung im Wettbewerb durch ein grünes Segelschiff ausgeprägt, Flensburger durch das „Plopp“ beim Öffnen der Bügelverschluss-Flasche. Käufer zahlen für Markenprodukte wesentlich mehr als für „no-names“ gleicher Qualität. Unzählige weitere Marketing-Beispiele zeigen, dass der Konsument alles andere ist als ein rationaler „homo oeconomicus“.

**W**erner Kroeber-Riel machte seit 1970 in Saarbrücken aus der verstaubt-deskriptiven Absatzwirtschaftslehre eine moderne Marketingwissenschaft. Er war der erste, der Annahmen durch empirische Forschung ersetzte: Marketing muss die Psychologie menschlichen Verhaltens und seine Einflüsse auf Zielkunden verstehen. Zwar ist Konsumentenverhalten nicht besonders

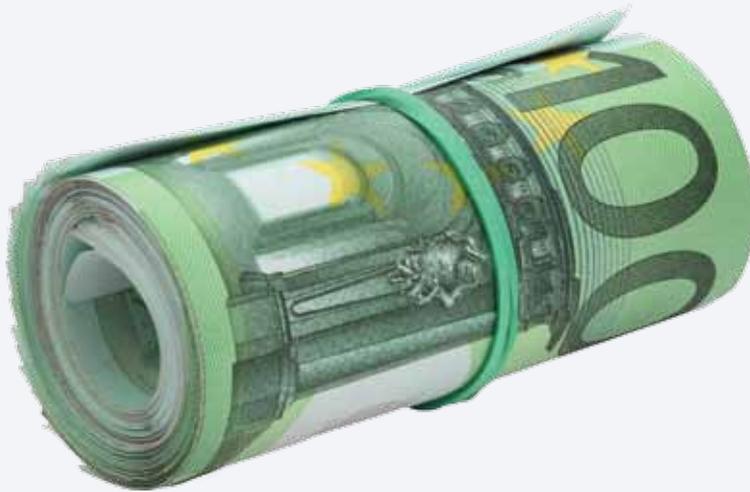
rational, gehorcht aber „psycho-logischen“ Gesetzmäßigkeiten. Sie werden, interdisziplinär theoriefundiert, empirisch erforscht.

**D**as von Kroeber-Riel gegründete Forschungsinstitut „Konsum- und Verhaltensforschung (ikv)“ hat seit 1969 mit inzwischen 15 Lehrstühlen und hunderten Wissenschaftlern die Theorie des Konsumentenverhaltens entwickelt. Mit ihrer empirischen Methodik können Unternehmen ihre Produkte an reale, aber eben subjektive Bedürfnisse anpassen statt die Produktgestaltung allein den Ingenieuren zu überlassen. Sie hilft, hohe Investitionen in Werbung und Marken effektiv zu steuern und Konsumenten gezielt zu beeinflussen. Die Erkenntnisse dienen auch dem Wettbewerbsrecht und dem Verbraucherschutz, illegale und ethisch problematische Techniken der Manipulation zu identifizieren und Konsumenten davor zu schützen.

**Absatzlehre plus Psychologie = Konsumforschung**



# Mythos Homo Oeconomicus



## Experimentelle Wirtschaftsforschung sorgt für Paradigmenwechsel

Er denkt blitzschnell, erfasst lückenlos sämtliche Möglichkeiten, um sich dann für die beste Variante zu entscheiden. Die Vorstellung vom rational handelnden Menschen, dem homo oeconomicus, gehört zu den modernen Mythen unserer Zeit. „Dabei hat die experimentelle Wirtschaftsforschung klar gezeigt, dass dieses Modell gänzlich unrealistisch ist“, sagt Reinhard Selten. Der Ökonomie-Professor gilt als Vorreiter der experimentellen Wirtschaftsforschung. Für seinen Beitrag zur Spieltheorie wurde er 1994 als erster Deutscher mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnet.

**S**elten lehrte in Berkeley, Berlin und Bielefeld, bevor er 1984 nach Bonn kam und mit dem BonnEconLab das erste Labor für experimentelle Wirtschaftsforschung in Europa gründete. Bei dieser Forschungsdisziplin treffen Versuchspersonen während spezieller Experimentalsitzungen reale Entscheidungen, die mit Geldanreizen gekoppelt sind. Die dar-

aus gewonnenen empirischen Daten erlauben eine umfassende Verhaltensanalyse wirtschaftlichen Handelns. Längst hat sich diese Methodik in der ökonomischen Forschung etabliert. Das Institut kooperiert eng mit dem wirtschaftswissenschaftlichen Fachbereich der Universität und ist in die Bachelor-, Master- und Doktorandenausbildung eingebunden.

**B**is heute veröffentlicht Selten zahlreiche Publikationen und betreut Nachwuchswissenschaftler; er leitet verschiedene Projekte am BonnEconLab sowie die Arbeitsstelle „Rationalität im Lichte der experimentellen Wirtschaftsforschung“ an der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste. Bei diesem seit 2006 laufenden Langzeitvorhaben entwickeln die Wissenschaftler eine experimentell gestützte Theorie ökonomischen Verhaltens. „Wir wollen erfassen, wie wirtschaftliche Entscheidungen tatsächlich zustande kommen“, formuliert Selten den ambitionierten Anspruch.

# Gesteuerte Emotionen



F6 | Dietrich Dörner, Universität Bamberg

[www.uni-bamberg.de/psychologie/theoretische-psychologie/forschung/downloads](http://www.uni-bamberg.de/psychologie/theoretische-psychologie/forschung/downloads)

[www.uni-bamberg.de/psychologie/theoretische-psychologie/](http://www.uni-bamberg.de/psychologie/theoretische-psychologie/)

## Komplexes Problemlösen ist schwierig, wertvoll und erlernbar

Peter Löscher, CEO von Siemens, verdient jährlich rund 9 Mio. Euro. Spitzengehälter von Topmanagern großer Unternehmen sind nicht ungewöhnlich und letztlich zu verstehen durch deren rare Fähigkeit, ständig erfolgreich komplexe Entscheidungen zu treffen und kommunikativ durchzusetzen. Komplexität heißt Vielfalt (viele Faktoren wirken) und Dynamik (viel verändert sich dabei). Unternehmen zu führen ist also hoch komplex. Oft müssen in unsicheren Situationen weitreichende Entscheidungen getroffen werden, die Auswirkungen auf zugleich mehrere kurz- und langfristige Ziele haben, von denen sich manche sogar widersprechen. Dazu kommen kaum berechenbare Fern- und Nebenwirkungen. Die Fähigkeiten erfolgreicher Manager sind rar und werden entsprechend hoch vergütet.

