

Das Wissenschaftsmagazin

Ausgabe 6 Juni 2010

Technische Universität München

# Faszination Forschung

## Elektronische Schutzengel

Weniger Unfälle durch intelligente Kreuzungen

**Simulation statt Trial and Error**

Forscher bauen effiziente Gasturbinen

**Nach Zellen angeln**

Neue Methoden der Medizintechnik

Wenn Häuser lebendig werden · Forschung im Fluss · IT-Sicherheit



**Die Gegenwart  
gestalten und dabei  
die Zukunft nicht aus  
den Augen verlieren?**

*ja!!!*

Ja, Ihre Ideen und unsere Technologien können dazu beitragen, wirtschaftlichen und sozialen Fortschritt mit Umweltschutz zu vereinbaren. Alstom ist weltweit ein Marktführer in den Bereichen Energieerzeugung und Schienenverkehr. Wir setzen Maßstäbe bei der Entwicklung innovativer und umweltfreundlicher Technologien: Mit dem schnellsten Höchstgeschwindigkeitszug und der kapazitätsstärksten automatisierten U-Bahn der Welt. Mit Lösungen, Ausrüstung und Dienstleistungen für schlüsselfertige, voll integrierte Kraftwerke für vielfältige Energiequellen, z. B. Wasserkraft, Atomkraft, Gas, Kohle und Wind. Die Alstom-Gruppe beschäftigt mehr als 80'000 Personen in 70 Ländern; die Auftragssumme belief sich 2008/09 auf € 24,6 Mrd.

Mehr Informationen, die richtigen Ansprechpartner und die Möglichkeit zur Online-Bewerbung finden Sie unter:

**[www.careers.alstom.com](http://www.careers.alstom.com)**

*We are shaping the future*

**ALSTOM**

## Liebe Leserinnen und Leser!

*Forschung braucht Freiheit. Um diese Erkenntnis exemplarisch zu akzentuieren, hat die TU München 2006 ihr Institute for Advanced Study (TUM-IAS) gegründet. Binnen Jahresfrist erwies es sich als Herzkammer unseres Zukunftskonzeptes der Exzellenzinitiative. Mit Beginn des kommenden Wintersemesters steht der Neubau zur Verfügung, den uns die BMW Group schlüsselfertig als Geschenk (zehn Millionen Euro) miten auf den Campus Garching stellt.*



Wie das legendäre IAS in Princeton gründet das TUM-IAS auf der Überzeugung, dass eine Atmosphäre von Kreativität und Inspiration, von Freiheit und unbürokratischer Unterstützung für exzellente Wissenschaftler die ergiebigste Quelle hervorragender Fortschritte ist. Man muss den Besten ihrer Disziplinen nur Freiraum geben, ihre Kreativität unbehindert zur Entfaltung zu bringen!

„Faszination Forschung“ stellt in dieser Ausgabe zwei Forschungsprojekte aus dem IAS vor. Als arrivierte Wissenschaftlerin kam Claudia Klüppelberg ans IAS. Als Risikoforscherin entwickelt sie nicht nur Methoden zur Berechnung von Kreditrisiken. Sie nutzt den Freiraum, um neue Themen zu erschließen – etwa die Anwendung statistischer Modelle in der Klimaforschung. So entstehen neue Kooperationen innerhalb der TUM. Christian Stemberger steht am Beginn seiner wissenschaftlichen Karriere – ein Talent, das am IAS aufblühen kann. Er und die Arbeitsgruppe um Dirk Busch haben eine hoch spezialisierte „Angel“ entwickelt, die Immunzellen aus dem Blut fischt. So gewinnen die Mediziner Zellen für die Zelltherapie.

Die Flussperlmuschel stellt besondere Ansprüche an ihren natürlichen Lebensraum. So gilt der aquatischen Systembiologie, insbesondere in ihrer Bedeutung für Ökosysteme, das Interesse von Jürgen Geist. Ein junges Forschungsgebiet repräsentieren Hannelore Daniel und Thomas Hofmann. Sie wollen wissen, welche Stoffwechselfvorgänge bei der Verdauung von Nahrung und Medikamenten ablaufen und wie sie sich von Person zu Person unterscheiden.

Mit einer Krankheit, die vor allem ältere Menschen betrifft, befasst sich Hans Förstl, eine internationale Koryphäe. Er will nicht nur herausfinden, wie Alzheimer entsteht. Er sucht vor allem nach Möglichkeiten der Frühdiagnose und nach Therapien, bis hin zu Impfstoffen. Alzheimersche Erkrankungen können, wie man heute weiß, bereits im mittleren Lebensalter angelegt sein, werden aber meist erst später entdeckt. Sicherheit ist das Thema von Claudia Eckert. Sie weiß, ob der elektronische Personalausweis vertrauenswürdig ist und welche Schutzmaßnahmen Firmen ergreifen sollten, die das „Cloud Computing“ nutzen wollen, also das Auslagern von Daten auf externe Server.

Nicht zu kurz kommt in unserer „Faszination Forschung“ die Ingenieurkunst. Fritz Busch ersinnt die intelligente Verkehrskreuzung, die Unfälle verhindert. Gerhard Müller macht Schall sichtbar und modelliert Schienenstrecken, Häuser oder Bremscheiben so, dass sie keine unangenehmen Geräusche erzeugen. Und Thomas Sattelmayer arbeitet an der Optimierung der Gasverbrennung in Turbinen.

Diese Bandbreite an außergewöhnlichen Persönlichkeiten und kreativen Ideen steht für unsere Universität! Viel Erkenntnisgewinn und Faszination beim Lesen der Beiträge wünscht Ihnen

Ihr

Prof. Wolfgang A. Herrmann  
Präsident

In dieser Ausgabe

Seite 28

## Medizintechnik Nach Zellen angeln

Foto: Werner Bachmeier

Seite 78

## Wenn Häuser lebendig werden

Grafik: edlundsepp

Seite 18

## Unser Körper – das unbekannte Wesen

Grafik: edlundsepp

Seite 6

## Effiziente Gasturbinen Simulation statt Trial and Error

Foto: TUM

**Metabolomik:** Der Stoffwechsel eines jeden Menschen ist so individuell wie sein Fingerabdruck

**Kraftwerke des 21. Jahrhunderts:**  
Turbinen mit besonders hohem Wirkungsgrad

## Titelgeschichten

<b>Simulation statt Trial and Error</b> Verbrennungsprozesse in Gasturbinen verbessern . . .	<b>6</b>
<b>Nach Zellen angeln</b> Sanfte Methode zur Gewinnung von Spenderzellen . .	<b>28</b>
<b>Forschung im Fluss</b> Von heimischen Fischarten und fremden Invasoren . .	<b>38</b>
<b>Elektronische Schutzengel</b> TUM-Forscher machen Verkehrskreuzungen sicher . .	<b>54</b>
<b>Sicher durch elektronische Welten</b> Wie sicher ist der elektronische Ausweis? . . . . .	<b>62</b>
<b>Wenn Häuser lebendig werden</b> Bauingenieure sind unsichtbaren Schwingungen auf der Spur – an Gebäuden und in Autobremsen . . .	<b>78</b>

## Forschung und Technik

<b>Milch im Minilabor</b> Antibiotikarückstände nachweisen . . . . .	<b>16</b>
<b>Unser Körper – das unbekanntes Wesen</b> Was passiert auf molekularer Ebene, wenn wir essen, trinken und verdauen . . . . .	<b>18</b>
<b>Schwarze Schwäne</b> TUM-Risikoforscherin macht Ausreißer mit statistischen Methoden berechenbar . . . . .	<b>50</b>
<b>Mit Positronen und Antigenen gegen Alzheimer</b> Mediziner verfolgen zwei Strategien: neue Methoden zur Früherkennung und für die Immuntherapie . . . . .	<b>70</b>
<b>Klimawandel zeigt sich in Heu und Horn</b> TUM-Forscher zeigen, wie Pflanzenökosysteme auf die steigende CO <sub>2</sub> -Belastung reagieren . . . . .	<b>76</b>

# Artenvielfalt im Wasser Forschung im Fluss

Seite 38

Foto: Eckert / Heidegott, TUM

**Biologen der TUM** untersuchen mit klassischen ökologischen und modernen molekularbiologischen Methoden den Zustand von Gewässern. Spezialisierte Arten wie die Flussperlmuschel dienen ihnen als Bioindikatoren

## Rubriken

Editorial .....	3
Autoren .....	84
Impressum .....	84
Standpunkt .....	86

## Weise Worte der Wissenschaft

### Werner Heisenberg (1901 – 1976)

*Wirkliches Neuland in einer Wissenschaft kann wohl nur gewonnen werden, wenn man an einer entscheidenden Stelle bereit ist, den Grund zu verlassen, auf dem die bisherige Wissenschaft ruht, um gewissermaßen ins Leere zu springen.*

### Galileo Galilei (1564 – 1642)

*Zwei Wahrheiten können sich nie widersprechen.*

### Immanuel Kant (1724 – 1804)

*Wenn die Wissenschaft ihren Kreis durchlaufen hat, so gelangt sie natürlicherweise zu dem Punkte eines bescheidenen Misstrauens, und sagt, unwillig über sich selbst: Wie viele Dinge gibt es doch, die ich nicht einsehe.*

Link

[www.td.mw.tum.de](http://www.td.mw.tum.de)





# Simulation statt Trial and Error

TUM-Wissenschaftler erforschen Prozesse, die bei der Verbrennung in Gasturbinen ablaufen, und entwickeln Simulationsmodelle, mit denen die Hersteller ihre Anlagen effizienter, sicherer und umweltfreundlicher machen können



**Rotor einer Kraftwerksgasturbine** mit etwa 280 Megawatt Leistung. Dazwischen befindet sich nach dem Zusammenbau die Ringbrennkammer, wo der Brennstoff mit der auf etwa 20 bar verdichteten Luft mit einer Gesamtleistung von rund 700 MW verbrannt wird

Foto: ALSTOM



**Prüfstand mit gasturbinentypischen Bedingungen** bei einer Leistung von bis zu 2000 Kilowatt und Drücken bis 2,5 bar. Hier untersuchen die Forscher die Grundlagen von Verbrennungsinstabilitäten in Ringbrennkammern und validieren die Qualität ihrer Analysemethoden

Foto: TUM





Foto: ALSTOM

**Kombi-Cogeneration-Kraftwerk Termobahia**, Brasilien, das Strom und Dampf für die angeschlossene Raffinerie erzeugt. Die wechselnde Qualität des hier eingesetzten Brennstoffs erfordert eine hohe Stabilität des Verbrennungssystems – daran forschen die TU-Wissenschaftler



Foto: ALSTOM

**Blick in die Ringbrennkammer** einer modernen Kraftwerksgasturbine. Die Wände sind mit keramischer Wärmedämmung ausgerüstet, die hohe Betriebstemperaturen und damit eine hohe Effizienz ermöglicht. Die steigenden Temperaturen erhöhen die Neigung zur Instabilität

Brennstofflanze

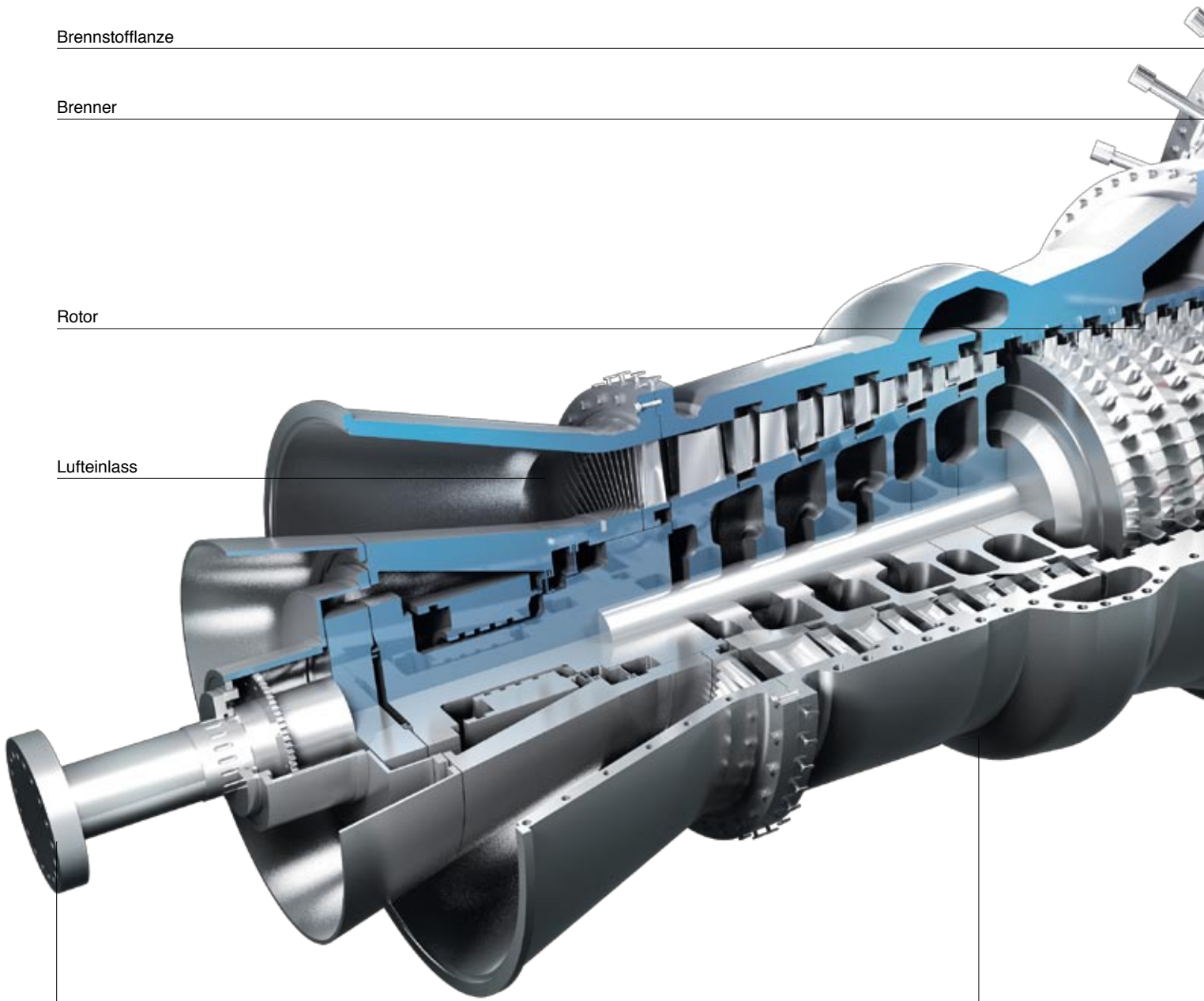
Brenner

Rotor

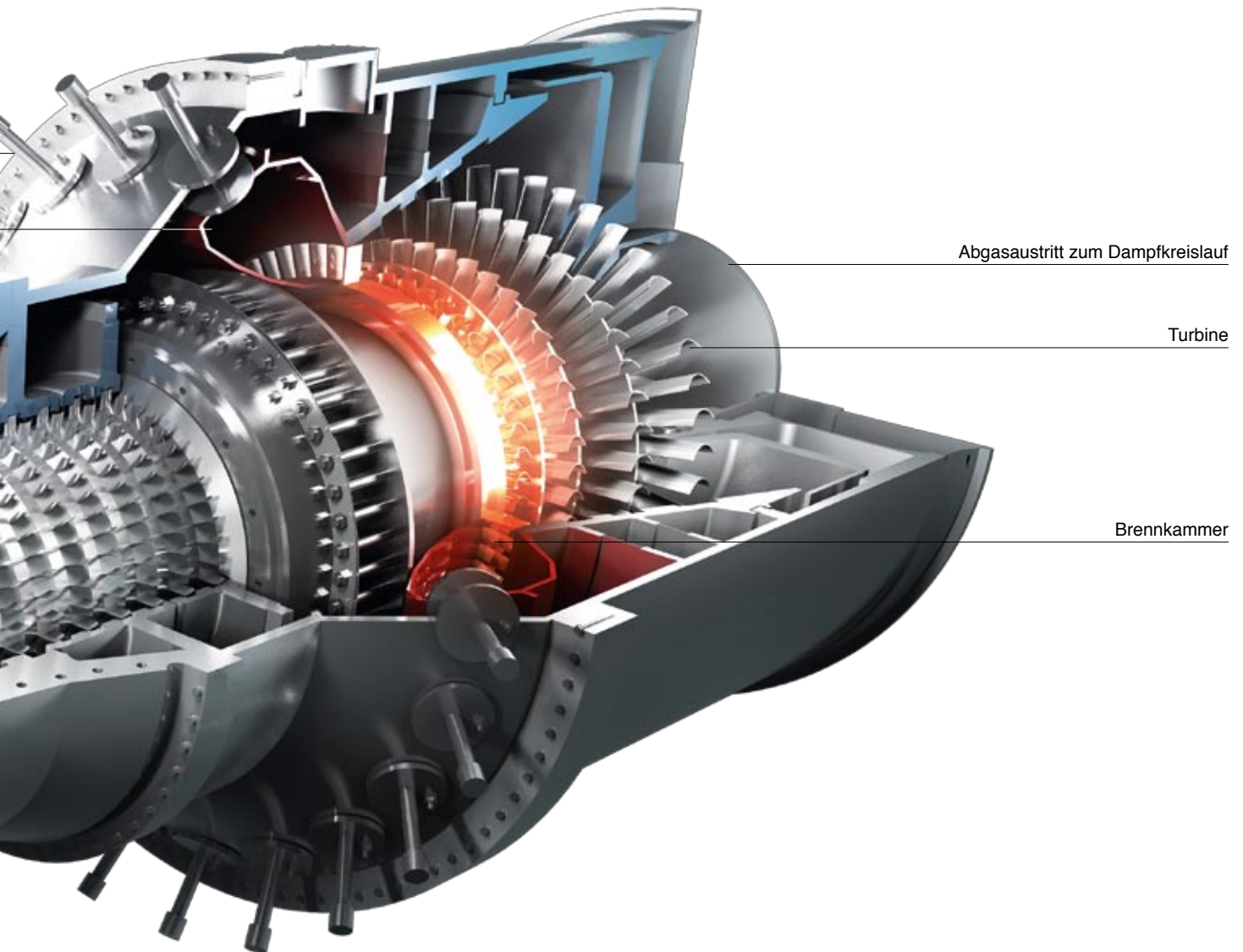
Luftreinlass

Welle zum Generator

Kompressor

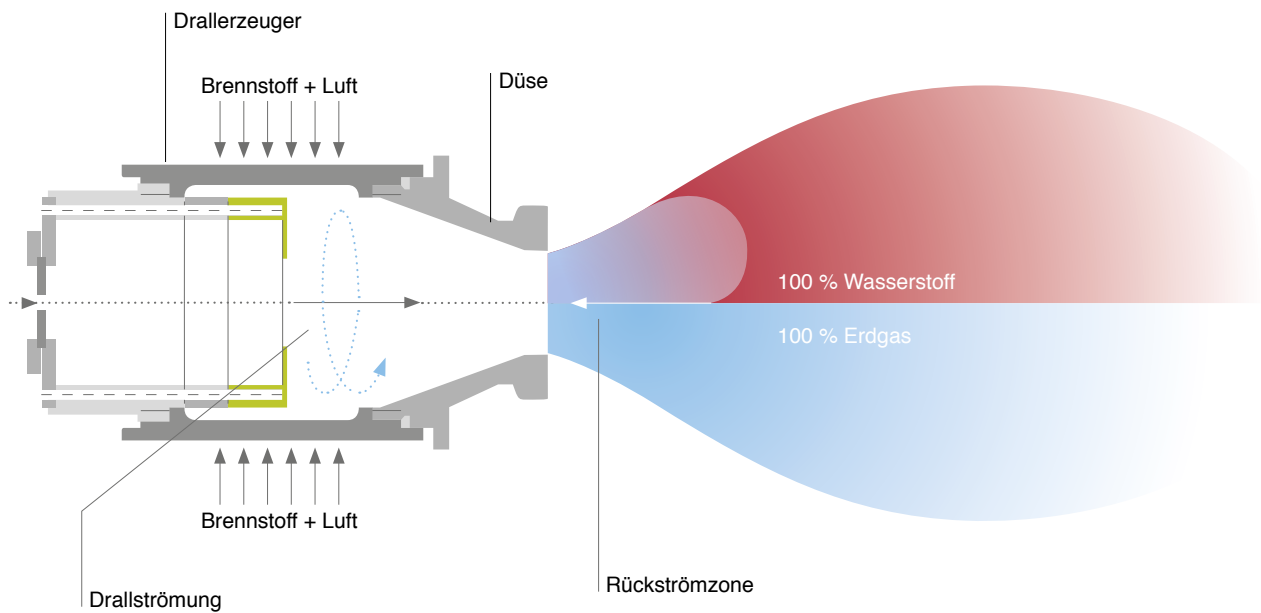


**Schnittbild einer Kraftwerksgasturbine** im 280-Megawatt-Leistungsbereich. Man erkennt die relativ kleinen Ausmaße der Ringbrennkammer, in der thermische Leistungen von rund 700 Megawatt umgesetzt werden. Das bedeutet eine sehr hohe Leistungsdichte von weit über 1000 Megawatt pro Kubikmeter und entsprechend ein hohes Risiko durch Verbrennungsinstabilitäten. Die Frage, wie diese zu vermeiden sind, schafft erheblichen Forschungsbedarf, besonders angesichts des Bedarfs an mehr Brennstoffflexibilität und neuen Brennstoffen



**G**asturbinen spielen für die Elektrizitätsversorgung eine wichtige Rolle. Ihre sehr flexible Verfügbarkeit macht sie zur idealen Ergänzung zu Alternativen wie Windkraft oder Photovoltaik: Versorgungslücken, die entstehen, weil der Wind nicht immer gleichmäßig weht oder die Sonne nicht immer scheint, lassen sich so ausgleichen, denn Gasturbinen können im Gegensatz zu Kohle- oder Kernkraftwerken sehr schnell hoch- und wieder heruntergefahren werden. Aber auch zur Grundlastversorgung kommen Gasturbinen zum Einsatz, etwa in kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken, die besonders hohe Wirkungsgrade erreichen.

„Angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs wird die Bedeutung von Gasturbinen eher noch zunehmen“, sagt Thomas Sattelmayer, Inhaber des Lehrstuhls für Thermodynamik an der TUM, und folgert: „Da die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erd- ▷



**Schema eines modularen Versuchsburners** zur Untersuchung von rückschlagsfreien Verbrennungskonzepten, die mit unterschiedlichen Brennstoffen arbeiten können. Forschungsschwerpunkt ist die Erzeugung eines wirbeldynamisch inhärent stabilen Strömungsfeldes

gas unweigerlich zu Emissionen von Kohlendioxid führt, müssen wir die Turbinentechnik in zwei Richtungen weiterentwickeln: Einerseits muss der sowieso schon relativ gute Wirkungsgrad von Gasturbinen weiter gesteigert werden. Andererseits müssen die Turbinen für den Einsatz von alternativen, kohlendioxidarmen oder -freien Brennstoffen wie zum Beispiel Wasserstoff oder Synthesegas aus Biomasse fit gemacht werden.“

Sattelmayer engagiert sich daher im Forschungsprogramm „Kraftwerke des 21. Jahrhunderts“, kurz KW21, das bereits seit 2005 läuft und vergangenes Jahr um weitere vier Jahre verlängert wurde. KW21 ist in Deutschland eine der größten Forschungsinitiativen auf dem Gebiet der Energieerzeugung: Insgesamt 23 Forschergruppen und elf Industriepartner aus Bayern und Baden-Württemberg befassen sich darin sowohl mit der Technik als auch mit ökonomischen und politischen Aspekten der Energieerzeugung. Ziel ist es, Technologien zu entwickeln, mit denen sich der Kohlendioxid-Ausstoß möglichst kostengünstig mindern lässt und die in einer überschaubaren Zeitspanne umzusetzen sind.

In der ersten Phase von KW21 entstanden bereits viele Neuentwicklungen, die sich inzwischen in der industriellen Umsetzung befinden: zum Beispiel ein Online-Messsystem für die Gasanalyse, ein patentiertes Monitoringsystem für Gasturbinen oder ein neuer Lötwerkstoff zur Reparatur von Turbinenschaufeln.

### **Schwingungsprobleme verursachen Millionenschäden**

Im Rahmen des Forschungsprogramms arbeiten Sattelmayer und seine Mitarbeiter vom Lehrstuhl für Thermodynamik an der Optimierung der Gasverbrennung in Turbinen. „Die physikalischen und chemischen Prozesse, die in Gasturbinen ablaufen, sind hochkomplex“, sagt Christoph Hirsch, Oberingenieur am Lehrstuhl für Thermodynamik. „Vieles davon ist noch nicht richtig verstanden.“ Von der Chemie der Verbrennung über die Strömung bis hin zu Akustik oder Druckschwingungen, die in einer Gasturbine entstehen – die Bandbreite der beteiligten Parameter ist groß. Und: „Wenn Sie einen der Parameter ändern, ändern Sie gleich das gesamte Verhalten der Maschine“, sagt Hirsch.



**Flammen im Versuchsbrenner** (vgl. Seite 12): links eine Erdgasflamme, rechts eine Wasserstoffflamme, jeweils bei 50 Kilowatt Leistung. Daran untersuchen die Forscher unter anderem den Einfluss von Gemischbildung und Druck auf die Neigung zu Flammenrückschlägen

Dazu kommt, dass sich Erkenntnisse aus Tests im Labormaßstab nicht direkt in den industriellen Maßstab übertragen lassen. Die TUM-Forscher machen ihre Versuche an Anlagen mit thermischen Leistungen zwischen 50 und maximal 2000 Kilowatt. In kommerziellen Kraftwerken kommen Anlagen zum Einsatz, die um das 100- bis über 1000-Fache größer sind. „Wenn da Schwingungsprobleme auftauchen, entstehen schnell Schäden in Millionenhöhe oder die Anlage lässt sich nicht wie vorgesehen betreiben“, sagt Sattelmayer. „Deshalb bauen Gasturbinenhersteller heutzutage zum Beispiel bis zu fünf verschiedene Methoden der Brennstoffzufuhr in ihre Anlagen ein und testen dann jeweils im Probebetrieb, welche Konstellation am besten funktioniert.“

Diese Trial-and-Error-Methode ist aufwendig und teuer. Ein Ziel der Forscher ist daher, Modelle zu entwickeln, mit denen sich die Vorgänge bei der Verbrennung in einer Gasturbine besser simulieren lassen. Basis dafür ist aber zunächst das Verständnis der Abläufe im Versuchsmaßstab. Dafür kann der Lehrstuhl für Thermodynamik auf eine fast zwanzigjährige Erfahrung auf dem

Gebiet der Verbrennung in Gasturbinen zurückgreifen – und verfügt über die entsprechende Messausrüstung: Laseroptische und spektroskopische Messtechniken gehören ebenso dazu wie – als besondere Spezialität des Lehrstuhls – die simultane Particle Image Velocimetry (PIV)- und Laser-induced Fluorescence (LIF)-Messtechnik mit Aufnahmefrequenzen bis in den Kilohertzbereich. Damit kann in den eigens angefertigten Versuchseinrichtungen mit gläsernen Brennkammern gleichzeitig die momentane Lage von Flammenfronten und die Geschwindigkeit in den turbulenten Strömungen ermittelt werden.

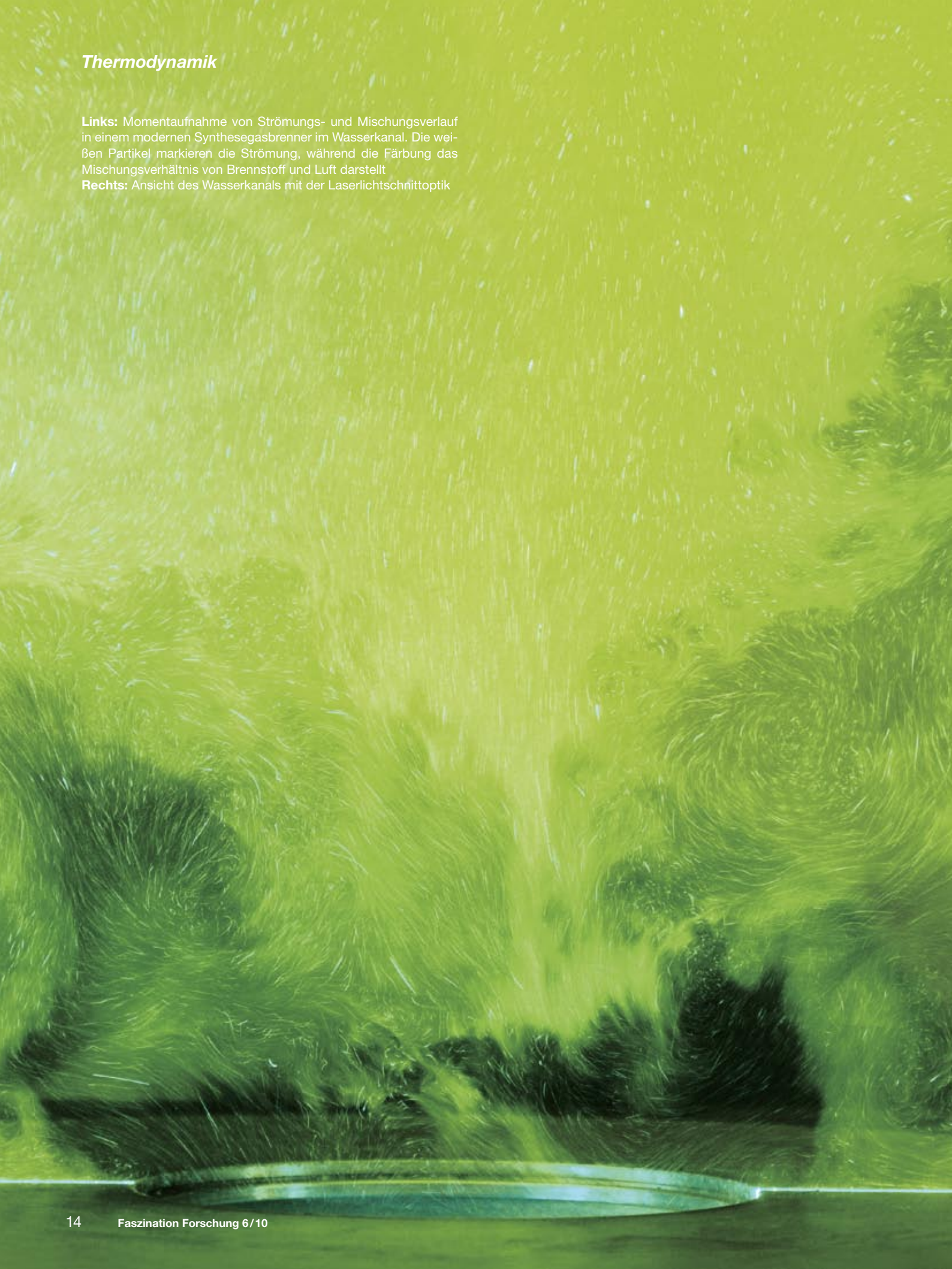
#### **Optimierung von Wirkungsgrad und Emissionen**

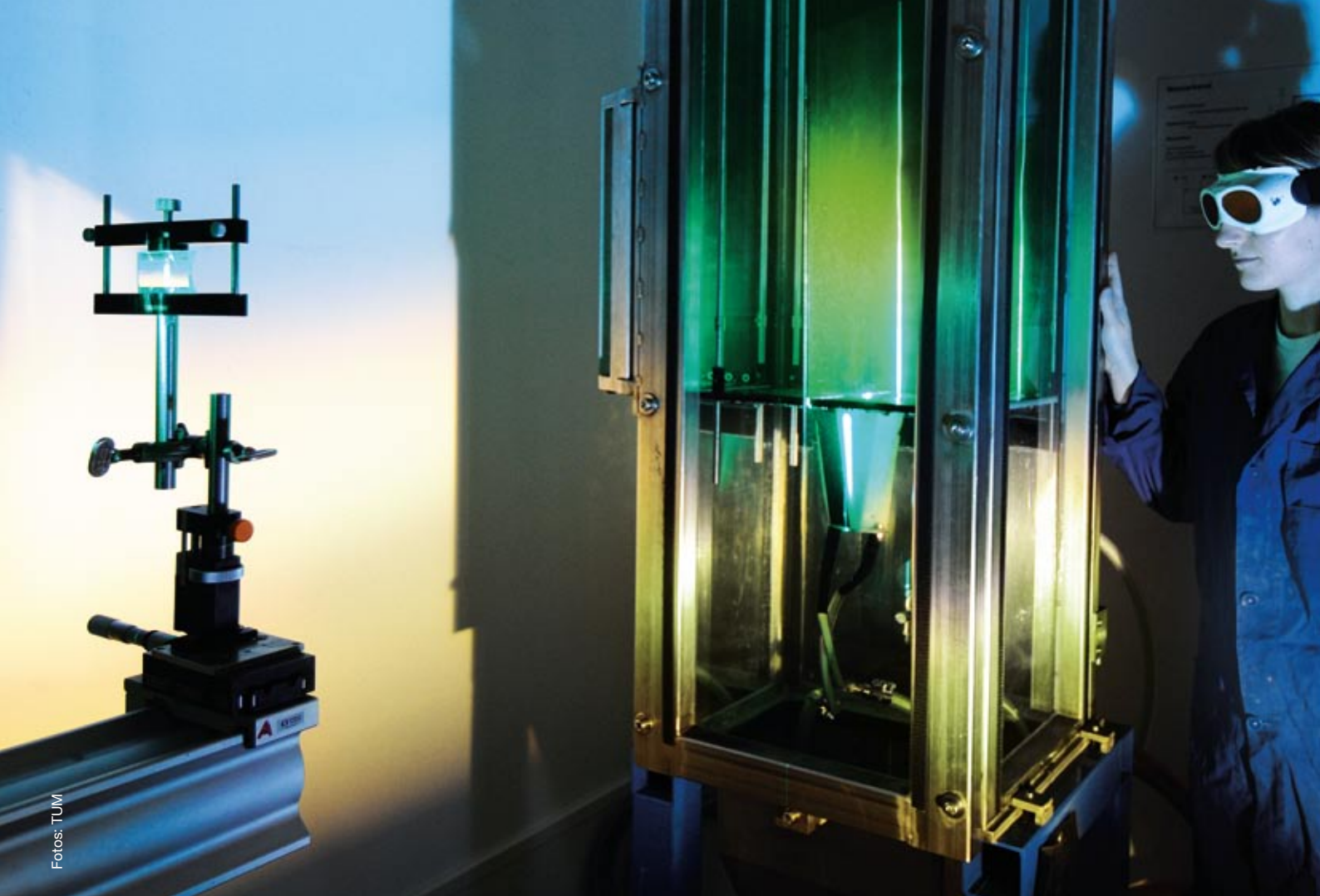
Anhand verschiedener Brennertypen und unter wechselnden Vorbedingungen wie dem Mischverhältnis von Gas und Luft oder der Menge der zugeführten Sekundärluft untersuchen die TUM-Forscher die physikalischen und chemischen Abläufe bei der Verbrennung. Dabei geht es vor allem darum, die Verbrennung, den Wirkungsgrad und die Emissionen zu optimieren, aber auch die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Gas- ▶

## *Thermodynamik*

**Links:** Momentaufnahme von Strömungs- und Mischungsverlauf in einem modernen Synthesegasbrenner im Wasserkanal. Die weißen Partikel markieren die Strömung, während die Färbung das Mischungsverhältnis von Brennstoff und Luft darstellt

**Rechts:** Ansicht des Wasserkanals mit der Laserlichtschnittoptik





Fotos: TUJM

turbinen zu verbessern. Besonderes Augenmerk liegt unter anderem auf Effekten wie Flammenrückschlag oder sich aufschaukelnden Schwingungen, die im schlimmsten Fall zur Zerstörung einer Gasturbine führen können.

Entscheidenden Einfluss auf die unerwünschten Effekte hat der eingesetzte Brennstoff: Denn je nach Zusammensetzung des Gases ändern sich Parameter wie Zündtemperatur, Verbrennungs- und Strömungsgeschwindigkeiten oder auch Emissionen. „Heutzutage laufen stationäre Gasturbinen zur Stromerzeugung fast ausnahmslos mit Erdgas“, erklärt Sattelmayer. „Damit gibt es am meisten Erfahrungen und die Technologie ist schon weit ausgereift.“ Im Sinne des Klimaschutzes und der Ressourcenverfügbarkeit wird es aber immer wichtiger, auch andere Gase wie Wasserstoff oder Synthesegas aus Biomasse oder Kohle in Gasturbinen einsetzen zu können. Um hierfür die technologischen Voraussetzungen zu schaffen, führt das Forscherteam auch Versuche mit verschie-

denen Gasmischungen mit unterschiedlichen Gehalten an Methan, Stickstoff und Wasserstoff durch.

Die Ergebnisse der Versuche fließen nicht nur in die Simulationsmodelle ein, mit denen Sattelmayer und seine Kollegen den Konstrukteuren von großen Gasturbinen die Arbeit erleichtern wollen. Sie lassen sich auch auf andere Anwendungen übertragen, etwa auf Raketentriebwerke oder – ganz alltagsnah – auf Heizungen für Häuser, Campingmobile oder Autos. Denn die turbulenten Strömungen, die in solchen Kleinheizungen entstehen und für deren Lärmemissionen verantwortlich sind, folgen ähnlichen Gesetzmäßigkeiten, wie sie in Gasturbinen gelten. In Kooperation mit Industriepartnern hat der Lehrstuhl für Thermodynamik Simulationsmodelle entwickelt, mit deren Hilfe sich leisere und schwingungsstabile Brenner designen lassen. Damit dürfte der Ärger über die brummende Heizung beim Wintercamping oder über den Nachbarn, der frühmorgens sein Auto vorwärmt, bald Vergangenheit sein. *Matthias Hopfmüller*



# Milch im Minilabor

Foto: Carsten Kükal / TUM

**Auch im Kuhstall werden Antibiotika eingesetzt. Doch die derzeitigen Routinetests auf Rückstände in der Milch brauchen Stunden und können nicht alle gängigen Antibiotika nachweisen. Diese Lücke schließt nun ein vollautomatisiertes Minilabor**

Auch auf gut geführten Bauernhöfen erkranken Milchkuhe und müssen mit Antibiotika behandelt werden, das gilt selbst für den Ökolandbau. Da Medikamentenrückstände gefährlich sein könnten, darf die Milch der behandelten Tiere nicht in die Produktionskette gelangen. Zwar hat die EU Grenzwerte erlassen, doch bisher ist der Nachweis für Antibiotika in der Milch aufwendig und lückenhaft. Die Molkereien führen Stichprobenkontrollen durch. Hemmt die Milchprobe das Wachstum von Prüfbakterien, so besteht ein Anfangsverdacht auf Antibiotikarückstände, dem mit aufwendigeren Analysen nachgegangen wird. Nachteil des Verfahrens: Es dauert Stunden und verursacht hohe Kosten. Die Unternehmen suchten daher nach einem schnellen Verfahren, mit dem man möglichst alle im Stall eingesetzten Antibiotika nachweisen kann.

Mit diesem Ziel vor Augen entwickelten Wissenschaftler des Lehrstuhls für Analytische Chemie der TU München und des Lehrstuhls für Hygiene und Technik der Milch an der LMU einen Glas-Chip und eine Auswerteeinheit, die Rückstände der 14 wichtigsten Antibiotika parallel und sicher nachweisen. Dafür nutzen die Wissenschaftler eine sogenannte Antigen/Antikörper-Reaktion: Auf die Glasplatte sind Punkte mit den unterschiedlichen Antibiotika aufgedruckt, ein sogenanntes Mikroarray. In die zu untersuchende Milchprobe wird ein Cocktail aus spezifisch auf diese Antibiotika reagierenden Antikörpern gemischt. Ist ein Antibiotikum in der Milch, so reagieren die Antikörper mit diesem. Je höher die Konzentration des Antibiotikums, desto weniger Antikörper

## Link

[www.ws.chemie.tu-muenchen.de](http://www.ws.chemie.tu-muenchen.de)

bleiben übrig. Die restlichen Antikörper binden an die entsprechenden Antibiotikapunkte auf der Platte. Eine nachfolgende Chemolumineszenzreaktion lässt die Punkte am hellsten leuchten, an denen viele Antikörper gebunden sind. War ein Antibiotikum in der Milch, stehen weniger Antikörper zur Verfügung und der entsprechende Punkt erscheint dunkler. Die Leuchtintensität liefert nicht nur den Nachweis, ob ein Antibiotikum in der Probe enthalten ist, sondern auch wie viel davon. Zusammen mit der Münchener gwK Präzisionstechnik GmbH entwickelten die Wissenschaftler ein vollautomatisches Minilabor, das zusammen mit dem Mikroarray präzise ermittelt, ob die Grenzwerte in der Rohmilch überschritten sind. Eine Messung dauert nur knapp sechs Minuten; der Glas-Chip lässt sich bis zu 50 Mal regenerieren. Damit ist das System das schnellste und kostengünstigste weltweit. „Das kommt nicht nur den Milch erzeugenden Betrieben und der Milch verarbeitenden Industrie zugute, vor allem der Verbraucher profitiert von der verbesserten Sicherheit“, sagt Professor Reinhard Nießner vom Lehrstuhl für Analytische Chemie der TU München. Bis Ende dieses Jahres wollen die Forscher ihr Minilabor bis zur Marktfähigkeit entwickelt haben. □



# Mehr Energie können Sie Ihrer Zukunft nicht geben.

EnBW Energie Baden-Württemberg AG – dahinter stehen ca. 20.000 Mitarbeiter, die sich für Strom, Gas und energienahe Dienstleistungen stark machen. Heute sind wir Deutschlands drittgrößtes Energieversorgungsunternehmen und nutzen auch in Mittel- und Osteuropa unsere Chancen. Als Vordenker und Wegbereiter geben wir Impulse und nehmen Impulse auf. So verlassen wir eingefahrene Bahnen und ebnen der Energie der Zukunft neue Wege.