**E**xperimente des Psychologen und Kognitionswissenschaftlers Dietrich Dörner zeigen, wie schlecht selbst kompetente und motivierte Entscheider mit Komplexität umgehen. An der Aufgabe, einige Probleme der fiktiven Kleinstadt Lohhausen mit verfügbaren

Maßnahmen als Bürgermeister zu lösen, sind viele Versuchspersonen gescheitert: Wurde ein Problem gelöst, verschlimmerten sich dadurch andere. Oder ein kurzfristiger Erfolg entwickelte sich langfristig zum Desaster. Die meisten Menschen konnten ein einzelnes Problem gut lösen, aber nicht die komplex vernetzten und verzögerten Wirkungen auf andere Probleme berücksichtigen. Manager konnten jedoch besser entscheiden als Studenten.

**D**örner hat die Psychologie der Komplexitätsbewältigung erforscht und erschreckende Defizite verdeutlicht. Auf Basis seiner wissenschaftlichen Erkenntnisse hat er, nach dem Motto „Gefahr erkannt, Gefahr gebannt“, dafür sensibilisiert, psychologische Erklärungen formuliert und Methoden entwickelt, mit denen man komplexes Entscheiden trainieren kann. Dörners Erkenntnisse haben enorme Nutzenpotenziale. Sein Einfluss geht weit über die psychologische Fachwelt hinaus. 1986 wurde er mit dem renommierten Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet.

# Alles ist relativ

Der Mensch vergleicht ständig. Warum? Womit? Wie? Vor allem: Wie beeinflussen Vergleiche unsere Entscheidungen? Der international renommierte Sozialpsychologe Thomas Mussweiler forscht nach Antworten auf diese Fragen. Mithilfe experimenteller Studien hat er ein umfassendes Modell zur Erklärung von Vergleichsprozessen entwickelt. Zu seinem Team gehören auch Neuro- und Wirtschaftswissenschaftler.

**M**ussweiler sagt: „Wir vergleichen, weil wir mit unseren begrenzten mentalen Ressourcen sparsam umgehen müssen“. Würden wir immer, wenn wir ein Urteil fällen wollen, alle relevanten Informationen einbeziehen, wären wir hoffnungslos überfordert. Also benutzen wir Techniken zur Vereinfachung, Heuristiken. Dazu gehören Faustregeln, Vorurteile, Stereotype und eben Vergleiche.

**G**roße Beachtung fand Mussweilers Analyse des Ankereffekts. Dieser beschreibt, wie Menschen, um den Wert einer Sache bemessen zu können, Vergleichswerte – sogenannte Anker – heranziehen und wie unser Urteil dadurch beeinflusst wird. Mussweiler hat den Ankereffekt als Grundlage ökonomischer Entscheidungen empirisch untersucht. Es wurde klar, wie Verhandlungsergebnisse dadurch beeinflusst werden. So dient das zuerst genannte Gebot als Anker. Je höher es ist, desto höher wird der gezahlte Preis. Außerdem konnte er nachweisen, dass vollkommen irrelevante Vergleichswerte die Entscheidungen beeinflussen – selbst von Experten. So lassen sich professionelle Investoren beim Aktienkauf ebenso vom Ankereffekt leiten wie Privatanleger.

## Sozialpsychologen erforschen Vergleichsprozesse



# Biologie des Erfolgs



## Felix von Cube Theorie der „Lust an Leistung“

Wie lernt der Mensch dazu? Was macht ihm Lust zu arbeiten? Wo liegt das Geheimnis des Erfolgs? Der Erziehungswissenschaftler Felix von Cube hat diese Fragen auf einer logisch-empirischen Grundlage beantwortet, indem er Erkenntnisse aus der Kybernetik und der Verhaltensbiologie in die Pädagogik integrierte. Seine Theorien wirken heute über den schulischen Bereich hinaus auf die Ausbildung von Führungskräften im Management.

Von Cube, 1927 geboren und Professor für Didaktik in Berlin, Bonn und Heidelberg, entwickelte in den 1970er Jahren die „kybernetisch-informationstheoretische Didaktik“, die Erziehung und Lernen als einen schematisch modellierbaren Prozess begreift. Darin funktionieren Informationen, Ausbilder und Lernender als Teile eines Regelkreises, der durch bestimmte Stellschrauben gesteuert werden kann. Ausgehend von dieser Idee eines pädagogischen Regelsystems gründete von Cube anschließend die „Biologie des Erfolgs“. Demnach ist der Mensch ein triebhaftes Wesen, das sich durch innere

und äußere Reize zu außergewöhnlichen Leistungen bewegen lässt. „Lust an Leistung“, so von Cube, „stellt sich ein, wenn Flow erlebt wird, soziale Anerkennung und zwischenmenschliche Bindung.“ Von Cube bezieht sich hier auf den Psychologen Mihály Csíkszentmihályi, der die besondere Form des Erlebens im Flow als Erster beschrieben hat: Der Mensch im Flow arbeitet mühelos, sorgenfrei, kreativ und frei von eigenen und äußeren Erfolgserwartungen. Der Flow wird – so von Cube – durch den Neugiertrieb als „Sicherheitstrieb“ aktiviert. Er bewegt Menschen dazu, Unbekanntes in Vertrautes, Unsicherheit in Sicherheit zu verwandeln.

Will ein Unternehmen also zu hohen Leistungen motivieren, müsse es dafür sorgen, dass seine Mitarbeiter während der Arbeit ihre Triebe ausleben können: indem sie stets neue Aufgaben zu lösen bekommen, im Rahmen von Gruppenarbeit Gefühle von Zuverlässigkeit und Zugehörigkeit erleben und durch Aufstieg, Gratifikation und persönliches Lob Anerkennung erfahren.

# Die simulierte Zukunft



## Innovative Technologien zur virtuellen Realität

Wo muss der Arzt Elektroden ansetzen, um bei einer Querschnittslähmung Muskelfunktionen zu reaktivieren? Ausprobieren? Das ist die älteste Methode, um herauszufinden, was wohl am besten zum Ziel führt. Bei komplexen und empfindlichen Systemen verbietet sich das Ausprobieren. Es kann zu lange dauern und Schäden verursachen.

**M**an kann aber virtuell ausprobieren, durch Simulation: Das System wird als Computermodell abgebildet, und die Wirkung erwogener Maßnahmen wird daran rechnerisch bestimmt. So können sehr viele Versuche extrem schnell ablaufen, und das reale System wird nicht verändert. Simulationen sind in fast allen Lebens- und Forschungsbereichen unentbehrlich geworden: beispielsweise zur Entwicklung neuer Medikamente, für die Produktionsplanung, zur Wettervorhersage und Verkehrsregelung.