Wenn auch Sie voller Energie stecken, dann sind Sie bei der EnBW Kraftwerke AG mit Sitz in Stuttgart im Bereich Zentrale Betriebstechnik herzlich willkommen als

## > Ingenieur w|m

### Ihre Impulse sind hier gefragt:

- Bearbeitung technisch übergeordneter Fragestellungen im Sinne von Weiterentwicklung, Effektivitätssteigerung, Nachrüstung, Retrofit und Störungsbeseitigung auf Basis gemeinsam abgestimmter Zielstellungen und Kosten der konventionellen Kraftwerke der EnBW
- Unterstützung bei der Qualitätskontrolle von Revisionsarbeiten
- Validierung der Instandhaltungsstrategie und des Revisionsumfangs
- Mitarbeit bei der Festlegung technischer und genehmigungsrechtlicher Standards der Kraftwerksanlagen
- Mitarbeit bei der Durchführung von Entwicklungs- und Trendanalysen von Kosten- und Performance-Kennziffern sowie von Schadensanalysen

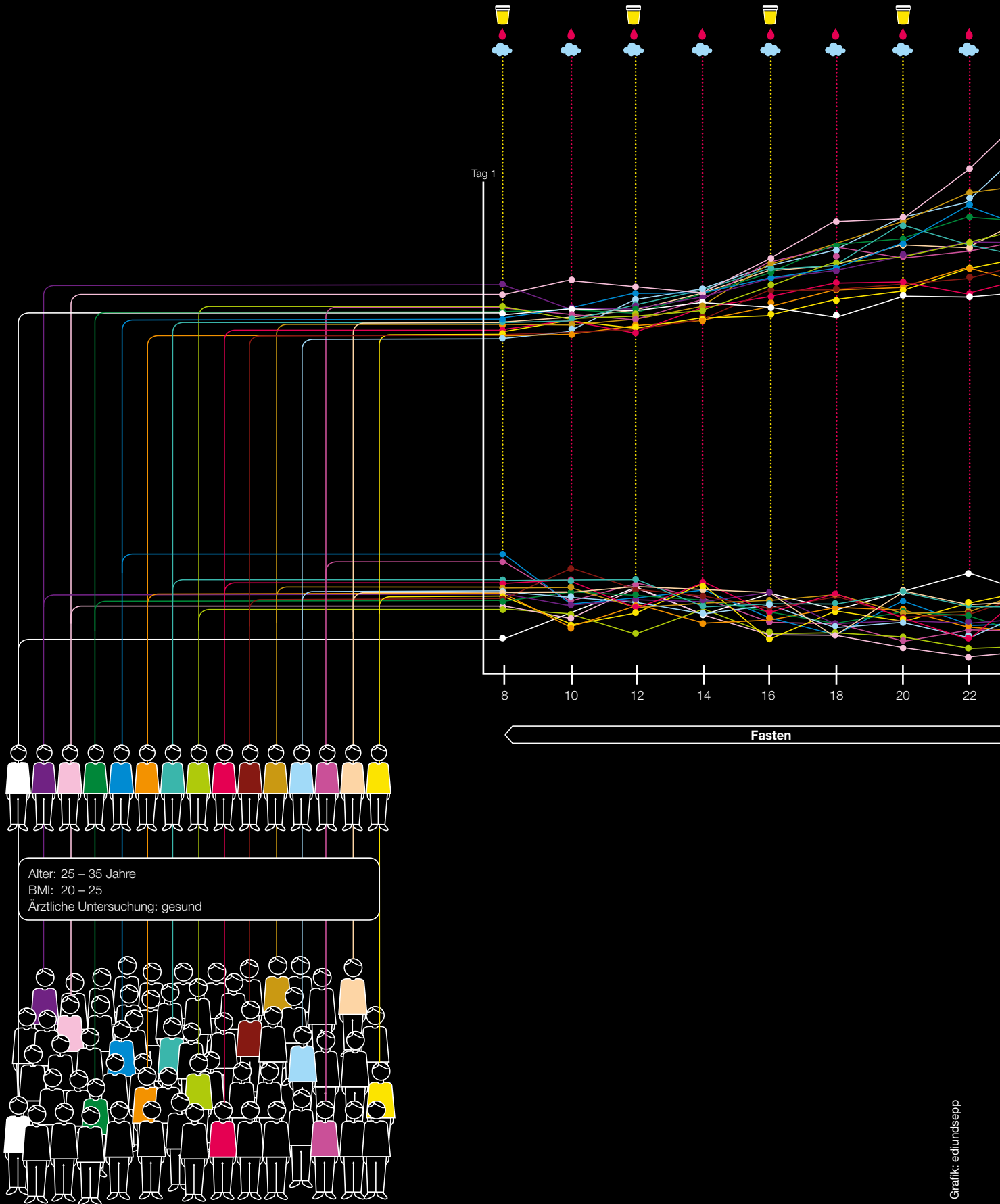
### Überzeugen Sie uns von Ihrer Energie:

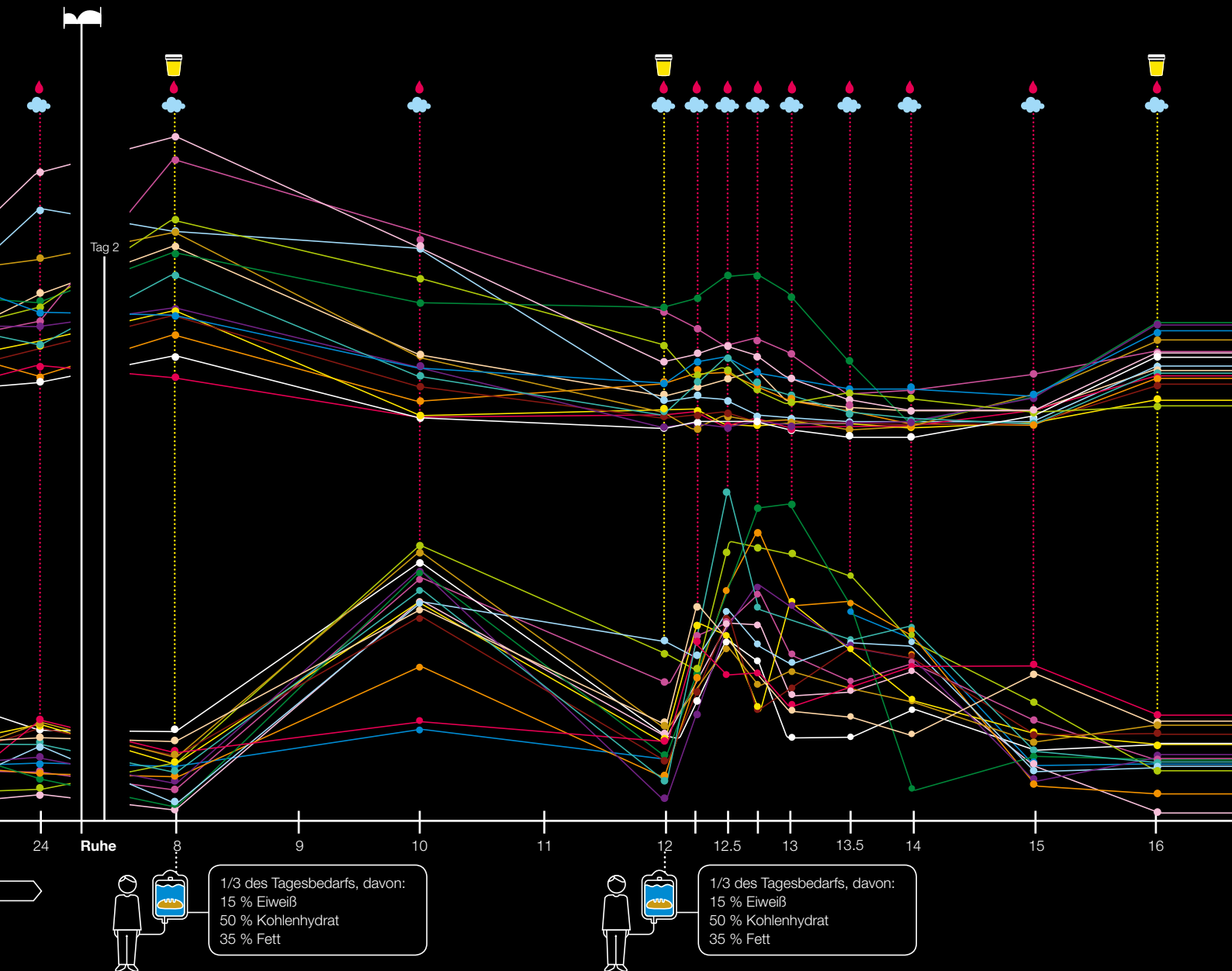
- Abgeschlossenes Hochschulstudium des Ingenieurwesens mit Fachrichtung Maschinenbau, Verfahrenstechnik oder Elektro-/Leittechnik
- Idealerweise bereits erste Erfahrung im Kraftwerksumfeld
- Zuverlässige und selbständige Arbeitsweise
- Ausgeprägte Eigeninitiative, Flexibilität, gute Kommunikations- und Teamfähigkeit sowie sicheres Auftreten und Verhandlungsgeschick
- Fähigkeit, sich schnell in neue Aufgabengebiete einarbeiten zu können

Weitere Fragen beantwortet Ihnen gerne Frau Ulrike Sackmann aus unserem Personalbereich unter der Telefonnummer 0711 289-89152.

Interessiert? Dann bewerben Sie sich jetzt online unter [www.enbw.com/karriere](http://www.enbw.com/karriere) (Referenznummer 2220447).

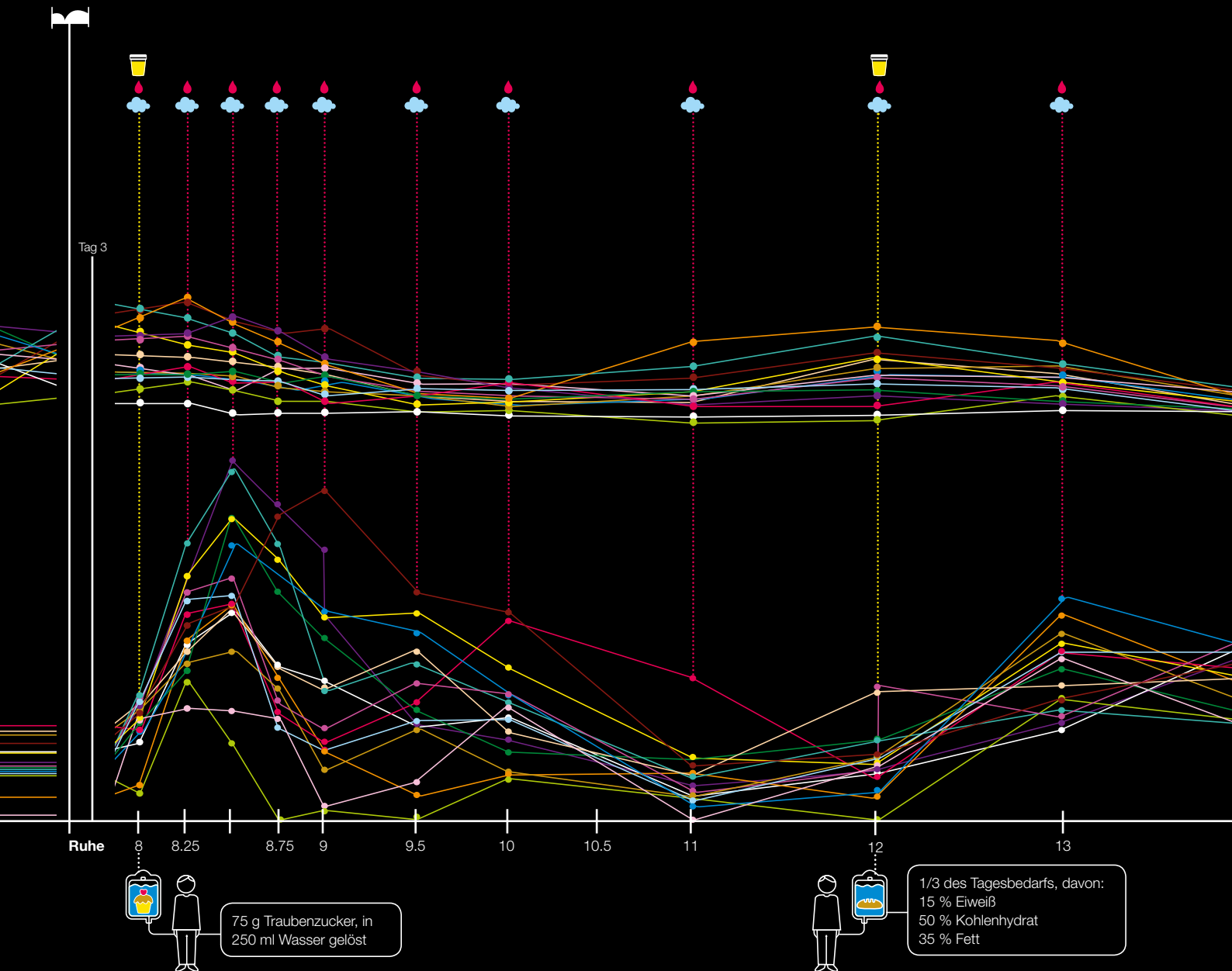






# Unser Körper – das unbekannte Wesen

Essen, trinken, verdauen, nichts scheint selbstverständlicher für uns. Aber was dabei auf molekularer Ebene vor sich geht, wird erst nach und nach erforscht. Das erstaunliche Ergebnis: Der Stoffwechsel jedes Menschen ist individuell wie sein Fingerabdruck

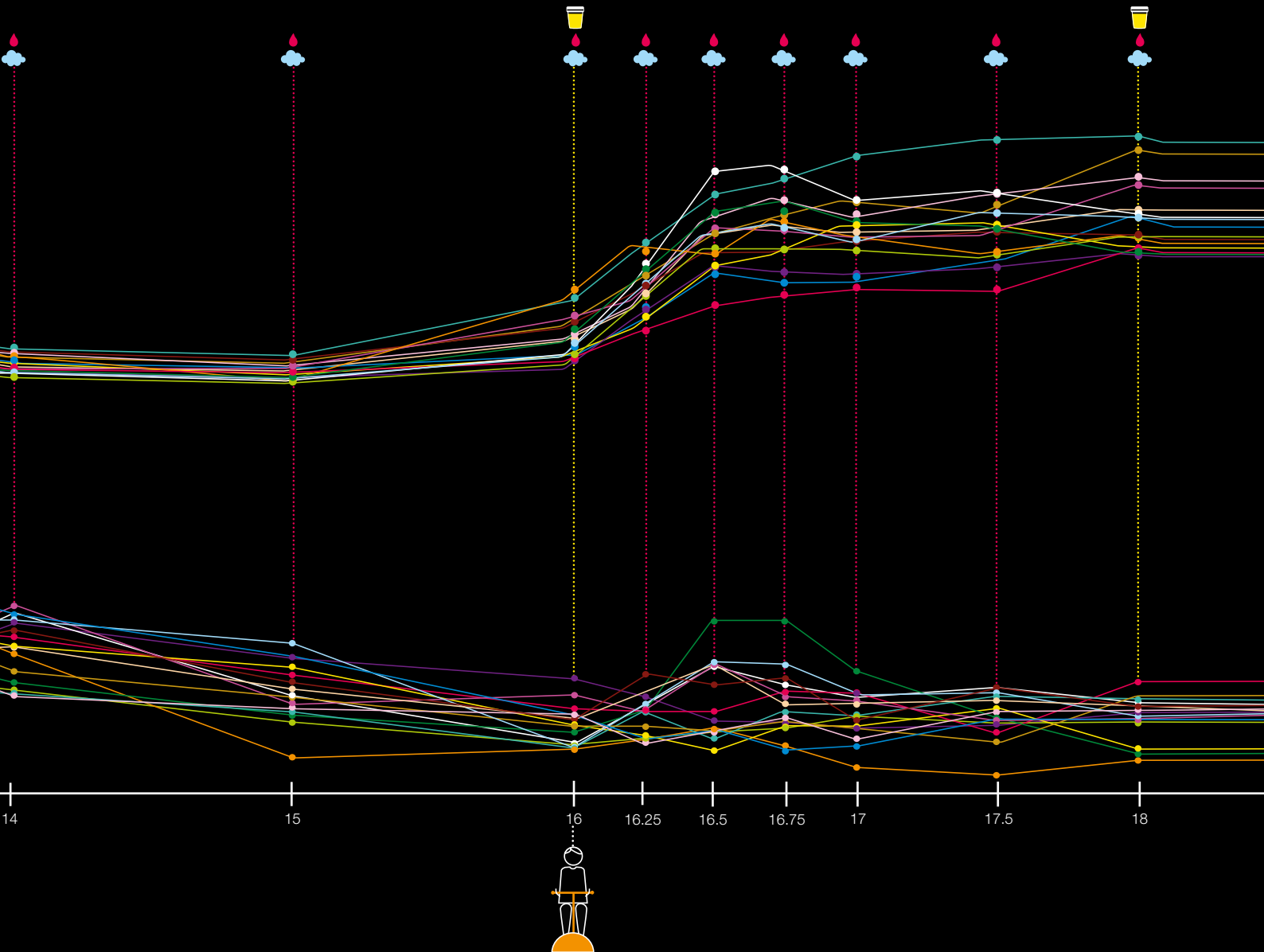


**Die Grafik zeigt das Konzentrationsprofil** zweier – zufällig ausgewählter – Metaboliten im Plasma der 15 Probanden der Hu-Met-Studie. Im Zeitverlauf des 4-tägigen Experimentes mit den verschiedenen diätetischen Interventionen zeigt sich deutlich die intra- und interindividuelle Varianz

#### Links

[www.wzw.tum.de/nutrition](http://www.wzw.tum.de/nutrition)  
[www.molekulare-sensorik.de](http://www.molekulare-sensorik.de)  
[portal.mytum.de/film/metabolomics\\_flash](http://portal.mytum.de/film/metabolomics_flash)

**G**anz unauffällig steht im Arbeitszimmer von Professor Hannelore Daniel im Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) ein Glasfläschchen auf dem Regal. Sein schlichtes Äußeres verrät nicht, dass es einen wertvollen Inhalt hat: fünf Gramm Glukose mit dem Kohlenstoff-Isotop <sup>13</sup>C im Wert von rund 500 Euro. Diese stabile Variante des Kohlenstoffs ist ein wenig schwerer als das weitaus häufigere <sup>12</sup>C, weil sie ein Neutron mehr im Atom hat, und kommt in der Natur nur zu 1,1 Prozent vor. „Die fünf Gramm Zucker sind mein Weihnachtsgeschenk“, sagt die Ernährungswissenschaftlerin. „Demnächst werde ich sie essen und danach in regelmäßigen Abständen Blut- und Urinproben abgeben. So können wir verfol-

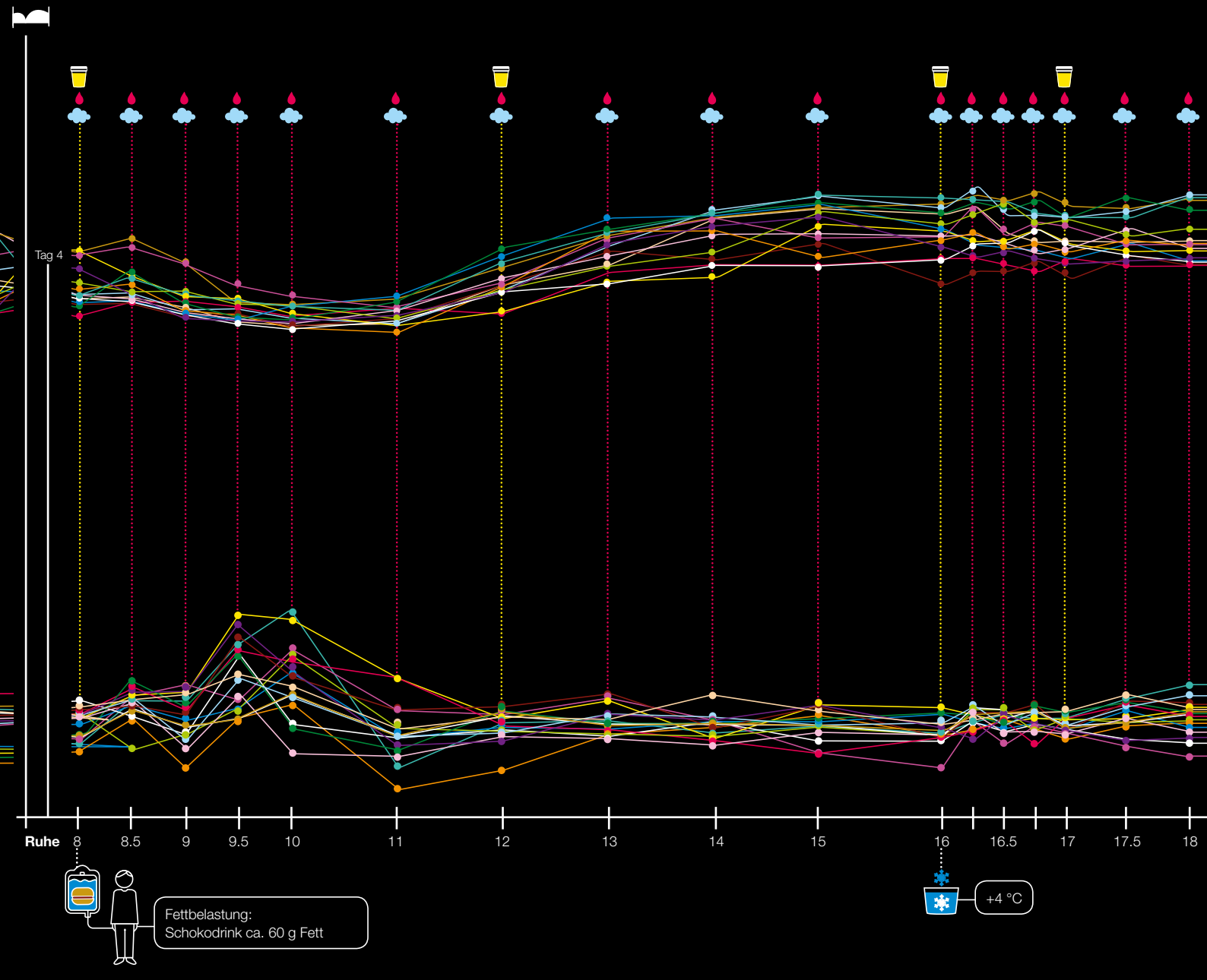


gen, welche Stoffwechselforgänge in meinem Körper ablaufen.“ Selbstversuche haben in der Ernährungswissenschaft Tradition. Um herauszufinden, was in ihrem Inneren geschieht, haben Forscher oft ausgefallene Diäten angewendet oder lange gefastet und sich dabei wissenschaftlich beobachtet. So gibt es etwa eine Arbeit aus den 50er-Jahren, bei der vier der sechs Autoren selbst Probanden waren. Sie ließen sich Katheter in die Portalvene, die nährstoffreiches Blut in die Leber transportiert, legen und maßen, was das Organ im Fastenzustand aus diesem Blut herausnimmt bzw. an es abgibt. Auch Hannelore Daniel, die den Lehrstuhl für Ernährungsphysiologie an der TUM innehat, probiert gern Versuchsmethoden, die sie später an Probanden

anwendet, zunächst an sich selbst aus. So hat sie beispielsweise tagelang Online-Messgeräte für den Blutzuckerspiegel getragen und erprobt. Die Anwendung der wertvollen Glukose bedeutet aber einen Schritt in die Zukunft.