**D**eutschland nimmt in der Forschung für Simulationstechnologien eine führende Rolle ein, herausragend in Form des Exzellenzclusters „Simulation Technology“ (SimTech) mit der Graduiertenschule der Universität Stuttgart. SimTech wird seit 2007 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Die 85 Projekte, in denen derzeit gearbeitet wird, decken ein breites Spektrum ab. Eine der Gruppen befasst sich beispielsweise mit der Simulation von Skelettmuskeln und Teilen des menschlichen Bewegungsapparates. An speziellen Simulationsmodellen wird das Verhalten von Muskeln auf externe Reize untersucht. Im Ergebnis zeigt sich, wo Elektroden platziert werden müssen, um durch elektrische Impulse Funktionen eines geschädigten Muskels zu reaktivieren. In anderen Projekten werden mithilfe der computergestützten Modellierung virtuelle Prototypen entworfen, der Aufbau von Fabrikanlagen erprobt oder die Auswirkung von klimaschädlichen Gasen analysiert.

# Selbstfahrende Güterboxen

Der Lagerarbeiter von morgen wird keine Kisten mehr schleppen. Stattdessen überwacht er eine Software, die automatische Transportfahrzeuge steuert. In Dortmund hat diese Zukunft bereits begonnen – beim größten Praxistest zur künstlichen Intelligenz in der Logistik. In einer Versuchshalle bringen fahrerlose Shuttles die Waren an den für sie bestimmten Ort.

**W**eil die Shuttles ihre Ziele direkt ansteuern und keinen festgelegten Routen folgen, sparen sie Wege und Zeit. „Unser Ziel ist die Organisation der Logistik mit 75 Prozent der Ressourcen von heute“, sagt Michael ten Hompel. Der 53-Jährige ist Inhaber des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen an der Technischen Universität Dortmund und leitet das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik sowie das Effizienzcluster LogistikRuhr.

**D**ieser Verbund aus Wissenschaft und Wirtschaft wurde 2010 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zum Spitzencluster gekürt. „Logistik als Topthema der Forschung – das ist neu“, sagt ten Hompel. Und doch ist es höchste Zeit: Längst fordern Klimawandel und knapp werdende Ressourcen zum Umdenken auf. Zugleich werden mit der Globalisierung die logistischen Anforderungen immer größer. Ziel des Clusters ist es, innovative Produkte und Patente marktnah zu entwickeln. Dazu vereint es die Kompetenzen von rund 120 Unternehmen. Dutzende Verbundprojekte mit Partnern aus der Industrie und mit dem Fraunhofer-Institut wurden initiiert. Daraus hervorgegangen sind neben den selbstfahrenden Shuttles unter anderem auch intelligente Kisten, die selbstständig durch Lagerhallen fahren. 2013 wurde in diesem Zuge in Dortmund der Logistik-Campus mit neuen Professuren und Stellen für Wissenschaftler eröffnet, der in Zukunft noch erweitert werden soll.

# Künstliche Intelligenz zur Warenbeförderung



The image features a dark blue space background filled with numerous small white stars. A large white circle is centered on the page. Inside this white circle, there is a smaller orange circle. On the upper right edge of the orange circle, a glowing orange sphere is positioned, resembling a planet or moon. The German word "Zusammenleben" is written in white, bold, sans-serif font in the center of the white circle.

**Zusammenleben**

„Die Zivilisation ist erst im Werden“, schrieb der berühmte Soziologe Norbert Elias. Der deutsch-jüdische Gelehrte untersuchte, wie sich Gesellschaften in Westeuropa seit dem Mittelalter veränderten – und damit auch die Persönlichkeit des Einzelnen. Sein Ansatz ist hochaktuell. Denn wer erkennen will, was Menschen bewegt, muss analysieren, wie sie zusammenleben. Wer die Zukunft der Zivilisation mitgestalten möchte, sollte wissen, woher unsere Kulturen kommen.

Deshalb fragen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Berlin, Bielefeld, Essen, Heidelberg und Frankfurt am Main, welchen Regeln und Werten Menschen in verschiedenen Gesellschaften folgen. Nicht zuletzt die Deutschen mit ihren historischen Umbrüchen liefern hier reichlich Forschungsmaterial – als empfindsame Seelen der Romantik, als Unterstützer eines mörderischen NS-Staats oder mehr Demokratie fordernde sogenannte Wutbürger.

Interdisziplinär untersuchen Historiker, Soziologen, Ethnologen, Archäologen und Philosophen die Sprache als treibende Kraft einer Kultur, definieren Architektur als Stein gewordene Metapher für die gesellschaftliche Mentalität; identifizieren kulturhistorische Einflüsse aus Asien oder beantworten die Frage, wie Wissen eigentlich entsteht: Wer lenkt die Neugier einer Gesellschaft und bestimmt so über das kollektive Gedächtnis?

In den Fokus nehmen sie auch die Probleme der Gegenwart. Wie reagieren wir auf die Benachteiligung von Frauen, auf entfesselte Finanzmärkte und die Vertrauenskrise der Politik? Renommiertere Professoren entwerfen Modelle für mehr Chancengleichheit, neue Formen demokratischer Partizipation und ein gerechteres Zusammenleben.

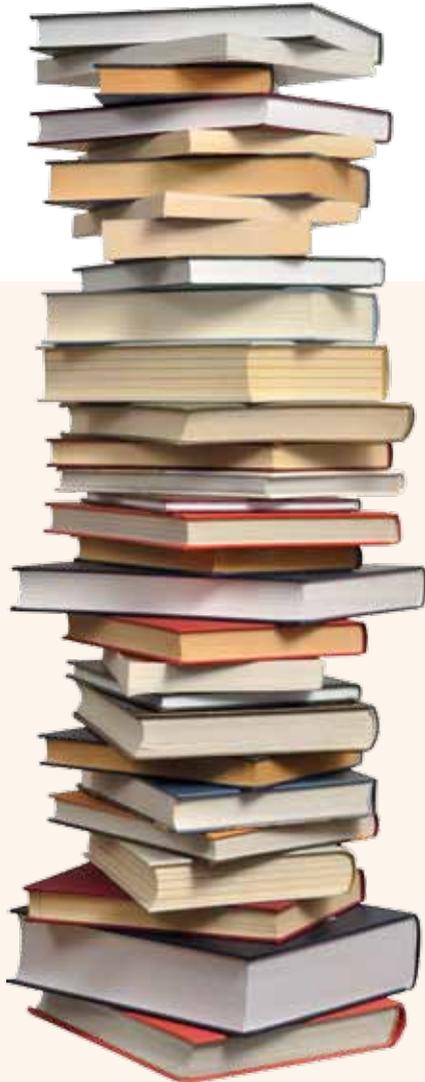
# Tradition und Moderne an der „Frankfurter Schule“

Frankfurt am Main ist nicht nur das Zentrum der deutschen Finanzwirtschaft. Das 1923 gegründete Institut für Sozialforschung (IfS) ist eine international herausragende Einrichtung der geisteswissenschaftlichen Forschung und Lehre. Inspiriert von Georg Friedrich Hegel, Karl Marx und Sigmund Freud wurden Wissenschaftler wie Max Horkheimer, Theodor W. Adorno, Erich Fromm und Herbert Marcuse zu Protagonisten der „Kritischen Theorie“ – eine umfassende Analyse der bürgerlichen Gesellschaft. Die „Frankfurter Schule“ wurde so zum Impulsgeber der antiautoritären Studentenbewegung der 60er Jahre.

Jürgen Habermas prägte als Sozialphilosoph das Bild der „Frankfurter Schule“. Die Leitung des Instituts für Sozialforschung lehnte er jedoch ab und entschied sich für die Lehre im Seminar für Soziologie. 1994 emeritiert, äußert Habermas sich stets zu aktuellen politischen und gesellschaftlichen Fragen. In seinem 1981 erschienenen Hauptwerk „Theorie des kommunikativen Handelns“

untersuchte Habermas unter anderem die Rolle der Sprache als elementare Ressource zur Weiterentwicklung einer Gesellschaft.

Das Institut veränderte sich, aber blieb bei dem Grundsatz, sozialwissenschaftliche Forschung müsse sich um ein kritisches Verständnis der Gesellschaft bemühen und theoretische Anstöße zu ihrer emanzipatorischen Fortentwicklung geben. Dieser Prämisse folgt auch der aktuelle Leiter des IfS, Sozialphilosoph Axel Honneth: „Obwohl unser Institut weiterhin als Ort des geistigen Vermächtnisses der Frankfurter Schule angesehen wird, lässt sich die theoretische und empirische Arbeit im Hause doch inzwischen stark auch von anderen Traditionen leiten und nimmt nur noch gelegentlich auf die alten Autoren Bezug.“ Gesellschaftskritik müsse sich, so Honneth, in ihrer Form und Funktion jeweils von den Zeiten belehren lassen und dürfe nicht blind an ihrer ursprünglichen Gestalt festhalten.



## Kritische Gesellschaftsanalyse am Institut für Sozialforschung

# Warum wir was wissen



## Wie neue Erkenntnisse die Gesellschaft verändern

Es heißt, wir leben in einer Wissensgesellschaft. Doch wer verfügt über das ganze Wissen? Und welche Folgen hat das für uns? Der Soziologe Peter Weingart sucht nach Antworten und analysiert die gegenwärtige Situation mit kritischem Blick. Es sei wichtig zu verstehen, wie gesichertes Wissen heute entstehe, da durch die Labore der Wissenschaftler „der scharfe Wind politischer und ökonomischer Begehrlichkeiten weht“. Weingart, 1941 geboren, begründete die Wissenschaftsforschung in Deutschland. An der Universität Bielefeld entstand auf seine Initiative das Institut für Wissenschafts- und Technikforschung (IWT), das er von 1993 bis zu seiner Emeritierung 2009 leitete.

**W**eingart und seine Kollegen untersuchen die Entwicklung der Wissenschaft seit Mitte des 20. Jahrhunderts. Damals begannen sich die Grenzen zwischen universitärer Grundlagen- und angewandter Industrieforschung aufzulösen. Hinzu kommt, dass sich seitdem die Politik zur Lösung komplexer Probleme verstärkt wissenschaftlicher Expertise bedient.

**D**iese Konvergenzen analysiert man interdisziplinär: Soziologen, Philosophen und Historiker forschen zum Wandel der Wissenschaft, zu den daraus resultierenden ethischen Herausforderungen und gesellschaftlichen Konsequenzen. Weingarts Arbeit hat die Wissenschaftssoziologie geprägt. Bis heute ist er als Forscher aktiv. Derzeit beschäftigt er sich vor allem mit dem Spannungsverhältnis zwischen Wissenschaft, Medien, Politik und Wirtschaft.