### Metabolomik ist Stoffwechselforschung

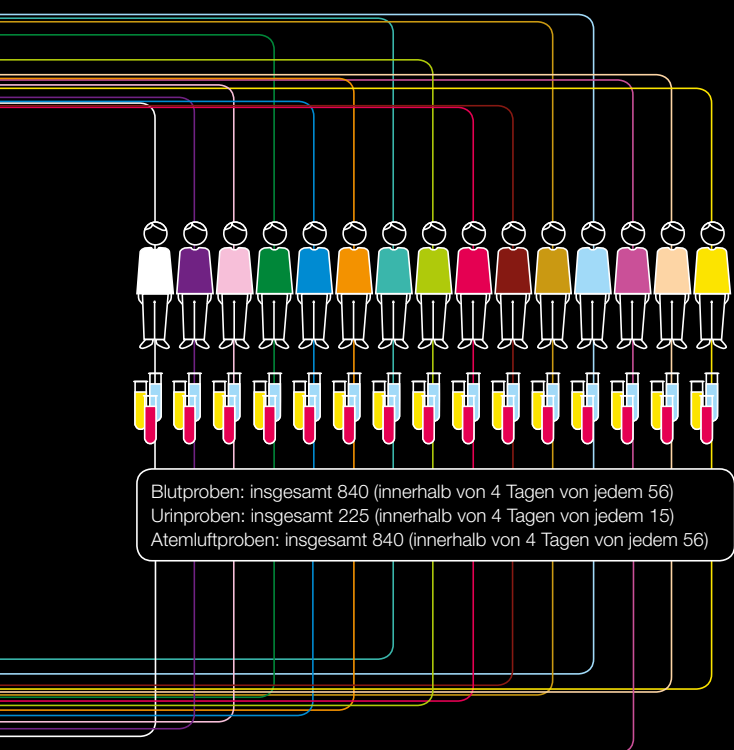
Zunächst einmal geht es im Grunde darum, zu erfahren, was in unserem Körper abläuft, wenn er Nahrung verdaut und die Nährstoffe verwertet. In groben Zügen sind die Vorgänge dabei bekannt, aber was noch fehlt, sind die chemischen und molekularen Details. Schließlich ist hier eine gigantische chemische Fabrik an der Arbeit, die letztlich Energie für unseren Körper produ- ▶



Das Probenmaterial wird in großen Mengen automatisiert zur Analyse vorbereitet

ziert, egal, ob wir vorher Schwarzwälder Kirschtorte oder Sushi gegessen, Limonade oder Milchshake getrunken haben. Tausende von organischen Säuren, Eiweißstoffen, Zuckermolekülen und anderen chemischen Produkten entstehen und vergehen dabei und beeinflussen sich gegenseitig.

Dieses Netzwerk an Prozessen und seine dynamischen Änderungen aufzuklären, damit beschäftigt sich seit einigen Jahren der Wissenschaftszweig Metabolomik. Er erhielt seinen Namen analog zu den anderen Forschungsrichtungen, die sich mit biologischen Vorgängen befassen: Genomik erforscht die Gene, Transkriptomik die Übertragung der Informationen in der Zelle und Proteomik die Gesamtheit der Proteine und ihr Zusammenspiel. Angesichts der Bedeutung unse-



### 1 Wie bestimmt man die Menge der enthaltenen Bestandteile?

Die vorbehandelten Proben werden in das Massenspektrometer überführt. Man verdampft dort das Lösungsmittel und ionisiert die Substanzen durch Anlegen einer Hochspannung an die Spitze einer Metallkapillare. Diese nun elektrisch geladenen Ionen durchlaufen im elektromagnetischen Feld des Massenspektrometers je nach ihrem Molekulargewicht unterschiedliche Wege und treffen am Ende des Messgeräts auf einen Detektor, der zählt, wie viele Ionen ankommen. Ein Vergleich mit markierten Standardsubstanzen erlaubt die Eichung des Geräts. So kann die Konzentration der einzelnen Metaboliten durch einen Vergleich der Signalgröße von Ziel- und Standardsubstanz berechnet werden.

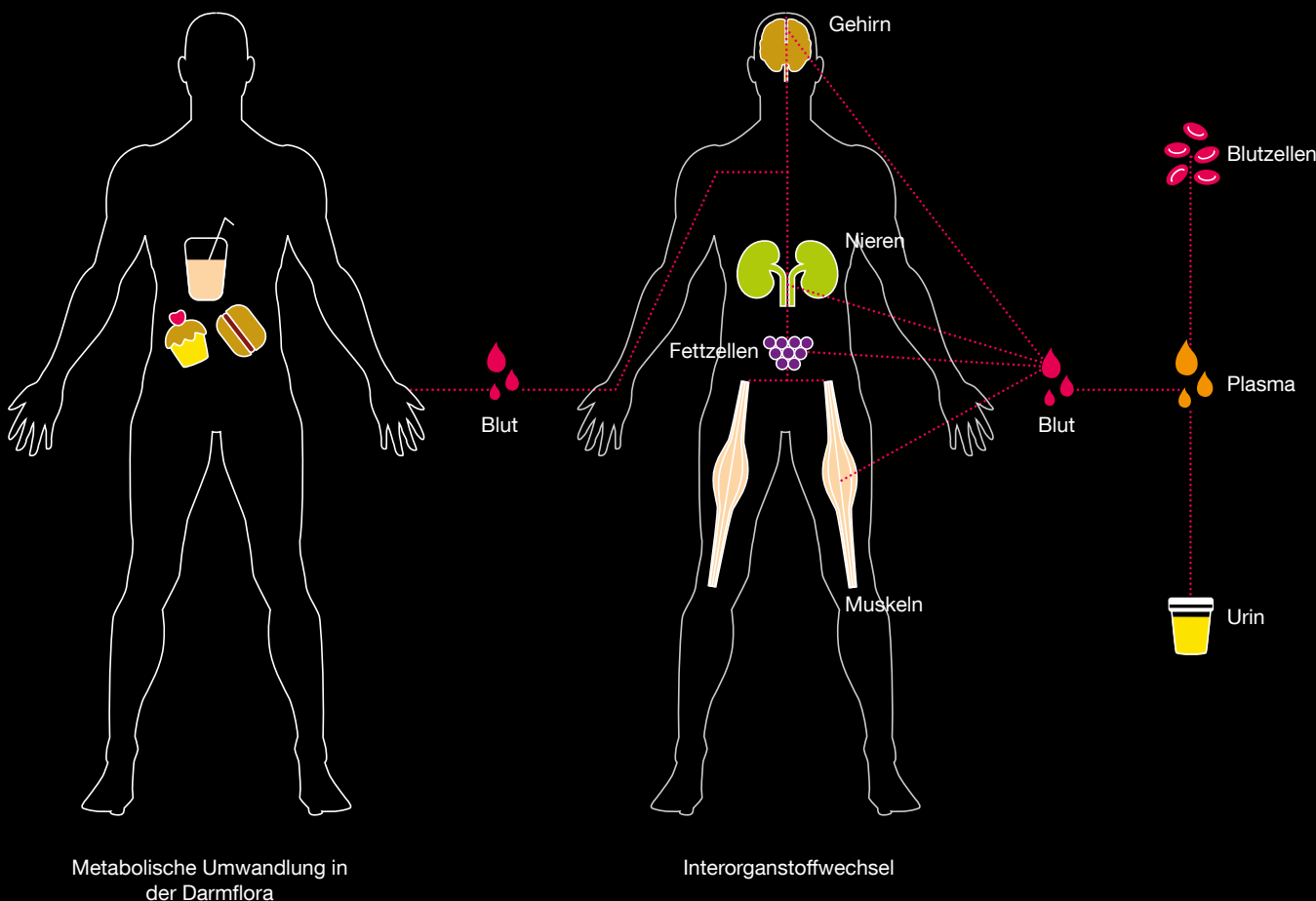
res Stoffwechsels für die Gesundheit ist es erstaunlich, dass bis heute relativ wenig darüber bekannt ist. Das hat zwei Gründe: Erstens mag sich kaum jemand der Mühsal aussetzen, regelmäßig Proben aus seinem Körper entnehmen zu lassen. So bleibt die Verdauung für die Forscher immer noch eine Art Black Box, bei der man genau weiß, was hineingeht und herauskommt, aber nur sehr begrenzt, was dazwischen passiert. Und zweitens fehlten bis vor wenigen Jahren die analytischen Mittel, um derart komplizierte Vorgänge quantitativ zu erfassen und qualitativ exakt aufzuklären.

Nun aber haben sich Hannelore Daniel und ihr TUM-Kollege, der Lebensmittelchemiker Professor Thomas Hofmann, mit Experten vom Helmholtz Zentrum München zu einem schlagkräftigen Netzwerk, der Munich

Functional Metabolomics Initiative, zusammengefasst, um die Forschung auf diesem Gebiet voranzubringen. Jeder trägt seine Stärken zu dem Projekt bei – derzeit wird die Zusammenarbeit im Rahmen der sogenannten HuMet-Studie erprobt.

### Junge Männer liefern ihr Metabolom

15 junge, gesunde Männer unterzogen sich dazu vier Tage lang einem standardisierten Programm im Human Study Center des WZW. Sie wurden nach Alter und Body-Mass-Index ausgewählt, damit sie eine möglichst homogene Gruppe bildeten. Man erhob alle wichtigen körperlichen Daten wie Gewicht, Blutdruck, Körperzusammensetzung, Leistungsfähigkeit oder Grundumsatz. Bei Beginn der Studie mussten sie zunächst ▶



**Metabolomik-Anwendungen** beim Menschen beschränken sich meist auf die Analyse von Blutplasma, Urinproben und in Einzelfällen auch von Blutzellen, d. h. Proben, die leicht und minimal-invasiv zu gewinnen sind. Die Veränderungen von Metabolitspiegeln im Blut und Urin sind dabei nicht nur das Resultat von Nahrungsaufnahme und Stoffwechsel (Interorganstoffwechsel), sondern zum Teil auch bestimmt von der Funktion der Darmflora des Menschen. So sind häufig aufgrund der unterschiedlichen Fähigkeit der Darmflora zur Umwandlung von Nahrungsinhaltsstoffen zu bestimmten Metaboliten „Responder“ von „Non-Respondern“ unterscheidbar

Grafik: edlundsepp

36 Stunden fasten; während dieser Zeit gaben sie alle zwei Stunden Blut ab, dazu kamen Urin- und Atemluftproben. Danach erhielten sie standardisierte Flüssignahrung. Im Laufe der nächsten Tage durchliefen die Probanden schließlich mehrere Tests: Sie mussten eine genau abgemessene Zuckerlösung trinken, später eine bestimmte Menge Fett zu sich nehmen, auf dem Ergometer strampeln und in der Kälte frieren. Und immer wurden zu vorher festgesetzten Zeitpunkten von ihren Körperflüssigkeiten Proben entnommen. „Eine derartig systematische und umfassende Studie am Menschen hat bisher noch niemand auf der Welt gemacht“, sagt Hannelore Daniel. Am Ende hatte man eine Vielzahl von Proben – von jedem Teilnehmer 56 Blut- und 15 Urinproben – gewonnen, die

jetzt analysiert werden müssen. Jeder Forscher bekam von allen (Blut-)Plasma- und Urinproben eine Portion und benutzt nun zur Analyse jeweils seine Messmethoden. Am Lehrstuhl von Professor Hofmann stehen dabei vor allem Verfahren der Tandem-Massenspektrometrie (Kasten 1), der Hochleistungschromatographie (Kasten 2) und der Kernresonanz(NMR)-Spektroskopie (Kasten 3) im Vordergrund. Einige wichtige Schritte sind dabei schon automatisiert. Nach einer geeigneten Probenvorbereitung gibt man die Plasma- oder Urinprobe in den Analysenapparat und bekommt die Stoffe, die bestimmt werden, anschließend gar nicht mehr zu Gesicht. Sie geben sich nur noch in der Online-Auswertung durch Signale auf Schreibern und Bildschirmen zu erkennen.



## 2 Wie trennt man ein Substanzgemisch in seine Komponenten auf?

Die Hochleistungsflüssigchromatographie macht sich zur Auftrennung von Gemischen die Tatsache zunutze, dass Substanzen unterschiedlich schnell in anderen Stoffen absorbiert oder gelöst werden. Das Herzstück eines Chromatographen ist eine sogenannte Trennsäule. Ihre Innenwände sind mit einem dünnen Film einer Substanz belegt, die eine derartige Trennung der Bestandteile ermöglicht. Spült man nun ein Tröpfchen eines Substanzgemisches, das in einem sogenannten Eluenten gelöst ist, durch die Säule, so kommt es zu einer mehr oder weniger starken Wech-

selwirkung der Bestandteile des Gemisches mit dem Trennfilm. Die einzelnen Stoffe durchwandern je nach ihren physikalischen Eigenschaften die Säule unterschiedlich schnell und kommen getrennt an deren Ende an.

Nach dem Verlassen der Trennsäule werden die einzelnen Substanzen massenspektrometrisch untersucht und somit kann man Informationen zur Identität und zur Quantität der einzelnen Metaboliten erhalten.

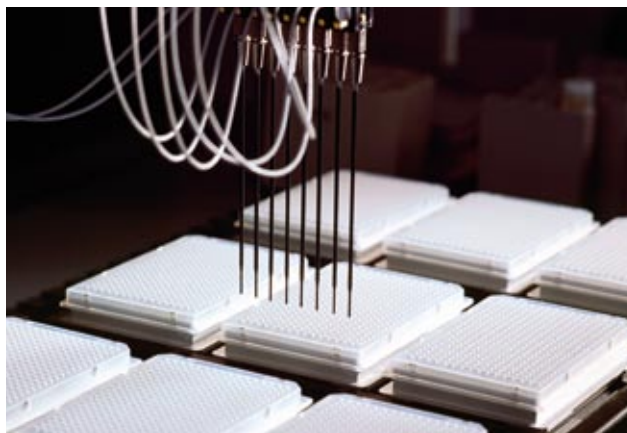
Bisher verwendeten Thomas Hofmann und seine Mitarbeiter diese Methoden der Höchstleistungsanalytik vor allem, um sensorisch aktive Biomoleküle in Lebensmitteln zu untersuchen. „Diese Moleküle regen Geschmacksrezeptoren auf der Zunge an“, erklärt der Lebensmittelchemiker den Zusammenhang zwischen Sensorik und Stoffwechsel. „Vor Kurzem wurde gefunden, dass es diese aber auch im Darm gibt. Da fragt man sich natürlich: Warum? Wir wollen untersuchen, welche Auswirkung die Aktivierung der Geschmacksrezeptoren im Verdauungstrakt auf das Stoffwechselfgeschehen und auf den Haushalt von Peptidhormonen hat, die zum Beispiel in der Sättigungsregulation eine Rolle spielen. So kamen wir vom Geschmack immer näher zur Metabolomik.“

### Analytische Herausforderungen

Die Sensitivität und die Auflösung der analytischen Methoden sind in den letzten Jahren im Eilschritt verbessert worden, und das war auch nötig. „Das neue Fachgebiet wird ja erst dann richtig schlagkräftig, wenn es uns gelingt, möglichst viele Metaboliten und deren Dynamik im Stoffwechselgeflecht zu messen“, betont der Lebensmittelchemiker. „Anfangs konnten wir vielleicht Metaboliten aus zwei oder drei chemischen Klassen messen. Mit der Kernresonanz- und der Massenspektroskopie, wie wir sie hier einsetzen, können wir nun aber neue Fenster öffnen.“ Das ehrgeizige Ziel ist es, möglichst umfassend zu beobachten, wie der Stoffwechsel reagiert, wenn man eine bestimmte Nahrung oder einen Wirkstoff zu sich nimmt oder körperlichem Stress ausgesetzt wird. Thomas Hofmann zieht dazu einen bildhaften Vergleich heran: „Das ist wie bei einem Foto: Wir sehen den Stoffwechsel bisher nur als Bild mit geringer Pixelauflösung, wir wollen das Foto aber in Hochofflösung aufnehmen. Heute befinden wir uns auf dem Entwicklungsstand der Digitalkamera in den 80er-Jahren. Wir müssen die Auflösung unserer analytischen Kamera weiter erhöhen, um ein möglichst scharfes Bild aller Stoffwechselprodukte zu erhalten.“

### Das Akkordeon des Metaboloms

Wenn in jeder Probe Dutzende von Stoffwechselprodukten gemessen werden, entsteht schnell eine riesenhafte Menge an Daten, die anschließend sortiert und statistisch ausgewertet werden muss. Das ist die Aufgabe der Bioinformatiker, die ebenfalls an dem Projekt beteiligt sind. „Wir setzen die Vielzahl an Informationen am Ende zu einem großen Bild zusammen“, sagt Professor Karsten Suhre vom Helmholtz Zentrum München, einer der Mitbegründer der Initiative. Bereits die ersten Auswertungsschritte der HuMet-Studie haben aufregende Ergebnisse erbracht: „Grundsätzlich reagiert jeder Mensch auf bestimmte Nahrungsbestandteile gleich“, sagt Hannelore Daniel, „aber in der Ausprägung gibt es große Unterschiede.“ Gibt man zum Beispiel den Probanden eine bestimmte Menge Traubenzucker, dann steigt ihr Blutzuckerspiegel zunächst an und nimmt danach wieder ab. Die Ergebnisse der HuMet-Studie offenbarten hier Erstaunliches: Anfangs, im nüchternen Zustand, waren die Werte extrem homogen. Aber nach der Zuckergabe zeigte jeder eine andere Antwort. „Natürlich gehen alle Werte nach oben, der Blutzucker ▶

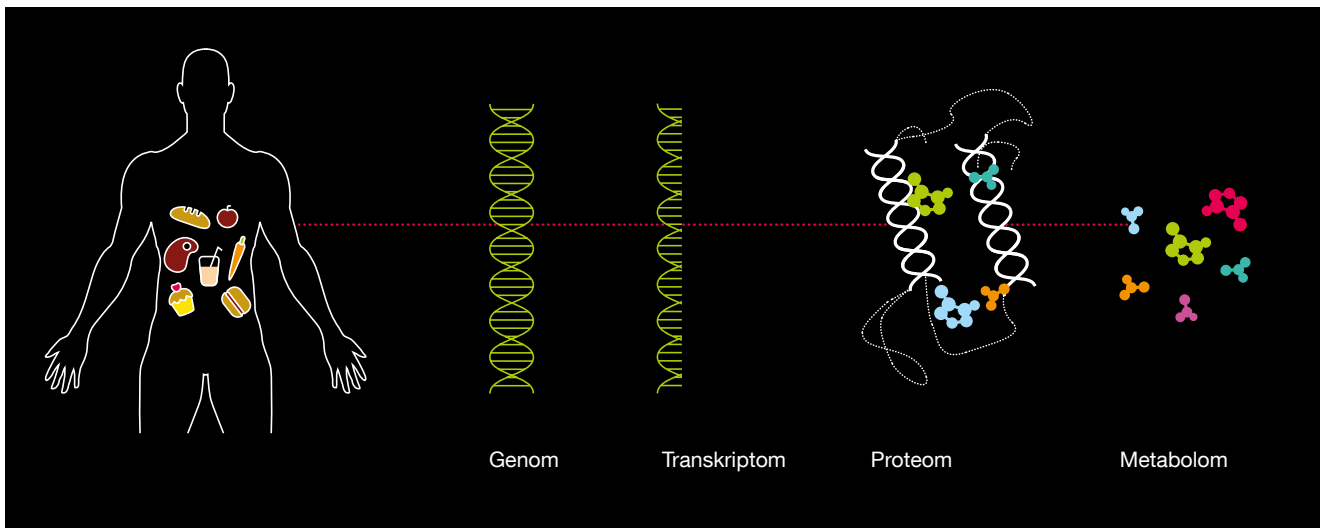


**Pipettierroboter** erlauben die Verarbeitung der Proben im Hochdurchsatzverfahren und gewährleisten höchste Genauigkeit und Reproduzierbarkeit.

## 3 Analyse von Urinproben mit Kernresonanz

Die Kernresonanz- oder NMR-Spektroskopie untersucht Moleküle oder Molekülkomplexe in ihrer natürlichen Umgebung, also in Lösung. Deshalb eignet sie sich gut für die Analyse von Urinproben. Dabei wird die Tatsache genutzt, dass manche Atomkerne aufgrund ihrer Eigendrehung – ihres Spins – und ihrer Ladung ein magnetisches Moment haben. Durch Einstrahlung von Impulsen mit einer geeigneten Radiofrequenz können die Atomkerne angeregt werden. Aus den von der Probe emittierten Signalen

kann der Analytiker Informationen über Bindung und Reihenfolge von Atomen in Molekülen der untersuchten Probe ableiten. Diese erscheinen für jeden Kern bei einer leicht unterschiedlichen Frequenz, die von der chemischen Umgebung des Kerns im Molekül abhängt. Nur wegen dieser sogenannten chemischen Verschiebung kann man die Kerne im Molekül überhaupt voneinander unterscheiden. Sie macht die atomare Auflösung der NMR-Spektroskopie möglich.



Grafik: edlundsepp

**Metabolomik** erfasst, quantifiziert und identifiziert die kleinen Moleküle in biologischen Proben, d. h. im biologischen System, und ist komplementär zu den anderen Querschnittstechnologien der Lebenswissenschaften. So erfasst die Transkriptom-Analyse die Gesamtheit der Boten-RNAs, die, ausgehend von den kodierenden Gensequenzen, in einem Genom gebildet werden, während die Proteom-Analyse die Gesamtheit der daraus resultierenden Proteine abbildet

muss ansteigen. Aber es ist hochinteressant zu sehen, wie unterschiedlich er ansteigt und wieder abfällt. Nach vier Stunden sind alle Probanden wieder gleich.“ Die Ernährungswissenschaftlerin vergleicht deshalb den menschlichen Stoffwechsel mit einem Akkordeon: Auch das lässt sich zusammenpressen und auseinanderziehen. Wie weit, das wollen die Forscher nun näher erkunden, und zwar nicht nur für die Verdauung von Zucker, sondern auch für Fett und Eiweißstoffe. Große Bedeutung wird dabei die Isotopenanalyse haben, und hier kommt wieder das Fläschchen auf Hannelore Daniels Regal ins Spiel. Denn Moleküle, die das schwerere Kohlenstoffatom  $^{13}\text{C}$  in sich tragen, benehmen sich zwar chemisch genauso wie ihre leichteren Artgenossen, aber in den analytischen Messgeräten verhalten sie sich ein wenig anders. Deshalb kann man beispielsweise den markierten Zucker vom körpereigenen unterscheiden und seinen Weg durch den Stoffwechsel verfolgen. „Bisher sitzen wir an einer Autobahn und zählen weiße, schwarze, rote und grüne Autos, quan-

titativ und pro Zeiteinheit“, beschreibt die Ernährungswissenschaftlerin das Vorgehen bildlich. „Aber wir wissen nicht, woher sie kommen und wohin sie fahren. Das festzustellen wird erst dann möglich sein, wenn wir die Autos – also unsere Metaboliten – mit stabilen Isotopen markieren. Dann kann man sagen: Hier habe ich ein markiertes Zuckermolekül hineingegeben, und dort finde ich ein markiertes Citratmolekül wieder. Damit weiß ich, dieses ist aus jenem entstanden. Wir können also erkennen, wo die Autos auf der Autobahn herkommen und wohin sie fahren, ein großer Fortschritt.“

In der Zukunftsperspektive gehen Hannelore Daniel und Thomas Hofmann sogar noch ein Stück weiter. Sie möchten gerne im nächsten Schritt die Dynamik des Stoffwechsels beschreiben, also seinen zeitlichen Verlauf. „Dazu wollen wir unsere Verfahren so automatisieren, dass sie bei hoher Auflösung in kurzer Zeit eine Vielzahl von Einzelbildern liefern. Diese kann man dann wie bei einem ‚Daumenkino‘ zu einem kleinen Film kombinieren.“

*Brigitte Röthlein*



## Einzigartige und vollkommen neue Produkte bei Alfa Aesar

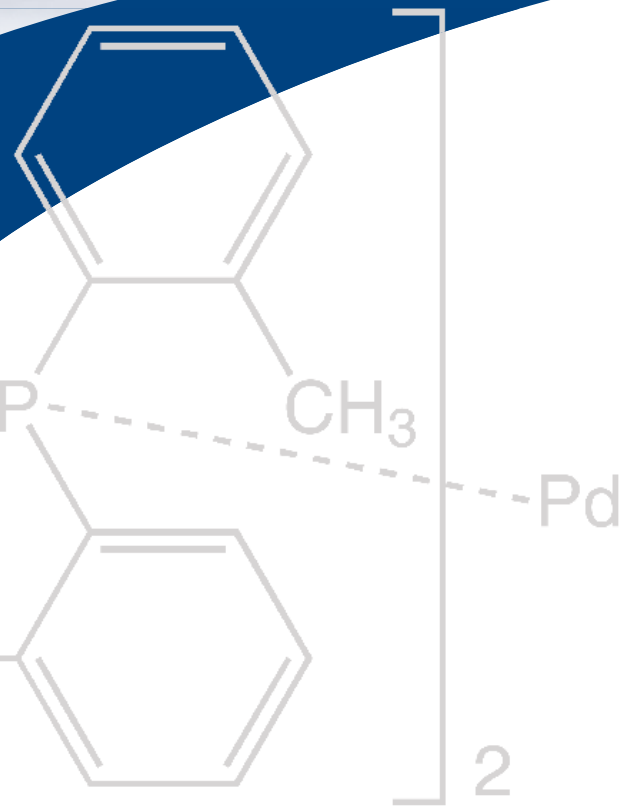
Innovation und die Entwicklung neuer Produkte stehen bei allem, was wir bei Alfa Aesar tun, im Mittelpunkt. In den vergangenen Monaten haben wir über 1200 neue Produkte in unsere Angebotspalette aufgenommen. Viele davon sind einzigartig und nur bei Alfa Aesar erhältlich. Zu diesen neuesten Produkten gehören:

- Analysenstandards
- Arylhomopiperazine
- Boronsäuren
- Chirale Diamine
- Fluoraromaten
- Legierungen
- Nanomaterialien
- Reine Metalle
- Seltene Erden-Sputtertargets
- Silane und Silanole
- Substituierte Homopiperazine
- und vieles mehr.

Ein kostenloses Exemplar des Nachtrags zum Katalog Forschungschemikalien können Sie telefonisch unter 00800 4566 4566 oder per E-Mail an [Eurosales@alfa.com](mailto:Eurosales@alfa.com) bei Alfa Aesar anfordern. Eine vollständige Liste der Produkte dieses Nachtrags können Sie unter [www.alfa.com/de/html/new2.html](http://www.alfa.com/de/html/new2.html) abrufen.

[www.alfa.com](http://www.alfa.com)

**Alfa Aesar**<sup>®</sup>  
A Johnson Matthey Company





# Nach Zellen angeln

**Die Zelltherapie ist eine große Hoffnung im Kampf gegen Krankheiten. Doch die Gewinnung von Spenderzellen ist eine Herausforderung. Mit einer neuen sanften Methode lassen sich gezielt Zellen aus Spendermaterial fischen, ohne dass sie Schaden nehmen**

Link
<a href="http://www.mikrobio.med.tu-muenchen.de">www.mikrobio.med.tu-muenchen.de</a>

**W**ären Dirk Busch und Christian Stemberger Sportfischer, dann würden ihnen die Angler dieser Welt vermutlich zu Füßen liegen, denn die beiden Forscher vom Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Hygiene der Technischen Universität München haben so etwas wie den sanften Angelhaken erdacht. Wer Fischen nachstellt, der muss den richtigen Haken wählen, die richtige Form, Farbe und den richtigen Schwimmer. Immerhin soll am Ende nur die gewünschte Spezies an der Angel zappeln – Dorsch oder Hering. Doch hat der Fisch endlich zugebissen, beginnt das Malheur. Wie den Haken entfernen, ohne das arme Tier zu quälen oder ihm das Maul zu zerreißen? Freilich fangen die Münchner Forscher keine Fische. Dennoch ähnelt ihre Arbeit durchaus der eines Anglers: Ihre Beute sind die Zellen des menschlichen

Körpers, vor allem Immunzellen, sogenannte T-Zellen, und weil die so empfindlich sind, kommt der wunderbare Angelhaken zum Einsatz – einer, der genau die gewünschten Zellen packt, sich aber quasi mit einem Fingerschnipp vom Fang lösen lässt, ohne dass der Blessuren davonträgt.

## **Körpereigene Raumpatrouille**

Immunzellen sind die Polizei im Organismus. Sie fahnden permanent nach Krankheitserregern – zum Beispiel nach Bakterien oder Viren. Zu dieser körpereigenen Raumpatrouille gehören auch die T-Zellen, denen Busch und Stemberger mit ihrer molekularen Angel besonders intensiv nachstellen. T-Zellen erkennen Fremdkörper sehr genau. Von ihnen gibt es verschiedene Varianten. „Zytotoxische T-Zellen“ etwa können sogar Erreger auf-

spüren und beseitigen, die sich im Innern körpereigener Zellen versteckt halten. Ein gesunder Organismus kann sich auf seine T-Zellen verlassen. Doch ist der Körper geschwächt, können die Angreifer die Oberhand gewinnen. Dann werden mitunter sogar simple Herpesviren lebensgefährlich, mit denen die T-Zellen normalerweise spielend fertigwerden. Besonders bedroht sind Menschen, deren Immunsystem während einer Therapie bewusst zerstört wurde, was zum Beispiel bei der Behandlung von Tumorerkrankungen häufig nötig ist. Ein Extremfall sind Patienten mit Leukämie-Erkrankungen, dem Blutkrebs. Hier haben sich die Zellen des Immunsystems selbst in Tumorzellen verwandelt. Die Behandlung nimmt daher zwangsläufig das körpereigene Abwehrsystem unter Beschuss. In einigen Fällen kann man die Betroffenen durch eine Knochenmarkspende retten.

Zunächst werden durch Medikamente oder Bestrahlung die Krebszellen im Patienten zerstört. Das betrifft auch die Immunfabrik im Knochenmark. So wird das gesamte Immunsystem vernichtet. Anschließend muss es neu aufgebaut werden. Zu diesem Zweck gibt man dem Betroffenen Knochenmark von einem gesunden Spender. Da die Knochenmarkszellen ausgesprochen teilungsfreudig sind, entwickelt sich daraus schnell ein neues Immunsystem.

### **T-Zellen an der Angel**

Doch bis der Patient eine neue Immunität aufgebaut hat, kann mitunter ein ganzes Jahr vergehen. In dieser Zeit ist er anfällig für Krankheitserreger, auch solche, die eigentlich harmlos sind. Der Grund: Im geschwächten Patienten fehlen genau jene erregerspezifischen ▶

T-Zellen, die auch der Gesunde ständig benötigt, um eindringende Keime zu bekämpfen und nicht zu erkranken. Doch gerade diese T-Zellen werden nur sehr langsam neu gebildet. Genau hier setzt das Angelprinzip von Busch und Stemberger an. Die Forscher haben eine Methode entwickelt, mit der sie im Blut von Spendern zielsicher nach T-Zellen gegen bestimmte Krankheitserreger fischen können. Das Besondere: Die Angelmethode ist so sanft, dass die T-Zellen den Fang völlig unbeschadet überstehen und dem Patienten quasi im frischen Zustand direkt gespritzt werden können. Innerhalb kürzester Zeit bekämpfen die T-Zellen dann die Erreger – wie ein mobiles Sondereinsatzkommando, das im Notfall eingeflogen wird.

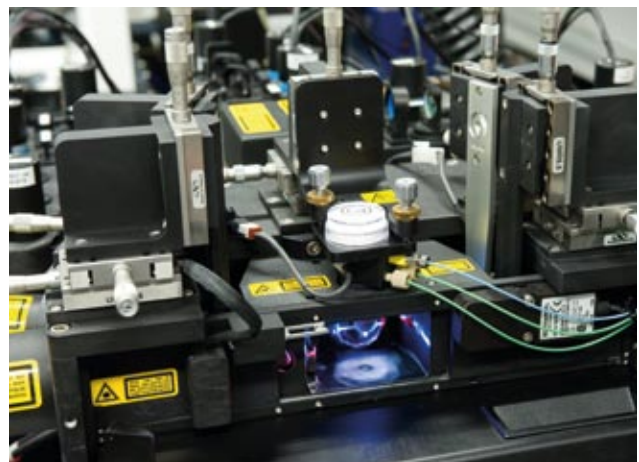
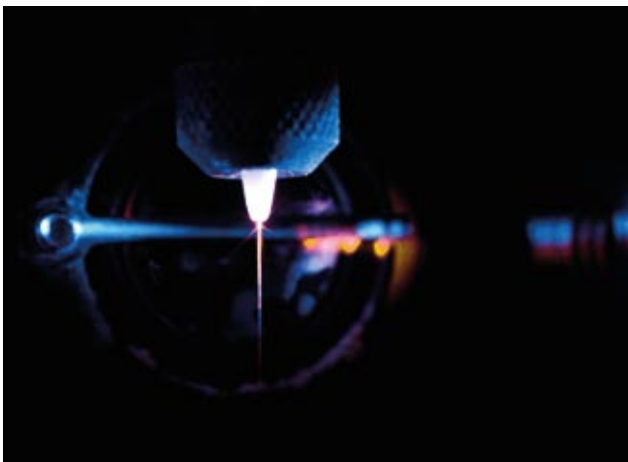
### Angriffe aus dem eigenen Körper

Nach einer Knochenmarkstransplantation werden die Patienten dazu angehalten, in keimarmen Umgebung zu leben. Sie müssen sich von ihren Zimmerpflanzen verabschieden, denn in den Blumentöpfen tummeln sich etliche Bakterien und Pilze. Und bei der Begrüßung sollten sie auf den Händedruck verzichten. Doch manche Erreger schlummern permanent im Körper des Menschen. Das Epstein-Barr-Virus etwa, ein Erreger aus der Gruppe der Herpesviren, lebt in fast jedem Menschen, ohne dass man es merkt oder erkrankt. Gleiches gilt für

**Rechts: In kleinen Laborgefäßen**, den Eppendorf-Caps, fügen die Forscher vom Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Hygiene die verschiedenen molekularen Komponenten zur T-Zell-Angel, dem MHC-Streptamer, zusammen

**Unten: Mit Laserlicht** erfasst das Durchflusszytometer Zellen, die in einem dünnen Flüssigkeitsstrahl aus einer Düse austreten. Das Gerät registriert pro Sekunde bis zu 100.000 Zellen

das Cytomegalo-Virus (CMV), das in etwa 60 Prozent aller Menschen wohnt. Solche Viren verstecken sich über lange Zeit in Körperzellen. Dort bleiben sie für das Immunsystem und die T-Zellen unsichtbar. Wenn aber die Körperabwehr schwächelt oder durch eine Krebstherapie ganz ausgeschaltet ist, dann erwachen die Viren zu neuem Leben. Für die meisten Menschen bleibt das ohne große Folgen. Nach einer Knochenmarkspende aber kann das lebensbedrohlich sein. Vor allem das CMV führt immer wieder zu gefährlichen Infektionen. Zwar züchtet man schon seit vielen Jahren T-Zellen in Laborgefäßen. Doch diese Arbeit ist mühsam. Einem Spender müssen Blutproben entnommen, daraus die T-Zellen extrahiert und anschließend vermehrt werden. Erst nach Wochen ist genug Zellmasse da, um sie dem Patienten zu verabreichen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die T-Zellen aus der Laborkultur einen regelrechten Schock bekommen, wenn sie schließlich im Körper des Patienten landen. Diesen umständlichen Weg wollen die Münchener mit ihrer Methode deutlich abkürzen. Sie setzen auf den Direktimport von T-Zellen aus dem Spender in den Patienten. Der Vorteil wäre enorm: Patienten könnte man künftig schnell und individuell auf ihre Situation zugeschnitten T-Zellen spritzen. Die Methode funktioniert, so viel scheint sicher. In einer kürzlich begonnenen klinischen Studie wurden erste >



Fotos: Werner Bachmeier



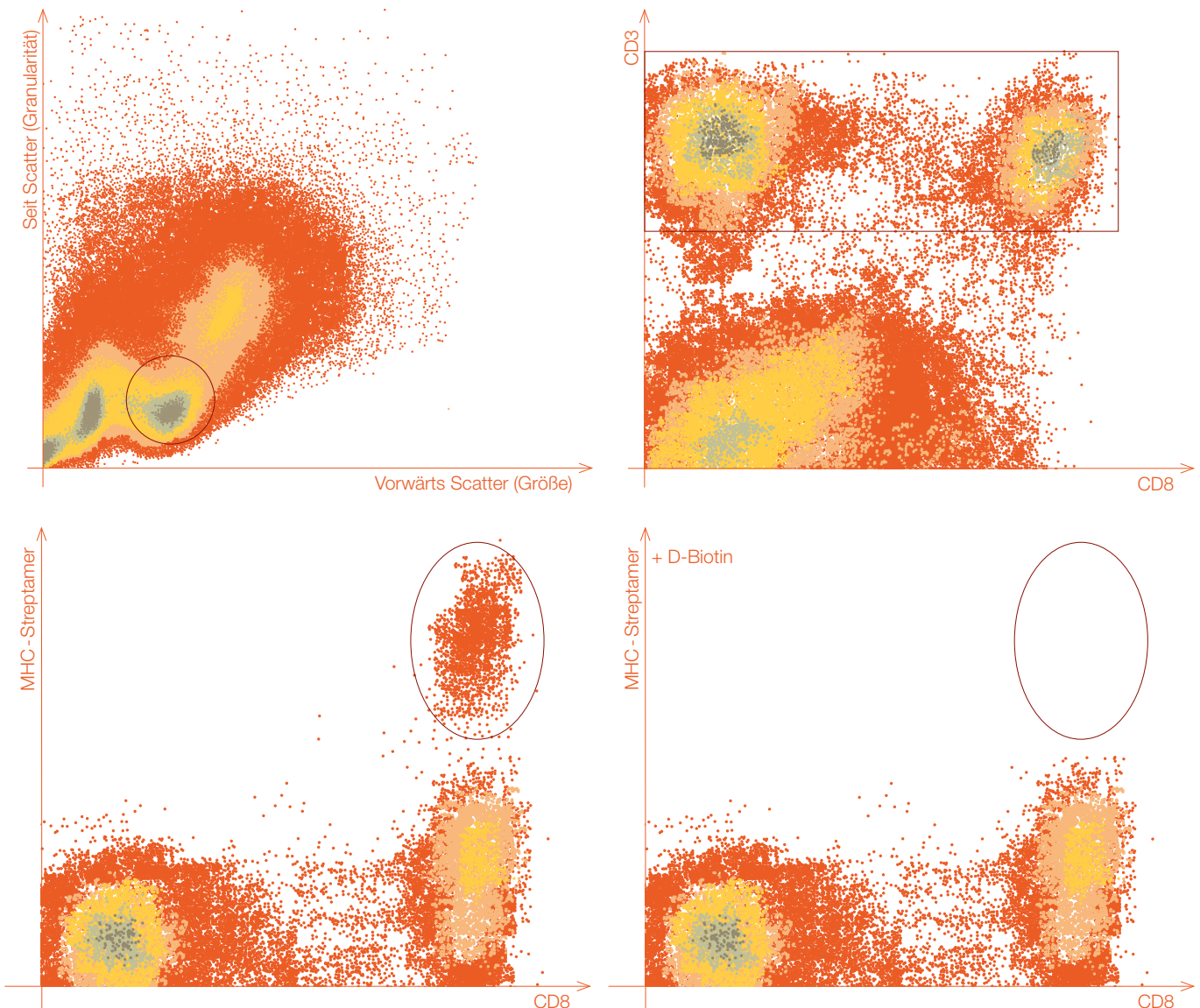
## Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen

Wie das Streptamer-Verfahren Zellgemische auftrennt, lässt sich gut anhand dieser nachgestellten Punktwolken-Darstellung erläutern, die die Ergebnisse einer Durchflusszytometer-Analyse schematisch darstellt. Die Methode verrät den Forschern, wie viele Zellen verschiedener Zelltypen in der Probe vorhanden sind. Zu diesem Zweck wurden die Zellen aus einer Blutprobe mit zwei fluoreszenzmarkierten Antikörpern und einem Streptamer behandelt. Der eine Antikörper bindet an das weitverbreitete CD3-Oberflächenprotein von Zellen, der andere an das CD8-Protein.

Das MHC-Streptamer wiederum markiert selektiv jene CD8-T-Zellen, die spezifisch CMV-infizierte Zellen erkennen. Aufgrund der unterschiedlichen Fluoreszenzmarker erkennt das Durchflusszytometer die verschiedenen Zellen sehr genau. Das Ergebnis ist eine Grafik, in der die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Zelltypen dargestellt ist. Die Abbildung links oben zeigt zunächst nur eine Auftrennung nach Größe (x-Achse) und Feinkörnigkeit (Granularität; y-Achse) der Zellen. Antikörper und Streptamer wurden hier noch nicht berücksichtigt. Die relevanten Immunzel-

len (Lymphozyten) befinden sich im Kreis. Das Bild rechts oben stellt diese Zellgruppe im Detail dar, die weiter aufgetrennt wurde. Dazu wurde analysiert, welche Zellen CD3-Oberflächenproteine (Rechteck) und welche CD8-Oberflächenproteine (kleine Wolke rechts oben innerhalb der CD3-Zellen) aufweisen.

In der kleinen CD8-Zellpopulation befinden sich auch die gesuchten T-Zellen, die für CMV spezifisch sind. Markiert man diese mit Streptameren, lassen sie sich exakt von den übrigen CD8-Zellen abtrennen (Bild links unten, kleine Wolke im Oval). Das Ziel der Forscher ist nun, diese virusspezifischen Zellen sehr genau von den übrigen (unspezifischen) T-Zellen z. B. mittels magnetischer- oder durchflusszytometrischer Zellsortierung zu isolieren. Nach erfolgter Isolation kann dann das Streptamer durch Zugabe von D-Biotin vollständig von den Zielzellen entfernt werden (das Prinzip ist rechts unten dargestellt). Nun ist man bestrebt, durch den Einsatz verschiedener Marker Zellgemische künftig immer weiter aufzutrennen und so genau die gewünschten Zelltypen ohne verbleibende Marker zu gewinnen.





Patienten erfolgreich behandelt. Nach einer Knochenmarkspende waren sie an CMV-Infektionen erkrankt. Damit zeichnet sich ab, dass die Forscher mit ihren gefischten T-Zellen dem CMV tatsächlich den Garaus machen können.

Doch der Weg bis dahin war lang. Rund zehn Jahre hat die Entwicklung der sanften Angelmethode gedauert. Mitte der 1990er-Jahre hörte Dirk Busch, der damals an der Yale University in den USA arbeitete, davon, dass es Forschern von der Stanford University erstmals gelungen war, erregerspezifische T-Zellen in komplexen Zellgemischen wie etwa Blutproben sichtbar zu machen – mithilfe von Nachweissubstanzen, Markern, die sich an die T-Zellen heften. Dirk Busch konnte diese neue Methodik schnell zur genauen Untersuchung von Immunreaktionen bei Infektionen weiterentwickeln. Mit seinem Wechsel an die TUM im Jahr 1999 widmete sich Busch dann erstmals der Frage, ob man die neue Technologie nicht auch zur Gewinnung und Aufreinigung erregerspezifischer T-Zellen und möglicherweise zur Therapie von Infektionserkrankungen einsetzen könnte. Doch kopelte sich der Marker zunächst so fest an die T-Zellen, dass er kaum noch zu lösen war.