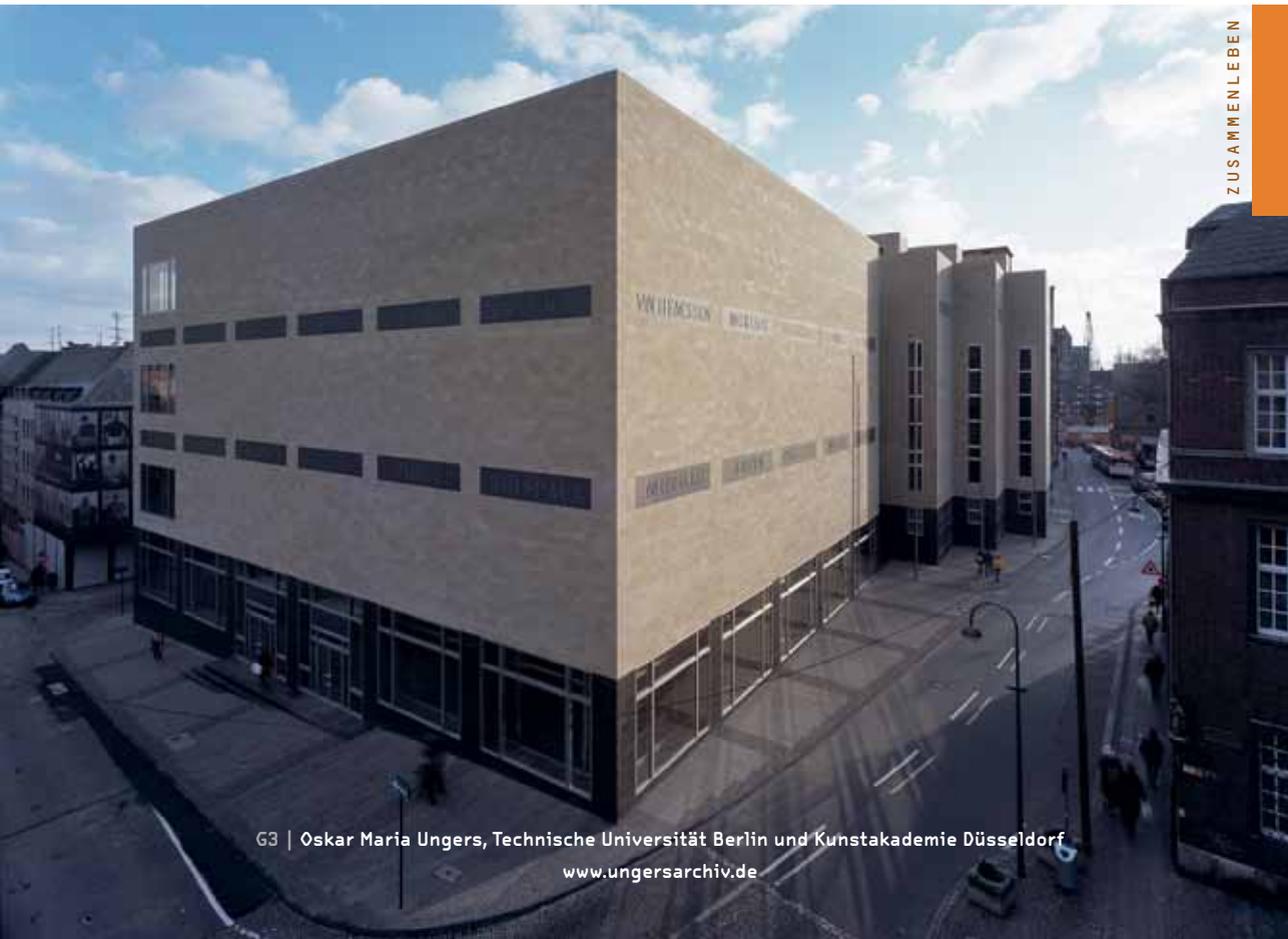
# Klare Kante

Ein Gebäude von Oskar Maria Ungers erkennt auch der informierte Laie auf den ersten Blick. OMUs strenge Formensprache ragt in jeder Umgebung heraus. Das gilt für das Wallraff-Richartz-Museum in Köln, für die Hamburger Kunsthalle, das monumentale Torhaus der Frankfurter Messe oder die Wohnriegel am Berliner Lützowplatz. Immer herrschen elementare und vom Zeitgeschmack unabhängige Gestaltungsmittel einer klassischen Formensprache.

Der Architekt bezog sich auf historische Vorbilder. Ungers zitierte Prinzipien der Antike und Meister wie Andrea Palladio und Karl Friedrich Schinkel. Quadrat, Kreis, Kubus und Kugel – Transformationen und Variationen dieser Grundformen prägen seine Bauwerke. Kritiker verspotteten den „Quadratismus“, seine Schüler und Anhänger loben die Klarheit und sehen in Ungers den Begründer des Deutschen Rationalismus. Sein Bekenntnis zur geometrischen Ordnung machte ihn zu einem führenden Theoretiker der Zweiten Moderne zu Beginn der 1990er.

Als Professor für Architektur gab er sein Wissen an mehrere Generationen von Studierenden weiter: an der Technischen Universität Berlin, der Kunstakademie Düsseldorf, der Hochschule für angewandte Kunst in Wien, in Boston und Los Angeles. In den 1950er Jahren begann Ungers mit dem Aufbau des Archivs für Architekturwissenschaften. Die Bibliothek enthält unter anderem die Erstausgabe von „De Architectura Libri Decem“ (1495) – Vitruvs Grundlagenwerk zur Architekturtheorie der Neuzeit. Auch Dokumente des Staatlichen Bauhauses in Weimar (1919-1923) sind hier einzusehen. Alles befindet sich im Bibliothekskubus von Ungers' denkmalgeschütztem Haus in Köln-Müngersdorf. Wissenschaftler aus aller Welt nutzen das Archiv für Forschungsarbeiten, denn bis heute gilt: Wer sich mit Architektur beschäftigt, kommt an Ungers nicht vorbei.

## Die Architektur der Zweiten Moderne



ZUSAMMENLEBEN

# Geschichten werden Geschichte



## Die Zivilisationsforschung betrachtet den Menschen im Wandel der Zeiten

Um seine Arbeit zu erklären, erzählte Norbert Elias gern Anekdoten. Eine handelt von einer byzantinischen Prinzessin, die im 13. Jahrhundert die Menschen am Hof von Venedig schockierte, weil sie am Tisch eine Gabel benutzte. Die Gäste waren entsetzt. Wie konnte sie Gottes Speisen nicht mit der Hand essen wollen?

**E**lias faszinierten solche Umbruchsituationen. Der Soziologe analysierte den gesellschaftlichen Wandel in Europa zwischen 800 und 1900 in seiner berühmten Schrift: „Über den Prozess der Zivilisation“. In seiner Figurationstheorie stellt er fest, dass nicht jeder Gegenstand für die Zivilisation gleich wichtig ist – unwichtig jedoch bleibt für sie keiner. Elias verbindet in seinem Denken Soziologie und Geschichtswissenschaft. Scheinbar nebensächliche Veränderungen wie Essgewohnheiten, die stärkere Selbstregulierung der Affekte, das Vorrücken der Schamgrenzen oder die Ausbildung von Peinlichkeitsgefühlen sind die Indices.

**D**amit die zivilisatorischen Standards ihre Verbindlichkeit behalten, muss jede Generation sie neu lernen. Im Heranwachsen durchläuft jeder Mensch den gesamten Prozess der Zivilisation im Schnelldurchgang. Erst danach kann er selbst einen Beitrag leisten. Lange nur einem kleinen Kreis von Fachkollegen bekannt, prägt Elias' Theorie heute die internationale Zivilisationsforschung. So erfuhr sein Werk späte Bestätigung, wie die Auszeichnung mit dem Adorno-Preis und sehr persönlichen Zeugnissen von Kollegen, wie denen der Universität Bielefeld, die ihm mit den Bielefelder Begegnungen eine beredete Hommage auf die Fruchtbarkeit seines persönlichen und seines theoretischen Einflusses widmeten. Den letzten Satz seines Hauptwerks: „Die Zivilisation ist noch nicht abgeschlossen, sie ist erst im Werden“ kann man getrost als Hoffungsprophetie lesen.

# Gewissen der Nation

*»Es gibt kein richtiges Leben  
im falschen.«*

Theodor W. Adorno | Minima Moralia

## Adornos Denken wirkt bis heute

Es ist sein berühmtester Satz: „Es gibt kein richtiges Leben im falschen“, schrieb Theodor W. Adorno in seiner *Minima Moralia*, die zwischen 1944 und 1947 im kalifornischen Exil entstand. Adorno propagierte darin keineswegs, die Welt wie sie ist, zu akzeptieren, sondern – selbst wenn ein im Ganzen richtiges Leben unmöglich ist – den Sinn für das Richtige sich nicht nehmen zu lassen.

**D**er Philosoph, Musiktheoretiker und Komponist gehörte zu den großen Gelehrten des 20. Jahrhunderts. Die Frage, warum die Deutschen so widerstandslos dem Antisemitismus verfallen konnten, war ein Lebensthema des empirischen Sozialwissenschaftlers. „Nach Auschwitz ein Gedicht zu schreiben, ist barbarisch“, erklärte er und provozierte damit den Widerstand von Literaten und Literaturwissenschaftlern. Dabei wollte Adorno nicht jede Lyrik verbieten, sondern nur jene, die sich ins Vergessen flüchtete. In Frankfurt am Main 1903 geboren, wurde Adorno 1931 Pri-

vatozent an der Universität seiner Heimatstadt. Nur zwei Jahre später entzog ihm das NS-Regime wegen seiner jüdischen Wurzeln die Lehrbefugnis und zwang ihn zur Emigration. 1949 kehrte Adorno nach Deutschland zurück und arbeitete am Frankfurter Institut für Sozialforschung (IfS), das er von 1959 bis zu seinem Tod 1969 leitete. Seit 2002 veranstaltet das IfS jährlich die Adorno-Vorlesungen.