### **TUM-Kollege inspiriert zu neuer Forschung**

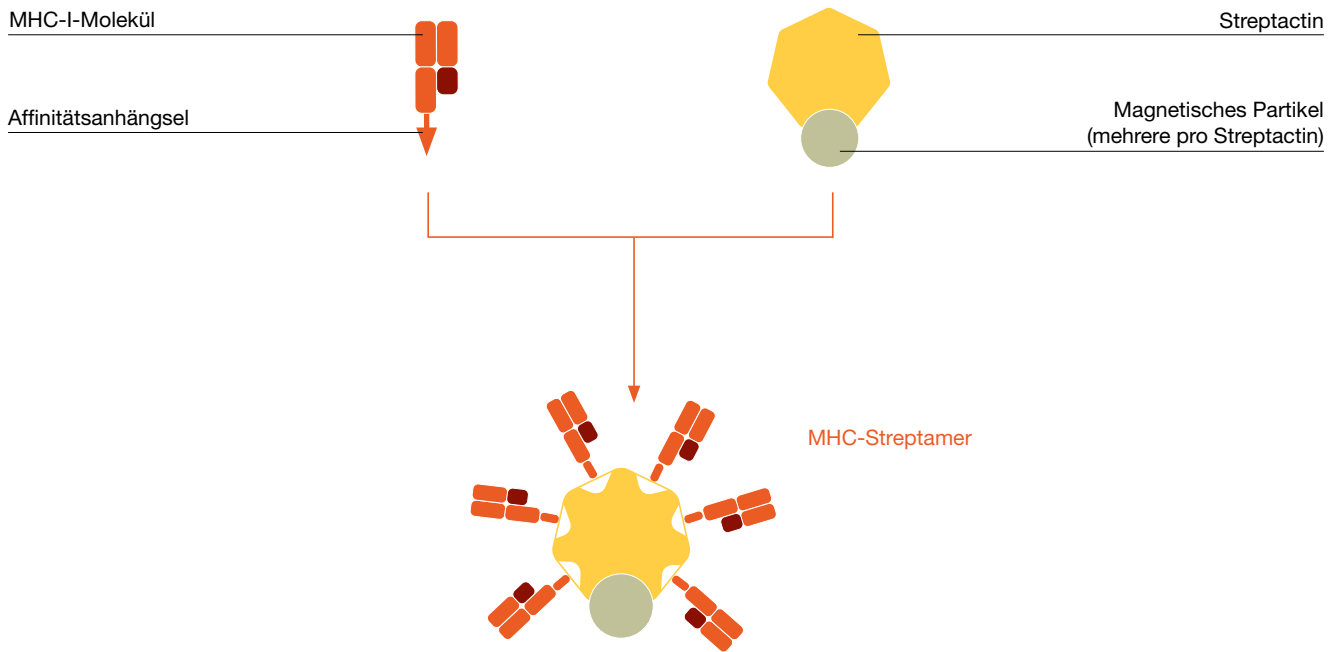
„Etwa zur gleichen Zeit wurde mir bewusst, dass ein Kollege hier an der TUM, Professor Arne Skerra, einen Weg gefunden hatte, Eiweiße aus einer Lösung zu fischen, um diese aufzureinigen“, erzählt Busch. Der Clou: Die Eiweiße ließen sich leicht wieder vom Fängermolekül lösen. Beide Arbeiten hatten nichts miteinander zu tun. Busch aber dämmerte es, dass beide Bausteine zusammen zum Erfolg führen könnten. Gemeinsam mit anderen Forschern machte er sich an die Arbeit und entwickelte seine ganz eigene, sanfte T-Zell-Angel. Auf der Oberflä-

che von T-Zellen sitzen kleine molekulare Anhängsel, T-Zell-Rezeptoren (TCR, T-Cell-Receptor), die zielsicher an bestimmte körpereigene Strukturen binden. Sie werden dann aktiv, wenn sich von Viren befallene Körperzellen melden. Die Körperzellen transportieren Fragmente des eingedrungenen Virus, beispielsweise der Virenhülle, an ihre Zelloberfläche und binden sie dort wie eine Art Signalfolge fest. MHC, Major Histocompatibility Complex, nennt man etwas kryptisch diese großen Moleküle auf der Oberfläche einer befallenen Zelle. Genau diese Moleküle nehmen die T-Zell-Rezeptoren wahr.

Für gewöhnlich kommt der Mensch in seinem Leben mehrfach mit ähnlichen Krankheitserregern in Berührung, beispielsweise Schnupfenviren. Beim ersten Kontakt lernt das Immunsystem den Erreger kennen. Es bildet T-Zellen aus, deren TCR den Erreger identifizieren kön- ▷



**Prof. Dr. Dirk Busch (links) und Dr. Christian Stemberger** bei der Besprechung von Laborergebnissen



**Das Streptamer-Verfahren im Detail:** Ein spezifisches MHC-Streptamer besteht aus verschiedenen molekularen Komponenten (links), dem gewünschten spezifischen MHC-Komplex und einem magnetisch markierten Streptactinmolekül. Letztlich funktioniert das MHC-Streptamer, indem es sehr gezielt an die Oberflächenstrukturen der Zielzellen, den T-Zell-Rezeptor (TCR), bindet (rechts, Zelle mit roten Stäbchen). Durch Gabe von Biotin wird der Streptamer-Komplex demontiert und der molekulare Angelhaken gelöst

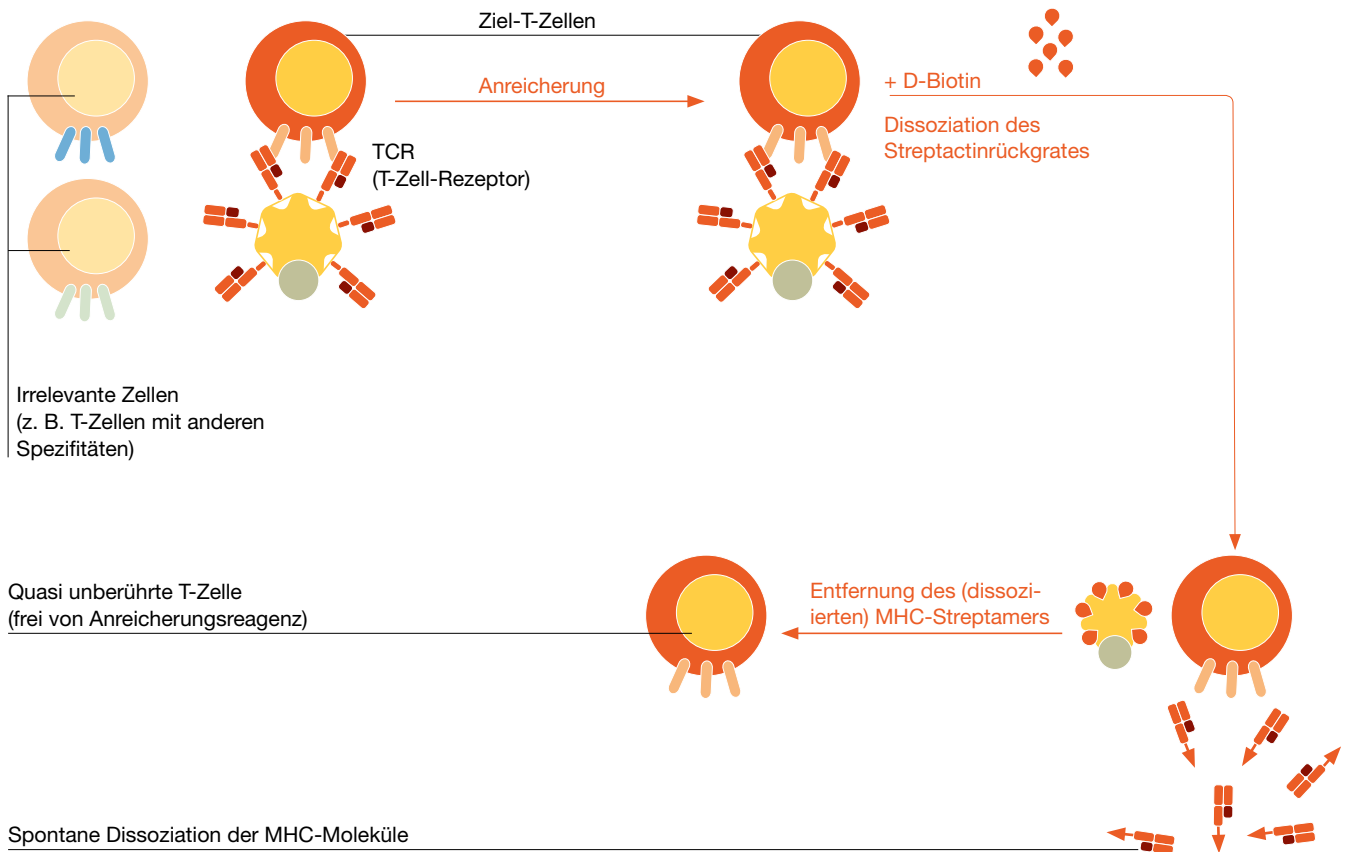
Grafik: edlundsepp

nen. So entsteht das Gedächtnis des Immunsystems. Bei der nächsten Infektion sind sofort T-Zellen zur Stelle, die den bekannten Verdächtigen dingfest machen. Die T-Zellen werden dann vom MHC auf der infizierten Zelle angelockt. Sie docken mit ihrem T-Zell-Rezeptor an das MHC an – und zerstören die infizierte Zelle und damit die in ihr versteckten Viren. Tatsächlich kann man im Labor mithilfe gentechnischer Methoden MHC-Moleküle synthetisieren und damit künstliche T-Zell-Angelhaken herstellen. Die Bindungsstärke eines MHC aber reicht nicht aus, um eine ganze T-Zelle zu schnappen. Man benötigt mehrere MHC-Haken. Das hatten schon die Forscher um Mark Davis von der Stanford University erkannt. Sie entwickelten deshalb ein Molekül mit mehreren MHC-Haken, das MHC-Tetramer. Das bindet an mehrere T-Zell-Rezeptoren und hält die T-Zelle ausreichend fest.

Allerdings war die Bindung so fest, dass sich das Tetramer nicht mehr von der T-Zelle abtrennen ließ, ohne sie in Mitleidenschaft zu ziehen.

**Starke Verbindung, sanfte Trennung**

Busch ging deshalb für seine eigene Angelmaschine den entscheidenden Schritt weiter. Angeregt durch die Entwicklungen von Skerra, baute er in das MHC-Tetramer eine Art Sollbruchstelle ein. Das neue Molekül taufte er MHC-Streptamer. Gibt man jetzt das Provitamin Biotin in winzigen Mengen hinzu, so löst sich das MHC in Sekundenschnelle und gibt die T-Zelle wieder frei. Damit hatte Busch seinen perfekten Angelhaken entwickelt, der zielsicher greift und leicht ablösbar ist. Seine Arbeit bescherte ihm eine Veröffentlichung im angesehenen Forschungsmagazin Nature Medicine.



Die Erfindung des biotinsteuerten MHC-Streptamer-Hakens liegt einige Jahre zurück. Inzwischen hat Busch das T-Zell-Fischen mit den MHC-Streptameren perfektioniert. Wenn es ans Angeln geht, synthetisieren er und seine Mitarbeiter zunächst passende MHC-Moleküle, damit schnappen sie die gewünschten T-Zellen aus der Blutprobe, etwa solche zur Bekämpfung von Cytomegalovirus-Infektionen. Derzeit hängen die Forscher magnetisierte Streptamer-Moleküle an die T-Zellen an. So lassen sich diese im magnetischen Feld sauber aus der Blutprobe ziehen. Unmittelbar danach wird Biotin zugegeben, um die MHC-Streptamere zu zerstören und von den T-Zellen abzuspalten. Dann werden die T-Zellen in einer Zentrifuge von MHC und Streptamer getrennt. Doch Busch will mehr. Er ist der Kopf der Focus Group „Clinical Cell Processing and Purification“ am Institute

for Advanced Study der TUM. Und die hat sich, wie der Name sagt, ganz allgemein der Aufbereitung und Reinigung von klinisch bedeutsamen Zellen verschrieben. „Die Gabe von T-Zellen ist nur eine Variante der Zelltherapie“, sagt Busch. „Es gibt viele andere Immunzellen, die sich für die Behandlung von Krankheiten einsetzen lassen. Wir konzentrieren uns daher nicht allein auf T-Zellen.“

Ein Beispiel sind Immunzellen, die allergische Reaktionen oder Autoimmunerkrankungen eindämmen. Denn bei manchen Allergien wird das Immunsystem durch Stoffe aus der Umwelt so weit gereizt, dass es Entzündungsreaktionen auslöst, die den eigenen Körper angreifen. Hier wäre eine Behandlung mit Immunzellen denkbar, welche die überschießende Immunreaktion gezielt zurückfahren. ▶



**Oben:** Zur besseren Unterscheidung verschiedener Zelltypen heften die Münchener unterschiedlich gefärbte Fluoreszenzmarker an die Streptamer-Komplexe

**Unten:** Für ihre Laborexperimente müssen die Forscher Spenderblut in seine Bestandteile auftrennen und die roten Blutkörperchen oder das Blutplasma entfernen. Von Interesse ist vor allem jene kleine Fraktion, die die Immunzellen enthält

### Die gesuchten Zellen sichtbar machen

Der Biologe Christian Stemberger arbeitet in Buschs Forschungsgruppe daran, die Angelmethode zu verfeinern und zu diversifizieren. So versucht er, Streptamere zu entwickeln, die nach anderen Zellen schnappen. Ein erster Schritt ist es, die Zellen sichtbar zu machen, wofür statt der MHC-Moleküle andere Bindungspartner nötig sind. Eine Alternative sind Teile von Antikörpern – sogenannte Fab-Fragmente. Ihr Vorteil besteht darin, dass man im Grunde für jedes beliebige Oberflächenmolekül passende Fab-Fragmente synthetisieren kann. Damit wird die Markierung von vielen verschiedenen Zelltypen möglich. Zusätzlich heftet man sogenannte Fluoreszenzmarker an die Fab-Moleküle, Farbstoffe, die mit Laserlicht zum Leuchten angeregt werden. Auch die Fab-Fragmente lassen sich zum Mehrfach-Haken-Streptamer umbauen. Docken diese farbigen Fab-Streptamere an, wird die Zelle sichtbar. Stembergers Ziel ist es, verschiedene Fab-Streptamere mit unterschiedlichen Farbstoffen einzusetzen, um in einem Gemisch von Zellen, wie man es zum Beispiel in einer Blutprobe findet, die verschiedenen Zellen zu erkennen. Seit einiger Zeit gibt es die dafür erforderliche Technik – die Durchflusszytometrie. Diese Apparate sind in der Lage, farbmarkierte Partikel oder eben Zellen zu erkennen, die in rasendem Tempo durch die Maschine sausen – bis zu 100.000 Stück pro Sekunde. „Man kann damit sogar Zellen voneinander trennen. Diese Aufreinigung ist deutlich sauberer als bei der magnetischen Methode“, sagt Stemberger. Für den klinischen Einsatz ist genau diese saubere Aufreinigung wichtig. Denn es gibt durchaus T-Zell-Typen, die dem Patienten auch Schaden zufügen können. Die Forscher müssen daher genau darauf achten, die richtigen Zellen zu fischen.

Eine sanfte Angel für verschiedene Zelltypen wäre eine attraktive Lösung für die Zelltherapie, meinen die Forscher. Denn von den Vorteilen ihrer Streptamer-Methode sind sie überzeugt. „Bei anderen Verfahren werden Zellen durch das Andocken von Substanzen so stark verändert, dass man sie kaum noch verwenden kann“, sagt Busch. Besonders günstig an der neuen Methode

ist, dass das An- und Abkoppeln der Streptamere bei sehr niedrigen Temperaturen zwischen vier und zehn Grad Celsius abläuft – in einem Temperatur-Bereich, in dem die T-Zelle quasi inaktiv ist. Wie bei einer Vollnarkose spürt die Zelle die Behandlung kaum.

Anders als bei der Vermehrung in der Laborkultur sind die Immunzellen also topfit, wenn sie per Angelmethode für den Patienten gewonnen werden. Stemberger hat das Verfahren lange an Mäusen getestet, ehe die erste klinische Studie mit Leukämiepatienten begann. „Es ist verblüffend, wie wenige T-Zellen man benötigt, um eine Erkrankung erfolgreich zu bekämpfen“, sagt er. „In manchen Fällen konnten Infektionen mit einer einzigen übertragenen T-Zelle bekämpft werden, die sich dann im Körper der Maus vervielfältigt hat.“ Auch beim Menschen benötigt man wahrscheinlich vergleichsweise wenige Zellen, um eine klinische Wirkung zu erzielen – nur etwa einige Tausend T-Zellen. Verwendet man hingegen T-Zellen aus der Retorte, sind pro Dosis mehrere Milliarden T-Zellen nötig, um die Infektion in Schach zu halten. Busch und Stemberger hoffen, dass es ihnen gelingt, ihre sanfte Methode auf eine Vielzahl von Zellen auszuweiten.

### Medizintechnik par excellence

Die Focus Group am Institute for Advanced Study hat es sich zum Ziel gesetzt, die Entwicklung von Medizintechnologie voranzutreiben. „Was wir hier machen, die Kombination von Durchflusszytometrie und molekularbiologischen Methoden, ist medizintechnische Arbeit par excellence“, sagt Busch. Seine Arbeit verblüfft viele seiner Fachkollegen. Während Busch nämlich daran arbeitet, Streptamere zu finden, die nur leicht an ihrem Zielobjekt haften, suchen die meisten anderen Forscher nach Molekülen mit starker Haftkraft – beispielsweise Antikörper, die fest an Tumorgewebe andocken, damit es im mikroskopischen Bild sichtbar wird.

„Wir haben es vergleichsweise leicht“, sagt Busch mit einem Lachen. „Nicht zuletzt weil wir durchaus das gebrauchen können, was die anderen wegwerfen.“

*Tim Schröder*

**Invasive Arten** zählen zu den Hauptgefährdungsfaktoren für die aquatische Biodiversität und sind Gegenstand mehrerer Forschungsprojekte an der Funktionellen Aquatischen Ökologie und Fischbiologie. Grundeln wie diese Kesslergrundel (*Ponticola kessleri*) breiten sich derzeit im Gebiet der bayerischen Donau aus

**Link**

[www.wzw.tum.de/fisch](http://www.wzw.tum.de/fisch)

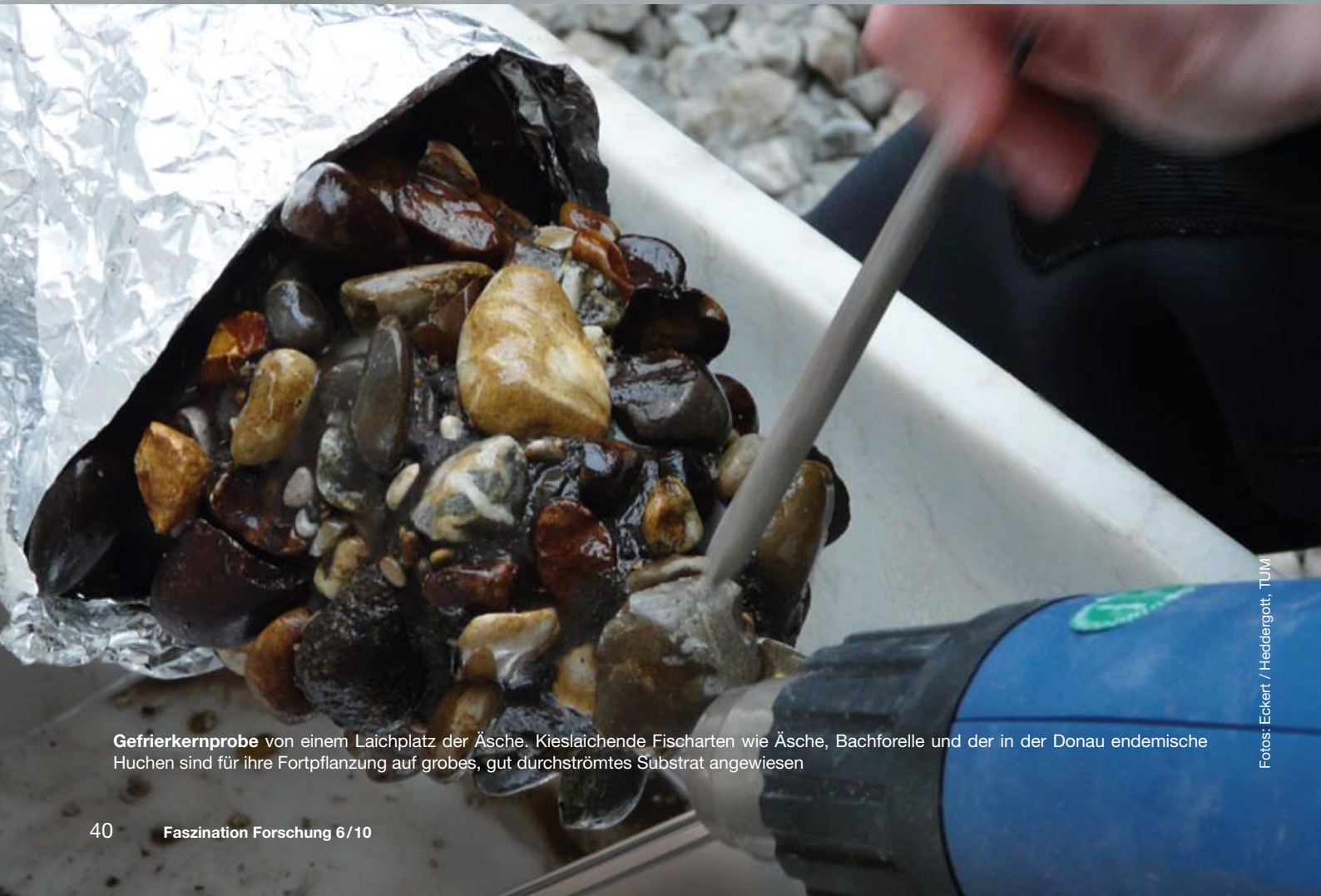


# Forschung im Fluss

Schätzungsweise 130 Arten sterben täglich aus, in erster Linie, weil ihr Lebensraum schwindet. Prof. Jürgen Geist will dafür sorgen, dass es der Flussperlmuschel nicht so ergeht und erforscht die Biodiversität in aquatischen Ökosystemen



Zur Entnahme von Substratproben bohren die Wissenschaftler ein Rohr ins Flussbett und füllen es mit flüssigem Stickstoff. Der Boden um das Rohr herum gefriert, sodass die Schichtung in dem entnommenen Block bestehen bleibt und zusätzliche Informationen liefern kann



Gefrierkernprobe von einem Laichplatz der Äsche. Kieslaichende Fischarten wie Äsche, Bachforelle und der in der Donau endemische Huchen sind für ihre Fortpflanzung auf grobes, gut durchströmtes Substrat angewiesen

Fotos: Eckert / Heddergott, TUM





**Forschung in der Funktionellen Aquatischen Ökologie und Fischbiologie** spielt sich sowohl im Labor wie auch im Freiland ab. Für den direkt an der Forschungsstation gelegenen Abschnitt der Moosach hat die Forschungsgruppe das Fischereirecht.