**B**is heute gehört das Institut zu den legendären Forschungseinrichtungen der Bundesrepublik. Die am IfS gelehrtete Kritische Theorie, eine Analyse der kapitalistischen Gesellschaft, die oft auch als „Frankfurter Schule“ bezeichnet wird, inspirierte die 68er Studentenbewegung und prägte eine Generation von Intellektuellen; darunter viele Schüler Adornos, wie Jürgen Habermas oder Oskar Negt. „Die fast unlösbare Aufgabe besteht darin“, so Adorno in der *Minima Moralia*, „sich weder von der Macht der anderen, noch von der eigenen Ohnmacht dumm machen zu lassen.“

# Soziologie mit System



4.48 In der ersten ...  
unterschiedlich ein "Haben" als vorstellten Objekten als  
einer Ausbeutungs gegenüber. Die Welt wird in Besitz  
und Herrschaft genommen, als ein Gebiet autonomer Verwaltung  
als Welt unabhängiger Ausbeutung.

1. Teil des Vorlesens über ist eine Art ...  
die ...  
...

## Forscher aus aller Welt diskutieren die Thesen von Niklas Luhmann

Er gilt als einer der größten Soziologen des 20. Jahrhunderts. 25 Jahre lang lehrte Niklas Luhmann an der Universität Bielefeld. Doch ein Denkmal sucht man in der Hochschule vergebens. Es gibt auch keine Aula, keinen Hörsaal mit seinem Namen; nicht mal eine Büste. „Wir zelebrieren hier keinen Helden-Kult“, sagt Markus Göbel, Dekanatsassistent an der Fakultät für Soziologie. Stattdessen setze man sich am Fachbereich „in Sachdiskussionen mit seinem Schaffen auseinander“.

Eine Haltung, die der berühmte Gesellschaftsanalytiker sicher geteilt hätte. Denn Luhmann, der 1998 verstarb, galt als sehr sachlicher Mensch. 1968 begann er als Professor in Bielefeld. Hier entwickelte er seine Universaltheorie darüber, wie soziale Systeme funktionieren. Die Gesellschaft verstand Luhmann nicht als Ansammlung von Menschen, sondern als einen komplexen Kommunikationsprozess.

Da passt es gut, dass noch heute Menschen in seinem Namen kommunizieren: Seit 2005 gibt es die „Niklas-Luhmann-Gastprofessur“. International renommierte Sozialtheoretiker werden zumeist im Sommersemester nach Bielefeld eingeladen. Dort halten sie öffentliche Vorträge, geben Promotions-Seminare und diskutieren Luhmanns Thesen. Zu den Gastprofessoren zählten John W. Meyer von der Stanford University, Nils Brunsson von Universität Uppsala oder Harrison White und Saskia Sassen von der Columbia University. Außerdem verwalten die Bielefelder Soziologen den Nachlass des berühmten Systemtheoretikers. Dazu gehört der legendäre Zettelkasten, der die Quelle von Luhmanns gut 60 Büchern und rund 400 Vorträgen war. Ein Forschungsprojekt befasst sich mit der Digitalisierung dieser Sammlung. Der Meister der Systemtheorie bleibt also präsent – auch ohne Büste. Seine Nachfolger sorgen dafür, dass die Bielefelder Fakultät bis heute eine der bedeutendsten Einrichtungen für soziologisch-sozialwissenschaftliche Forschung und Lehre in Deutschland ist.

# Gerechte Gesellschaft



## Pionierin der Gleichstellungs- und Arbeitsmarktforschung: die Soziologin Jutta Allmendinger

Die Zukunft auf dem deutschen Arbeitsmarkt sieht für Jutta Allmendinger so aus: Mindestens 30 Prozent der Spitzenpositionen in deutschen Firmen sind von Frauen besetzt; diese verdienen bei gleicher Arbeit selbstverständlich genau so viel wie Männer, und das steuerliche Ehegattensplitting, das die bundesrepublikanische Gesellschaft der fünfziger Jahre abbildet, ist abgeschafft. Ganztagschulen und Ganztagskindergärten sind so verbreitet, dass Mütter ihren Wiedereinstieg ins Berufsleben problemlos planen können. Was auch heißt, dass sie nach der Geburt ihrer Kinder nicht nur Teilzeit-Jobs bekommen, sondern auf Wunsch auch wieder ganztags tätig sind. Familienarbeit ist nicht allein Sache der Frauen, und der Begriff „Rabemutter“ taucht nur noch im Lexikon der untergegangenen Wörter auf.

Jutta Allmendinger, Präsidentin des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung und Professorin für Bildungssoziologie und Arbeitsmarktforschung an der Humboldt-Universität zu Berlin ist eine der Pionierinnen für Chancengleichheit auf dem deutschen Arbeitsmarkt. Allmendinger, Jahrgang 1956, studierte in Mannheim Soziologie und promovierte in Harvard. Bekannt wurde sie zuerst mit dem Begriff der „Bildungsarmut“.

2009 veröffentlichte die renommierte Sozialwissenschaftlerin die viel beachtete Studie „Frauen auf dem Sprung“. Darin kommen junge Frauen zu Wort, die über ihr Leben und ihre Ziele berichten. In ihrem aktuellen Buch „Verschenkte Potenziale?“ analysiert Jutta Allmendinger die Situation von Frauen, die trotz guter Ausbildung nicht erwerbstätig sind. Beim Thema Gleichstellung, stellt Allmendinger fest, habe sich in den vergangenen Jahren bereits viel, aber eben noch nicht genug getan.

# Harmonie aus Stahl und Stein

Wenn auf einem öffentlichen Platz Musiker unerwartet zu musizieren beginnen, bilden Menschen einen Kreis um sie. Aus dieser Idee entwickelte Hans Scharoun sein Meisterwerk, die Philharmonie in Berlin: Um das Orchesterpodium streben die Zuhörerränge konzentrisch in die Höhe; die Akustik des Saals gilt weltweit als hervorragend.

Die Vollendung der Philharmonie 1963 bildete den Wendepunkt in seiner Karriere. 1946 kehrte Scharoun als Professor an seine Alma Mater, die Technische Universität Berlin, zurück und lehrte dort bis 1958. Damit rundete sich die außergewöhnliche Karriere eines Architekten ab, der schon in früher Jugend als Genie galt, aber erst im hohen Alter große Bauaufträge erhielt.

Scharoun wandte sich gegen das, was die Nachkriegsarchitektur ihren Bürgern zugemutet hatte: Rationalismus und vorgefertigte Formschemata. Bis heute gilt er als einer der originellsten und fantasievollsten deutschen Architekten und

ist zugleich einer der umstrittensten. Mit seinem Prinzip der organischen Bauweise entwarf Scharoun Gebäude mit Blick auf ihre künftigen Aufgaben – so entstanden lichte Orte menschlicher Begegnung, die mit der umgebenden Landschaft harmonieren.

Den Kammermusiksaal und das Musikinstrumentenmuseum baute sein Mitarbeiter Edgar Wisniewski nach Scharouns Entwürfen. Als Ensemble in Berlins Mitte sind sie unverwechselbar. Sie dokumentieren eine Architekturauffassung, nach der die Baugestalt vom Wesen der Bauaufgabe bestimmt wird. Auch wenn Scharoun dabei die Belastungsgrenzen der Baumaterialien und die Nerven der Bauausführenden bis aufs Letzte strapazierte: Als Lehrstuhlinhaber für Städtebau legte er Wert darauf, dass sich die Studierenden aktiv an Forschungsprojekten beteiligten. Er leitete sie an, sich auch mit den Potenzialen und Grenzen der Baumaterialien zu befassen, um nicht vom Material getrieben zu werden, sondern um dessen Möglichkeiten zu beherrschen.

## Bauwerke im Einklang von Mensch und Natur



# Wenn Wut zu Mut wird



## Modelle zur Zukunft der Demokratie

Ob Tunis, New York oder Stuttgart: Hunderttausende Menschen gingen 2011 weltweit auf die Straße. Sie protestierten gegen Diktatoren, Banken oder den Bau eines Bahnhofs. „Der Demonstrant“ war für das US-Magazin „Times“ die Person des Jahres; in Deutschland avancierte „Wutbürger“ zur Metapher für Unmut, der bis ins konservative Milieu reicht.

**D**och was passiert, wenn die Wut verfliegt? Nur dagegen zu sein, reiche nicht aus; der Protest müsse in bürgerschaftliches Engagement münden, sagt der Politologe Claus Leggewie. „Das Ende der Welt, wie wir sie kannten, erfordert private wie gemeinschaftliche Entscheidungen von oftmals atemberaubender Tragweite und ungewissem Ausgang. Finanzmärkte müssen gebändigt, Klimakrisen begrenzt, die Vertrauenskrise der Politik gemeistert und Europa gerettet werden“, schreibt Leggewie in seinem aktuellen Buch „Mut statt Wut – Aufbruch in eine neue Demokratie“.

**L**eggewie gehört zu den renommiertesten Politikwissenschaftlern Deutschlands. Er lehrte in New York, Paris und Wien und ist derzeit Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung zum Thema Globale Umweltveränderung. Seit 2007 leitet er das Kulturwissenschaftliche Institut Essen (KWI). Das interdisziplinäre Forschungskolleg – ein Zusammenschluss von Ruhr-Universität Bochum, Technischer Universität Dortmund und Universität Duisburg-Essen – beschäftigt sich als Think Tank mit allen gesellschaftlich relevanten Themen. Internationale Experten und Nachwuchswissenschaftler forschen zur Zukunft der Demokratie; analysieren digitale Kommunikation, Klimawandel, Migration oder den Islam. Etwa 70 Veranstaltungen organisiert das KWI jedes Jahr; kooperiert mit kulturellen Einrichtungen und wichtigen Medien. Denn Demokratie bedeutet für Leggewie, dass über Zukunftsfragen alle diskutieren: Bürger, Politiker und Wissenschaftler.

# Die Literaturen der Welt im Blick

*»Nur in seinem Suchen  
findet der Geist des Menschen  
das Geheimnis, welches er sucht.«*

Friedrich Schlegel | Lucinde

## Friedrich Schlegel Graduiertenschule für literaturwissenschaftliche Studien (FSGS)

Der Dichter und Gelehrte Friedrich Schlegel (1772–1829) ist als intellektueller Kosmopolit und philologisch geschulter *homme de lettres* der Repräsentant eines kulturellen Bewusstseins, das keine nationalen Grenzen kennt. Als Patron der Friedrich Schlegel Graduiertenschule für literaturwissenschaftliche Studien, der einzigen ausschließlich literaturwissenschaftlichen Graduiertenschule in Deutschland, steht er für eine theoretisch anspruchsvolle und methodisch innovative Forschung.

Das inhaltliche Profil der FSGS bestimmt sich durch den Anspruch auf literaturwissenschaftliche und komparatistische Erfassung der Weltliteraturen, womit sich eine außergewöhnliche Breite des Fächerspektrums verbindet. Es umfasst Literaturen in zahlreichen europäischen, aber auch den außereuropäischen Sprachen, darunter vor allem aus dem arabischen und dem ostasiatischen Raum.

Innerhalb der literaturwissenschaftlichen Schwerpunktsetzung ist auch die historische Tiefe einzigartig – alle Epochen vom Altertum bis in die Gegenwart werden erfasst. Ein Team von Hochschullehrerinnen und Hochschullehrern aus unterschiedlichen Disziplinen betreut ca. 50 Doktorandinnen und Doktoranden sowie Postdocs. Seit 2012 hat sich die FSGS in die Forschungslandschaft der Metropolregion erweitert und arbeitet nun mit der Humboldt-Universität zu Berlin und zwei Berliner Max-Planck-Instituten zusammen. Mit ihren zahlreichen assoziierten Projekten, u.a. dem durch das Land Berlin geförderten Projekt „Zukunftsphilologie“, ist die FSGS regional und international ein fester Begriff als Knotenpunkt für innovative text-interpretative und historisch sowie kulturell verankerte Wissenschaft.

# Wie Jesus nach Indien kam



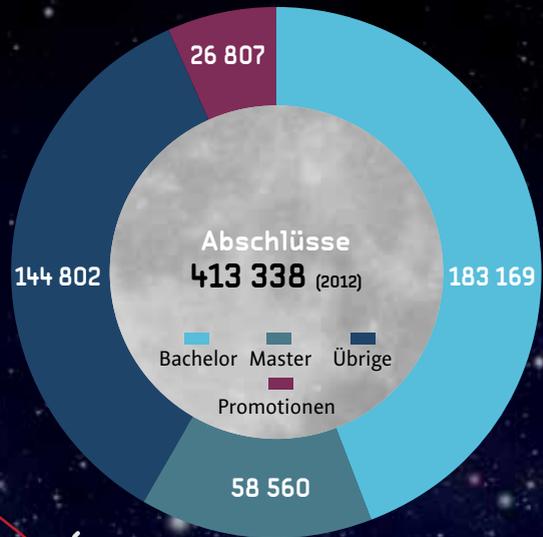
## Heidelberger Exzellenzcluster erforscht den Kulturaustausch zwischen Asien und Europa

Nehmen wir „Das Abendmahl“ von Leonardo da Vinci, das weltberühmte Wandgemälde des italienischen Universalgenies.