**Heimische Fischarten** im Fokus von Prof. Dr. Jürgen Geist. Spezialisierte Arten dienen den Wissenschaftlern als Bioindikatoren. So können sie den ökologischen Zustand von Gewässern beurteilen

**E**s wirkt recht idyllisch, wie die von Jürgen Geist geleitete Juniorprofessur für Funktionelle Aquatische Ökologie und Fischbiologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan residiert: etwas abseits vom Campus im Grünen gelegen und mit der Moosach gleich hinterm Haus. Für diesen Abschnitt des Fließschens haben die Wissenschaftler das Fischereirecht. Auch ist genügend Platz vorhanden, um allerlei Gerätschaften und Ausrüstung unterzubringen, Boote etwa oder Becken, in denen die hauseigene Fischzucht unter Aufsicht eines Fischmeisters betrieben wird. Fischereirecht, Fischzucht, Fischmeister – nur selten verfügt eine universitäre Einrichtung über eine solche Ausstattung, und Geist weiß das zu schätzen: „Darum beneiden uns viele.“ Und es wäre ein großer Fehler, aus der idyllischen Lage auf verträumte Wissenschaft zu schließen – hier brummt das akademische Leben, die Juniorprofessur ist ein zentraler Knoten im internationalen Netz der aquatischen Ökosystemforschung. Allerdings sollte man die Vokabel „residieren“ nicht missverstehen: Die Gebäude sind ziemlich renovierungsbedürftig und bieten nicht genügend Raum für Büros und Labors. Seit Geist 2007 aus den USA an die TUM kam, hat die Arbeitsgruppe gut zwei Millionen Euro an Drittmitteln eingeworben. Mittlerweile sind hier 18 Leute beschäftigt, davon elf Doktoranden. Einige konnten immerhin vor Kurzem in zwei Bürocontainer ausweichen.

### **Ökologische Prozesse verstehen**

Übergeordnetes Thema der Wissenschaftler ist die Erforschung der aquatischen Vielfalt auf all ihren Ebenen. Auf Ebene der Ökosysteme heißt das Quellen, Flüsse, stehende Gewässer und Meer; auf dem Niveau der Artenvielfalt und auf der genetischen Ebene werden sämtliche im Wasser lebenden Tiere und teilweise auch Pflanzen berücksichtigt. Die Verknüpfung zwischen genetisch-evolutionären Strukturen der Organismen und Populationen mit den Eigenschaften der Habitate führt zu einem umfassenden Verständnis ökologischer Prozesse. Dieses Vorgehen erfordert die Kombination klassischer ökologischer und moderner molekularbiologischer Methoden. Grundlagenforschung steht dabei ebenso auf dem Plan wie Fragen der Anwendung, wobei die enge Kooperation mit benachbarten Einrichtungen der TUM wertvolle Hilfe leistet.

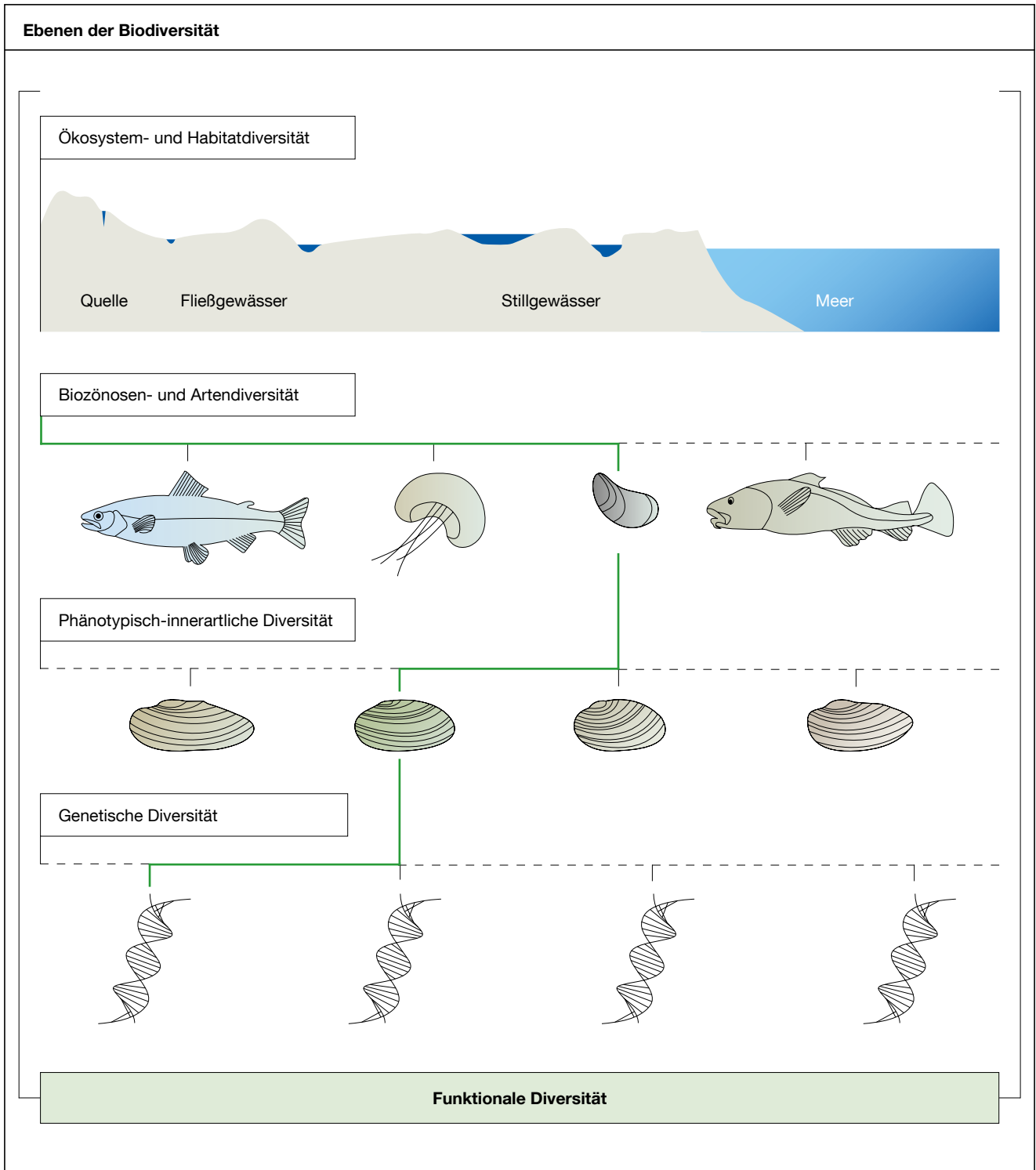
Bayern ist das wasserreichste Bundesland: 143.000 Hektar ist seine Wasserfläche groß, und die Länge der mindestens einen Meter breiten Fließgewässer erreicht gut 70.000 Kilometer. Allein dieser natürliche Gewässerreichtum und die Bedeutung von Wasser für den Menschen erklären die zentrale Rolle aquatischer Forschung an der TUM.

Da Süßgewässer, und hier vor allem Fließgewässer, besonders gefährdet sind und vom Menschen stark beansprucht werden, stehen Flüsse und Bäche meist im Vordergrund der Studien. Zentrale Fragen sind hierbei: Wie beeinflussen natürliche und anthropogene Faktoren – etwa Wasserentnahme zur Energiegewinnung, Eintrag von Düngemitteln und Chemikalien oder Fischerei – die Funktionalität dieser Ökosysteme, und zwar räumlich und zeitlich? Welche Faktoren und Prozesse werden wie gesteuert (Forschung) bzw. lassen sich wie steuern (Anwendung)? Welchen Einfluss hat das auf Biodiversität und Produktivität der Gewässer? Wie sehen wirksame Strategien zum Schutz der aquatischen Biodiversität aus und wie sind sie zu entwickeln?

### **Auf den Grund gehen**

Ein in der Forschung lange vernachlässigtes Habitat ist das Flussbett. „Dabei ist die Beschaffenheit des Substrats ein Schlüsselfaktor für die Gesamtgesundheit aquatischer Ökosysteme“, erläutert Jürgen Geist. „Und gerade die Sohle von Flüssen und Bächen wird durch die Gewässerverschmutzung stark in Mitleidenschaft gezogen.“ Wenig ist bekannt darüber, welche Prozesse im Sediment ablaufen, was konkret die Qualität dieser Habitate bestimmt. Die Arbeitsgruppe Geist ergründet Gewässersubstrate umfassend durch kombinierte Bestimmung physiko-chemischer und biologischer Indikatoren. Dazu nutzen die Wissenschaftler zum Beispiel eine hauseigene Entwicklung, das „Egg-Sandwich“: kleine Käfige, die, bestückt mit Fischeiern, im Sediment versenkt werden.

Als biologische Indikatoren für die Wasserqualität fungieren Fische und Krebse, Muscheln, Insektenlarven und Kleinstlebewesen – allesamt keine typischen „Haustiere“ der Biologie. Die Weihenstephaner Wissenschaftler können in der Regel also weder Standard-Testkits noch etwa molekulargenetische Marker aus einer Gen-Datenbank nutzen. Zu Beginn vieler Pro- ▷





Fotos: Eckert / Heddergott, TUM

**Egg-Sandwich: eine Eigenentwicklung der Wissenschaftler zur Untersuchung der Gewässersubstrate.** Basismodul des „Egg-Sandwich“ sind zwei aneinander gekoppelte würfelartige Kammern aus Aluminiumgitter. Eine enthält ein befruchtetes Forellenei, aus der zweiten werden über perforierte PVC-Schläuche Wasserproben gezogen und auf pH, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, gelösten Sauerstoff, Nitrit und Nitrat, Ammonium und Redoxpotenzial geprüft. Jedes Sandwich enthält 112 solcher Module und wird vertikal in verschiedene Tiefen des

jekte heißt es darum, erst einmal die passende Methode zu entwickeln. Gemeinsam mit Kollegen aus der Molekularen Zoologie werden beispielsweise Mikrosatelliten und mitochondriale Marker etabliert, die für populationsgenetische Studien nötig sind. Für verschiedene Muschel- und Fischarten ist das bereits geschehen; so haben TUM-Wissenschaftler als Erste Mikrosatelliten-Marker für Perlmuschel und Teichmuschel isoliert und charakterisiert. Mit deren Hilfe gewinnen sie Einblick in die genetische Struktur der Populationen und können nachvollziehen, wie die langlebigen Mollusken Europa nach der letzten Eiszeit besiedelten, wie sich menschliche Einflüsse auf das genetisch-evolutive Potenzial dieser Arten auswirken und wie sich Schutzstrategien optimieren lassen. Von diesen Entwicklungen aus der Forschungsstation an der Moosach profitieren Forscher in aller Welt.

### **Behäbige Weichtiere**

Süßwassermuscheln, die insgesamt zu den am stärksten bedrohten Tieren der Welt zählen, gehören in der Arbeitsgruppe Geist zur ganz normalen Versuchsauna. Dennoch besteht zwischen den behäbigen Weichtieren und dem agilen Juniorprofessor ein besonderes Verhältnis: Flussperlmuscheln waren es, die ihn zur wissenschaftlichen Beschäftigung mit Wasser und seinen tierischen Bewohnern brachten. Der heute 33-Jährige überbrückte die Zeit zwischen Bundeswehr und Studium mit einem Projekt am Wasserwirtschaftsamt seiner Heimatstadt Hof. Forschungsgegenstand war die

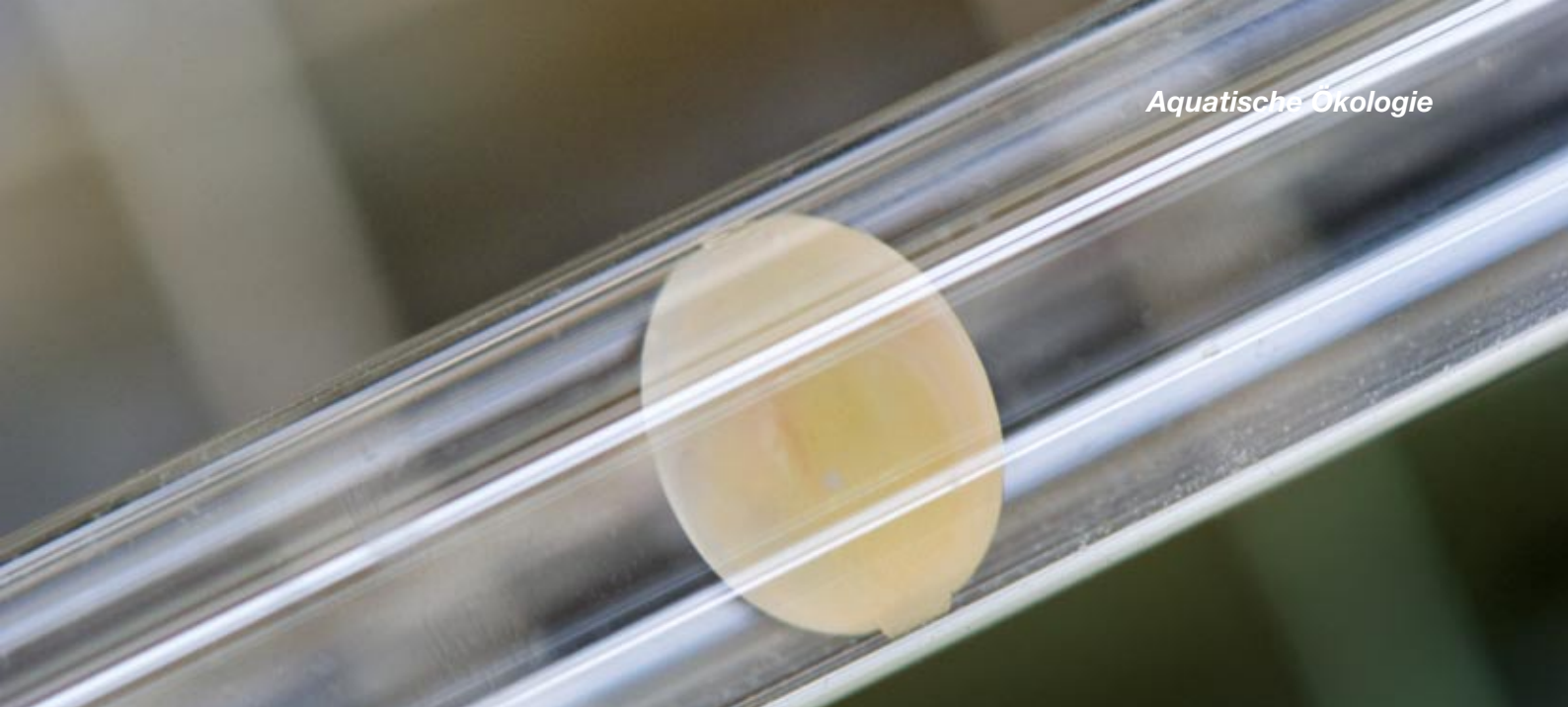
Flussperlmuschel. Und die enge Beziehung dauert an: An seiner Juniorprofessur ist die global vernetzte Koordinationsstelle für den Muschelschutz angesiedelt.

### **Hohe Ansprüche an die Wasserqualität**

Muscheln stellen hohe Ansprüche an die Wasserqualität, an den Bestand an Wirtsfischen und an das Substrat. Das macht sie zu idealen Indikatoren für den Zustand und die Gesundheit von Gewässern. Vielerorts versucht man, sie zu schützen oder wieder anzusiedeln. Dazu muss man aber nicht nur ihre Bedürfnisse kennen, sondern auch ihre genetische Vielfalt und deren räumliche Verteilung. Solches Wissen erarbeiten die Wissenschaftler mit ihren molekulargenetischen Analysen etwa zur genetischen Diversität und Differenzierung der Flussperlmuschel.

Diese früher in Europa weitverbreiteten Tiere sind auf sehr wenige Populationen zusammengeschrumpft. Doch Muscheln punkten mit enormer Reproduktionsfähigkeit und Langlebigkeit – mehrere Millionen Larven können sie pro Jahr produzieren und über 100 Jahre alt werden. Jürgen Geist schlägt eine stärkere Fokussierung der Schutzbemühungen auf besonders wertvolle Populationen vor und ist sich sicher: „Wenn sofort etwas geschieht, kann die Flussperlmuschel sich wieder erholen.“

Im Umgang mit den oft unter Schutz stehenden Arten müssen die Wissenschaftler besonders behutsam sein, etwa beim Sammeln von Material für die DNA-Tests. Von Fischen reicht etwas Schuppenmaterial, Muscheln



Sediments eingesetzt. Als Referenz dienen Eier in einer Box, die im fließenden Wasser über dem Sediment schwimmt. Sind die Jungfische in der Box geschlüpft, wird das Egg-Sandwich entnommen und geöffnet. Lebende Jungfische in den Kammern zeigen gute Substratbedingungen an. Tote Fische bedeuten zwar gute Bedingungen für die Eientwicklung, jedoch schlechte im späteren Stadium. Abgestorbene Eier weisen auf schlechte Bedingungen während der Eientwicklung hin

kann man mit etwas Übung eine kleine Menge Hämolymphe abnehmen. Manchmal genügen auch alte Schalen, deren DNA mit derjenigen frei lebender Tiere – für deren Entnahme die Wissenschaftler eine behördliche Sondergenehmigung brauchen – verglichen wird.

Die Daten zeigen Zusammenhänge von Veränderungen der Habitatbedingungen und genetischen Effekten. Auch lässt sich aus Vergleichen der DNA aus alten Schalen mit rezenten Vorkommen erkennen, welche Populationen am besten zur Wiederansiedlung geeignet sind. Damit allerdings aus dem Material verlässliche Daten generiert werden konnten, war zunächst wie-

derum wissenschaftliche Pionierarbeit zu leisten: Um die Bedeutung längerfristiger äußerer Einflüsse auf die Schalen zu bewerten, wurden beispielsweise die Größe der Schalenstücke, die Art ihrer Zerkleinerung und verschiedene DNA-Extraktionsmethoden unter die Lupe genommen.

Muschellarven müssen sich während ihrer Entwicklung eine Zeit lang – je nach Art zwischen einem und zehn Monaten – in den Kiemen von Wirtsfischen einnisten. Eine Wiederansiedlung von Muscheln kann daher nur erfolgreich sein, wenn beide Arten gemeinsam betrachtet werden. Nur wenige Studien aber widmen sich ▶

#### Perlmuschel und Bachforelle

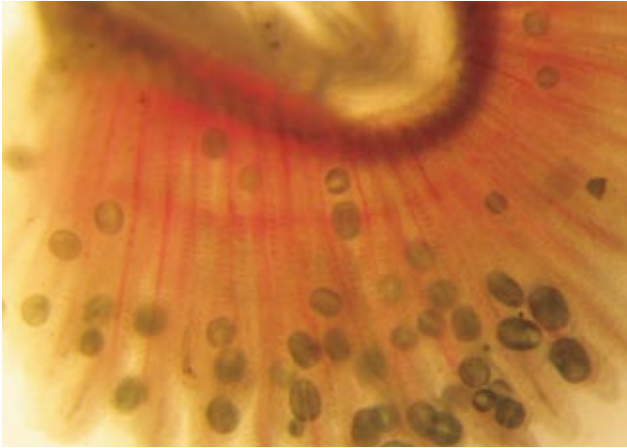
Mithilfe von Mikrosatelliten-Markern fahndeten die Wissenschaftler nach Unterschieden in der genetischen Vielfalt und der genetischen Ausprägung von Bachforellen und Flussperlmuscheln aus neun europäischen Flusssystemen. Da beide Arten im selben Habitat leben und interagieren, wären ähnliche Muster der genetischen Ausstattung zu erwarten.

Jedoch erreicht die Differenzierung bei den Muscheln einen höheren Grad – sie haben relativ wenige Genotypen ausgeprägt und sind damit genetisch eingeschränkt, weniger flexibel. Die Fische dagegen verfügen über eine hohe genetische Diversität, also eine relativ große Anzahl an Genotypen, und können sich daher leichter an verschiedene äußere Bedingungen anpassen.

Die höhere Differenzierung der Muscheln beruht wahrscheinlich auf deren starker Spezialisierung, die ihre Ausbreitung beschränkt. Dies führt zu Isolation und Fragmentierung. Der Genfluss innerhalb der

Populationen ist somit geringer als bei den wesentlich mobileren Fischen. Während Forellen mit drei bis vier Jahren geschlechtsreif werden und sich dann rund drei Jahre lang jährlich fortpflanzen, brauchen Perlmuscheln 12 bis 15 Jahre bis zur Geschlechtsreife und vermehren sich nicht jedes Jahr – dafür aber etwa 75 Jahre lang mit jeweils mehreren Millionen Larven. Zudem können weibliche Perlmuscheln bei niedriger Populationsdichte zum Zwitter werden. Diese Faktoren tragen sicher zu der nur mäßigen genetischen Vielfalt innerhalb der Muschelpopulationen bei.

Die Studie der Weihenstephaner Wissenschaftler zeigt, dass eine große genetische Diversität des Wirtsfisches – die es ihm erlaubt, produktivere Habitate aufzusuchen – nicht zwangsläufig auch eine hohe genetische Variabilität bei der Muschel bedeutet. Schutzmaßnahmen sollten dort Priorität haben, wo die Muscheln die höchste genetische Diversität besitzen.



**Die Larven der Flussperlmuschel** (sog. Glochidien) müssen sich zur weiteren Entwicklung für einen Zeitraum von bis zu zehn Monaten an den Kiemen eines geeigneten Wirtsfisches anheften

#### Koordinationsstelle Muschelschutz

Im Jahr 2008 wurde im Rahmen der Artenhilfsprogramme des Bayerischen Landesamts für Umwelt an der Juniorprofessur für Funktionelle Aquatische Ökologie und Fischbiologie die Koordinationsstelle für den Muschelschutz eingerichtet. Sie ist mit Universitäten rund um den Globus vernetzt, um die Ergebnisse der Muschelforschung zu bündeln.