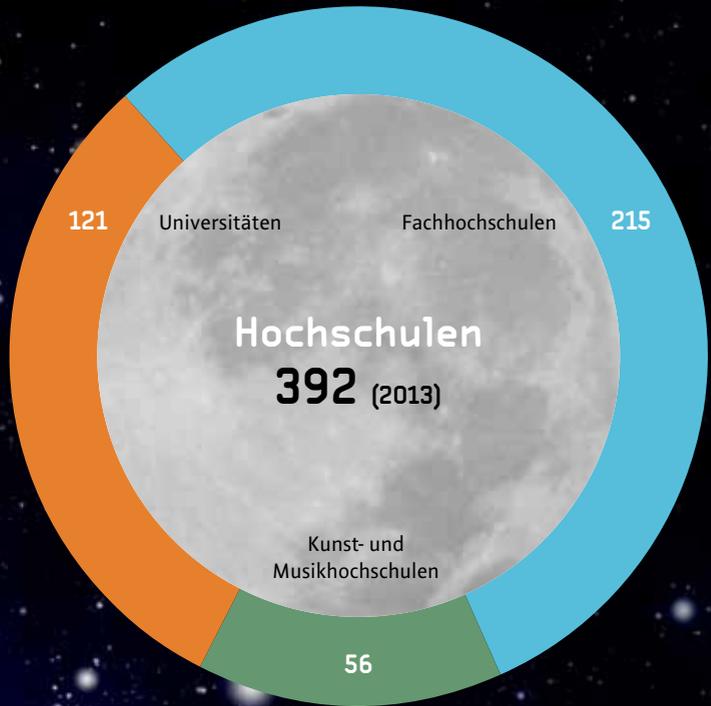
Jesus sitzt mit seinen Jüngern an einer Tafel und hat ihnen soeben eröffnet, dass einer der Anwesenden ihn verraten wird. Jeder kennt das Meisterwerk der Renaissance. Weitgehend unbekannt dagegen: Das gleiche Motiv taucht auch in den Werken indischer Künstler auf.

**W**ie kommen Objekte, Bilder, Motive und Sichtweisen von einer Kultur in eine andere, etwa von Asien nach Europa oder umgekehrt? Und wie werden sie dort aufgenommen und weiterentwickelt? Dies sind die zentralen Fragen, mit denen sich die rund 200 Wissenschaftler des Exzellenzclusters „Asien und Europa im globalen Kontext“ am Karl Jaspers Zentrum für Transkulturelle Forschung der Universität Heidelberg befassen.

**D**ie Experten suchen Antworten auf spannende Fragen: Inwiefern haben Kants Werke Philosophie und Logik in China beeinflusst? Warum wurden Mao-Motive in der 1968er-Bewegung des Westens so populär? Wie kam es, dass die Melodie des französischen Kinderliedes „Bruder Jakob“ in China zu Propaganda-Zwecken genutzt wurde? Transkulturalität ist das entscheidende Stichwort am Exzellenzcluster in Heidelberg – gemeint ist die Dynamik der Austauschprozesse zwischen den Kulturen. Die Wissenschaftler untersuchen sie in den Bereichen Regierungskunst und Verwaltung, Öffentlichkeit und Medien, Gesundheit und Umwelt sowie Geschichte und Kulturerbe. Dabei bringen Fachleute aus den unterschiedlichsten Forschungsbereichen ihr Wissen ein: Ägyptologen arbeiten zusammen mit Historikern, Medizinern, Indologen, Japanologen oder Sinologen und die wiederum mit Kunsthistorikern, Islamwissenschaftlern, Soziologen und vielen mehr.



[www.hr.k.de/hochschulen-in-zahlen](http://www.hr.k.de/hochschulen-in-zahlen)



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

Hochschulausgaben  
für Forschung und  
Entwicklung (2011)

**13,4 Mrd. EUR**



Research Explorer –  
das deutsche Forschungsverzeichnis:  
Über 19.000 Institute

[www.research-explorer.de](http://www.research-explorer.de)



[www.research-in-germany.de](http://www.research-in-germany.de)

[www.hrk.de/forschungslandkarte](http://www.hrk.de/forschungslandkarte)



**Forschungslandkarte:**  
Die institutionellen Forschungsschwerpunkte  
der deutschen Universitäten

Grafik „Hochschulen“:  
HRK-Hochschulkompass

Grafiken „Abschlüsse“, „Personal“,  
„Hochschulausgaben für Forschung  
und Entwicklung“:  
Statistisches Bundesamt

Die in dieser Publikation  
verwendete männliche Form  
schließt stets die weibliche  
mit ein.

Chart “Higher Education  
Institutions”:  
HRK Higher Education Compass

Charts “Degrees”, “Staff”, “Higher  
Education Expenditure on  
Research and Development”:  
Federal Statistical Office

Wherever required by the context,  
any word or pronoun written in  
the masculine form also includes  
the feminine.

Data sources  
Quellen



Shutterstock: A3/megastocker, A4/orla, A6/Hintau Aliaksei, A7/Spectral-Design, A10/Kamira, B2/Andrii Muzyka/Eskemar, B3/GlOck, B4/Peter Waters, B5/RAJ CREATIONZS, B11/bluehand, B12/djem, C1/Vaaka, C3/grum\_l, C6/tehcheesiong, C7/design36, C9/Africa Studio, D1/Patryk Kosmider, D2/ILYA AKINSHIN, D4/GLYPH-stock, D5/higyou, D6, D9/diak, D12/Creativa, E2/keren-seg, E3/AnnaIA, E4/Photobank gallery, E5/Brandon Bourdages, E7/Aleksan, E8/Anatoly Tiplashin, F1/SFC, F2/Markus Gann, F3/DenisNata/Lena Pantiukh, F4/Adisa, F5/Yuri Samsonov, F6/hin255, F7/Alhovik, F8/silver-john, G1/ajt, G2/wellphoto, G4/Yanas, G8/mato, G9/Picsfive

Deutsches Museum: D3  
HAW Hamburg: A11  
LMU München: B1,  
Maqbool Fida Husain, „Last Supper in Red Desert“: G11  
RWTH Aachen: D10, E6  
Stefan Müller, Berlin: G3  
TU Berlin: A6 (Rotorlibelle)  
TU Dortmund: F10  
U Bielefeld: D8, E1,  
U Bielefeld, Norma Langohr: G6  
U Frankfurt: B8  
U Stuttgart: F9  
Wikimedia/Benjeh-bmm27: A1, C4  
Witters: B7 (r)  
[www.toscanaviva.com/Anghiari/affresco\\_di\\_leonardo.htm](http://www.toscanaviva.com/Anghiari/affresco_di_leonardo.htm): B7 (l)

Bildnachweise  
sources  
gaurnt