Gleichzeitig vermittelt die Koordinationsstelle, wie sich die Forschungsergebnisse im Artenschutz für die heimischen und vom Aussterben bedrohten Muscheln anwenden lassen. So berät ein eigens eingestellter Experte Behörden etwa bei Bauvorhaben im Gewässerbereich. Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit unterstützt das Projekt für fünf Jahre mit knapp einer halben Million Euro.

den komplexen genetischen und ökologischen Interaktionen zwischen verschiedenen Arten desselben Habitats. Intuitiv glaubt man, was einer Art nützt, komme auch anderen Arten des Ökosystems zugute. Wieder waren die TUM-Forscher die Ersten, die eine enge zwischenartliche Beziehung unter genetischen Aspekten untersuchten – Perlmuschel und Bachforelle. Ergebnis: Die Muscheln sind stärker genetisch differenziert als ihre Wirtsfische, und die genetische Diversität beider Arten ist negativ korreliert. „Dieses Muster beruht vermutlich auf den unterschiedlichen ökologischen Nischen und der Lebensweise beider Arten“, erklärt Geist. „Das Beispiel zeigt, dass solche Unterschiede starke Effekte auf die genetische Diversität der Arten innerhalb eines Ökosystems haben können. Deshalb kann ein wirksamer Schutz der Biodiversität nur funktionieren, wenn man genetische Informationen von Arten mit verschiedenen Lebensweisen gemeinsam betrachtet.“

#### Fressen und gefressen werden

Als weiteren Schwerpunkt der Forschungen nennt Geist aquatische Nahrungsnetze. „Bisher fragte man meistens nur: Wer frisst wen? Wir dagegen fragen auch: Wer frisst wie viel? Das ist für zwei Prozesse wichtig zu wissen: wenn es um das Aussterben von Arten geht und um die Ansiedlung von Invasoren, von Neobiota. Wir wollen wissen, wie sich solche Vorgänge auf das Nahrungsnetz eines Gewässers auswirken.“ In Kooperation mit dem Lehrstuhl für Grünlandlehre kombinieren die Wissenschaftler Feldbeobachtungen mit der Analyse stabiler Isotope von Kohlenstoff und Stickstoff etwa aus Muskelgewebe von Fischen. Ihre Isotopenanalysen

**Die Kesslergrundel** (*Ponticola kessleri*) – ein Neozoon in der bayerischen Donau. Der reisefreudige Fisch ist aus dem Schwarzen Meer hunderte Kilometer nach Westen gewandert und vermehrt sich nun massenhaft in seinem neu eroberten Lebensraum



decken das gesamte Nahrungsnetz ab – von Pflanzen über Flohkrebse, Fischlarven und Friedfische bis zu Raubfischen wie Hecht oder Wels.

Grundeln, kleine Fische, die in großer Zahl aus dem Raum um das Schwarze Meer in die obere Donau eingewandert sind und sich rasant ausbreiten, sind Thema eines von der DFG geförderten Projekts. Mancherorts machen sie bereits mehr als die Hälfte der Fisch-Biomasse aus. Anhand der Isotopenanalysen kann man sagen, ob und wie diese Neozoen sich ins Nahrungsnetz einfügen. Ihr Mageninhalt verrät, was sie in der Donau fressen, Isotope aus dem Gewebe geben zu erkennen, wovon sie sich früher ernährt haben. Ein weiteres Beispiel für Invasoren, die das ausbalancierte Beziehungsgefüge von Gewässern durcheinanderbringen können, ist der „Killer-Shrimp“: ein Höckerflohkrebs aus dem Schwarzmeergebiet, der sich im Bodensee und seit etwa zwei Jahren auch im Starnberger See ausbreitet und die Nahrungsnetze empfindlich stören könnte.

### Blick in das Gewässer-Zeitarchiv

Isotopenanalysen lassen sich auch dazu heranziehen, aus Fischzuchten entkommene Forellen von Wildformen zu unterscheiden: Gezüchtete Fische werden in der Aquakultur mit Pellets gefüttert, die viel Fischmehl und -öl aus Meeresfischen enthalten. Darüber hinaus lässt sich mithilfe von Muschelschalen über Isotopenanalysen sogar ein regelrechtes Gewässer-Zeitarchiv erstellen: Da die Weichtiere sehr alt werden, sind in ihren Schalen auch lange zurückliegende Veränderungen gespeichert. Ein von der Arbeitsgruppe Geist entwickeltes thermisches Verfahren erlaubt es, die verschie-

denen Schichten der Schalen – die quasi „Jahresringe“ bilden – voneinander zu trennen und einer Isotopenanalyse zugänglich zu machen.

### Alle Disziplinen sind eingebunden

„Bei diesen Arbeiten kommt es uns zugute, dass an der TUM für ganz verschiedene, ineinandergreifende Aspekte der Gewässerforschung Experten versammelt sind. Hier wird nicht nur die ökologisch-systembiologische Seite mit Limnologie und Grundwasserökologie abgedeckt, sondern auch die technisch-ingenieurwissenschaftliche Seite – ein besonderes Alleinstellungsmerkmal“, betont Geist. Mit Kollegen der University of California geht seine Gruppe Fragen der ökologischen Risikobewertung an. Anhand von – natürlich selbst zu entwickelnden – Biomarkern für Stress wird der Einfluss von Schadstoffen wie Schwermetallen oder Insektiziden bestimmt. Denn der pure Nachweis solcher Substanzen sagt noch nichts aus über die Folgen für die Biozönose. Um die schwierig einzuschätzende toxikologische Relevanz zu bestimmen, werden Stressreaktionen von Fischen auf Umweltbelastungen ermittelt und zur Konzentration der Substanzen in Beziehung gesetzt. Welche Gene werden an- oder abgeschaltet, verstärkt exprimiert oder heruntergeregelt, und wie korreliert das mit Veränderungen im Verhalten der Tiere? In schwermetallhaltigem Wasser etwa produzieren Fische Substanzen, die das Schwermetall binden, sodass es sich leichter ausscheiden lässt. Sind die entsprechenden Gene besonders aktiv, weist das also auf Schwermetall im Wasser hin. Die simultane Analyse vieler derartiger Stressantworten ergibt ein Muster ▷

**Der aus Nordamerika** stammende Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*, links) überträgt die Krebspest, eine Bedrohung für heimische Krebsarten. Der Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) wurde in den letzten Jahren erstmals in voralpinen Seen nachgewiesen





Bei der **Elektrofischung** wird Gleichstrom ins Wasser geleitet. Die Fische werden dabei zur Anode angezogen und kurzfristig betäubt. Nach Abschluss der Untersuchungen setzen sie die Wissenschaftler unbeschadet ins Gewässer zurück

Foto: Eckert / Heidegott, TUM

des Schadstoffgehalts im Wasser. Die Ergebnisse werden verknüpft mit Daten zur Mortalität und subletalen Parametern wie Wachstum, Schwimm- oder Reproduktionsverhalten der Fische.

Die Effekte kurzzeitiger Expositionen gegen Insektizide waren Thema von Studien mit der San Diego State University und der University of California in Berkeley und Davis. Denn, so die Hypothese der Wissenschaftler, nicht (nur) die üblicherweise untersuchte Langzeitbelastung durch chemische Substanzen ist relevant, sondern vor allem der kurzzeitige Kontakt, wie er etwa nach Regenfällen typisch ist. Die Fische werden in ihrem Fressverhalten beeinträchtigt, was zu vermindertem Wachstum führt und die Gefahr erhöht, Feinden zum Opfer zu fallen. Der Verdacht bestätigte sich: Die subletalen Effekte kurzzeitiger Exposition bei geringer Konzentration sind ernst. Bisher werden solche Effekte

im Zulassungsprozedere für Pestizide kaum berücksichtigt. Wie die Versuche beweisen, kann das unter Umweltaspekten in falscher Sicherheit wiegen.

### **Renaturieren – aber wie?**

Flüsse sind die Ökosysteme, die der Mensch am stärksten nach seinen Bedürfnissen umgestaltet hat. Tiefgreifende „Regulierungen“ haben die Strömungseigenschaften und damit auch die Anzahl und das Artenspektrum der Fauna verändert. Jetzt versucht man, mit kostspieligen Renaturierungsmaßnahmen wieder naturnahe Verhältnisse zu schaffen – bisher jedoch häufig ohne Konsens, wie eine sinnvolle ökologische Restaurierung eigentlich aussieht. „Um bei Flussrestaurierungen erfolgreicher zu sein, muss man mehr darüber wissen, wie Fische ihr Habitat nutzen“, erläutert Geist. „Man darf nicht nur ganze Ströme mit großen



**Insektizidtest**

Larven von Elritzen wurden 24 Stunden lang verschiedenen Insektizidkonzentrationen ausgesetzt; mit genetischen Markern für zelluläre Stressantworten wie die Produktion von Hitzeschockproteinen oder die Aktivierung von Detoxikationsmechanismen wurde dann in Leber, Milz, glatter Muskulatur, Niere und Kiemen nach gewebespezifischen Veränderungen im Transkriptom\* gesucht. Die stärksten Effekte fanden sich in der Leber. Das Wachstum der Tiere nahm mit steigender Konzentration des Insektizids ab; mittlere und vor allem höhere Konzentrationen führten zu abnormem Schwimmverhalten. Je höher die Konzentration, desto leichter wurden die Larven Beute von Fressfeinden. Zwar erwiesen sich die subletalen Effekte als weitgehend reversibel, doch können sich in natürlicher Umgebung auch kurze Störungen gravierend auswirken. Gerade die larvale Wachstumsphase ist aber extrem wichtig für eine Population.

\*Das Transkriptom ist die Summe der Gene, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer Zelle von DNA in RNA umgeschrieben werden, also aktiv sind.

Restaurierungsmaßnahmen betrachten, denn das lässt sich nur selten auf kürzere Abschnitte übertragen. Viel häufiger geht es darum, durch kleine Eingriffe wie modifizierte Uferbereiche natürliche Habitats wiederherzustellen.“

Den Auswirkungen auf die Artzusammensetzung ober- und unterhalb von Wehren gilt eine Studie an der Günz. Dieser in die Donau mündende, vielfach von Querbauwerken zerteilte Fluss ist typisch für Flüsse, aus denen Wasserkraft gewonnen wird. In dem zwischen zwei

Wehren gelegenen Untersuchungsabschnitt wurden zunächst die dort lebenden Fischarten bestimmt. Für solche Einsätze steht ein Boot mit Elektrofisch-Generator bereit: Eine Anode zieht die Fische geradezu magisch an; die leicht betäubten Tiere können eingefangen, untersucht und wieder freigelassen werden. 20 Arten wurden gefunden. Das beweist, dass auch stark veränderte Flüsse einer Vielfalt an Tieren Lebensraum bieten können. Doch handelt es sich vor allem um ubiquitäre Generalisten, die keine großen Ansprüche an ihren Lebensraum stellen. Spezialisten wie Nasen und Barben dagegen, die nur eine geringe Bandbreite an Bedingungen tolerieren, kommen kaum vor. „Es scheint unmöglich, dass diese Arten sich dort erfolgreich fortpflanzen können, solange ihr Habitat den Ansprüchen nicht genügt“, meint Geist.

Solche anwendungsbezogenen Arbeiten machen ihn zu einem gefragten Ansprechpartner nicht nur für Wissenschaftlerkollegen. Auch Ämter und Behörden greifen gern auf die Expertise des Juniorprofessors zurück und lassen sich beraten: Worauf ist bei Eingriffen zu achten, wie soll man vorgehen, welche Maßnahmen sind geeignet? Hier fließen letztlich unzählige Details aus den weit gefächerten Forschungsprojekten seiner Arbeitsgruppe zusammen und helfen, das komplizierte Gefüge aquatischer Ökosysteme zu verstehen und die Erkenntnisse in praktischen Nutzen umzusetzen. Oder wie Jürgen Geist ganz nüchtern sagt: „Unser Auftrag besteht vor allem darin, einen Beitrag zu leisten zum Verständnis des Systems Wasser, das für das gesamte Leben so wichtig ist.“

*Sibylle Kettembeil*

**Glossar**

**Biodiversität**

oder biologische Vielfalt bezeichnet die Variabilität von Organismen auf drei Ebenen: Die genetische (innerartliche oder intraspezifische) Vielfalt umfasst die Anzahl der unterschiedlichen Genotypen innerhalb einer Art; die Artenvielfalt (zwischenartliche oder interspezifische Vielfalt) ist ein Maß für die Vielfalt der biologischen Arten innerhalb eines Lebensraums und gibt die Vielfältigkeit von Flora, Fauna und Mikroorganismen an; die Ökosystemvielfalt (Biotopvielfalt) bezeichnet die Vielgestaltigkeit der Lebensräume.

**Isotopenuntersuchungen**

dienen zur Bestimmung des Anteils verschiedener Isotope eines Elements in einer Probe mittels Massenspektrometrie. Isotope sind Atome desselben Elements, die sich in der Anzahl ihrer Neutronen unterscheiden. Die meisten natürlich vorkommenden Elemente bilden ein oder wenige stabile Isotope, während die übrigen Isotope instabil (radioaktiv) sind. Kohlenstoff (C) hat zwei stabile Isotope:

12C (98,98 %) und 13C (1,11 %). Das Mengenverhältnis der beiden Isotope in biologischem Material erlaubt Rückschlüsse etwa auf die Art der Ernährung. Stickstoff (N) hat die stabilen Isotope 14N (99,63 %) und 15N (0,366 %). Biologische Materialien reichern das 15N an, zum Beispiel in der Nahrungskette. Fleischfresser als letztes Glied der Nahrungskette zeigen die höchsten 15N-Werte.

**Mikrosatelliten**

sind kurze DNA-Sequenzen aus ein bis fünf Basenpaaren, die in vielen Kopien über das Genom verteilt sind. Ihre Anzahl in einem DNA-Abschnitt ist ein individuelles Merkmal. Deshalb lassen sich Mikrosatelliten gut als molekulare Marker für Unterschiede zwischen Individuen nutzen.

**Subletale Effekte**

sind Beeinträchtigungen der körperlichen Unversehrtheit, die nicht zum Tod führen.

# Schwarze Schwäne und Schneeglöckchen im Herbst

Trauerschwäne und Schneeglöckchen würde man eher nicht zu den klassischen Themen der Mathematik zählen. Doch nicht zufällig interessieren sich ausgerechnet Statistiker und Stochastiker für die Vogeltiere und Frühblüher

**D**er Finanzmathematiker und Börsenexperte Nassim Taleb widmete schwarzen Schwänen gleich ein ganzes Buch, das es dauerhaft an die Spitze der internationalen Bestsellerlisten schaffte. Doch richtet sich sein Werk nicht an Freunde der Vogelwelt, sondern an Fachkollegen, Finanzmanager sowie Vertreter anderer Disziplinen, die sich mit Wahrscheinlichkeitstheorie oder Risikoforschung befassen. Schwarze Schwäne stehen bei Taleb für Ereignisse, die das an den Erfahrungshorizont geknüpfte Vorstellungsvermögen sprengen und demnach überhaupt nicht einkalkuliert werden. So wie die Menschen der westlichen Welt bis ins 17. Jahrhundert felsenfest davon überzeugt waren, dass Schwäne weiß sind, weil sie bis zur Entdeckung Australiens und seiner Tierarten keine Trauerschwäne gesehen hatten. Metaphorisch gesehen wimmelt die Welt von schwarzen Schwänen, behauptet Taleb. Doch erscheinen solche Manifestationen des Unwahrscheinlichen nicht immer so positiv wie die Entdeckung einer neuen Vogelart oder die überraschende Erfolgsgeschichte der Internetsuchmaschine Google. Es kann sich ebenso um statistische Ausreißer mit katastrophalen Folgen handeln wie Tsunamis, Erdbeben, Wirbelstürme oder eben auch Immobilienkrisen mit anschließenden Börsencrashes.

Schwarze Schwäne tauchen auch in der Arbeit von Claudia Klüppelberg mit schöner Regelmäßigkeit auf. Die Professorin leitet den Lehrstuhl für Mathematische Statistik am TUM-Zentrum für Mathematik und beschäftigt

sich mit Extremwerttheorie, wobei sie stochastische Modelle zur Beschreibung solcher Ausreißer in der Statistik entwickelt. Weil extreme Ereignisse sehr selten auftreten, verfügen Klüppelberg und ihre Kolleginnen und Kollegen über nur sehr wenige Daten für ihre Modelle.

## Ausreißer berechenbar machen

„Das macht die Angelegenheit hochkompliziert“, sagt sie über ihre Versuche, durch mathematische Formeln den Ausreißern aus der Statistik ihre Unberechenbarkeit zu nehmen. „Wenn dann durch ein neues extremes Ereignis Daten zu den bisherigen dazukommen, verändert sich die Risikoeinschätzung – das mag niemand“, beschreibt sie das Grundproblem, das ihrer Disziplin unter Mathematikern auch lange Zeit den Ruf bloßer Kaffeesatzleserei beschert hat. Durch die enormen wirtschaftlichen Folgen von Katastrophen hat sich das Ansehen dieses Zweigs der Mathematik allerdings deutlich gebessert. Inzwischen gehört die Extremwerttheorie zum Standardrepertoire von Risikomanagern, die große Schäden und deren Auswirkungen abschätzen müssen. Heutzutage finden ihre Modelle in vielen Gebieten Verwendung: angefangen beim Risikomanagement der Banken und Versicherer über die Klimaforschung bis hin zu den Ingenieurwissenschaften.

## Pioniere der Extremwerttheorie

Viele der Methoden, mit denen Klüppelberg und ihre Kollegen arbeiten, haben ihren Ursprung in der Hydro-



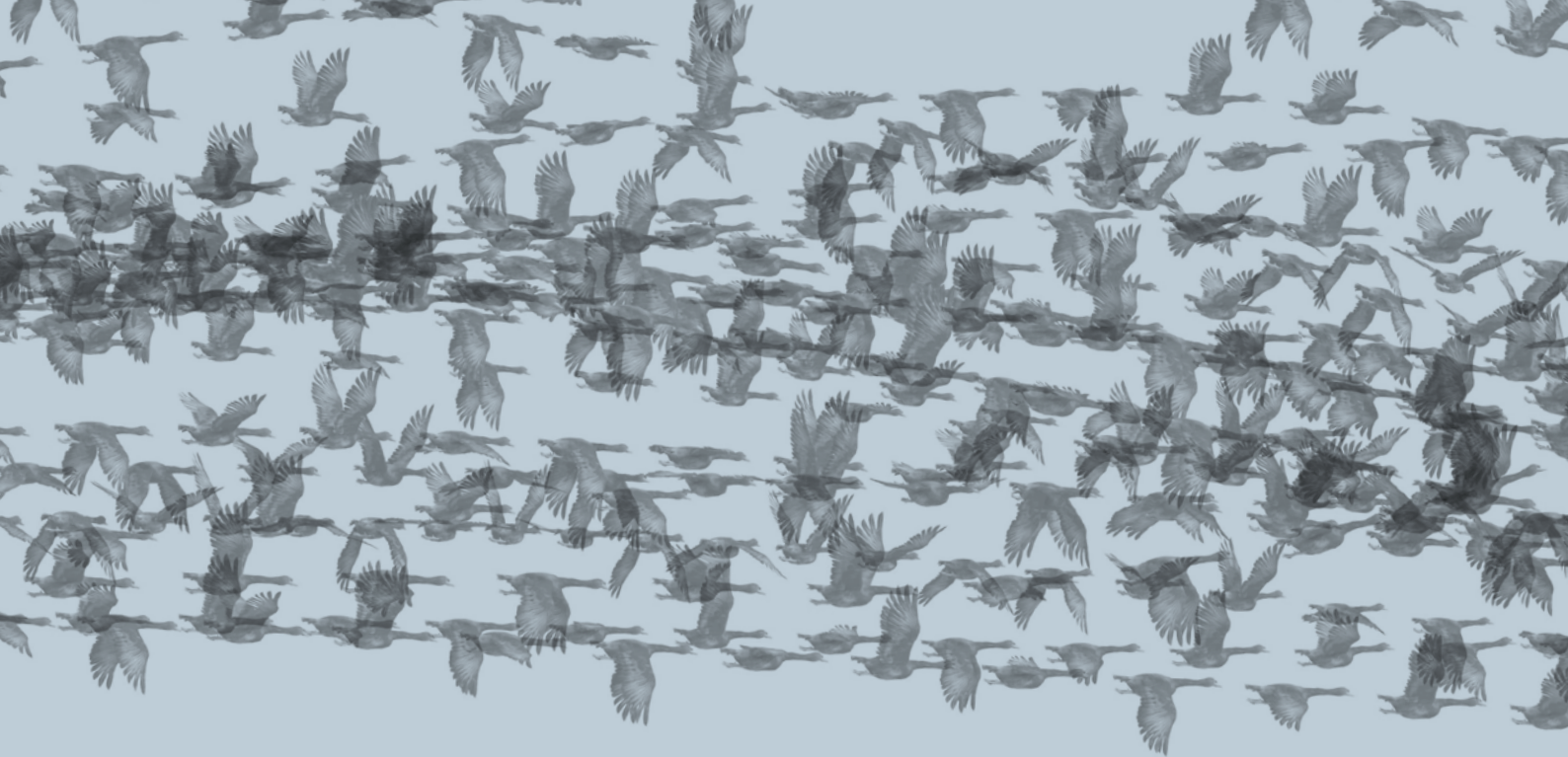
Link

[www-m4.ma.tum.de](http://www-m4.ma.tum.de)

logie. Bei ihrer Suche nach der Formel, mit der sich extreme Pegelstände und ihre Folgen besser einschätzen lassen, wurden Wasserbauingenieure und Deichbauer im Werk des Mathematikers Emil Julius Gumbel fündig. Dieser hatte in den 1950er-Jahren eine Formel zur Berechnung der Höchst- und Tiefststände von Strömungen entwickelt, die den in einem bestimmten Zeitraum zu erwartenden höchsten Messwert bestimmt. Damit gehörte er neben Fisher und Tippett, die die Mathematik der seltenen Ereignisse im Jahr 1928 begründeten, zu den Pionieren der Extremwerttheorie. Denn die Gauß'sche Glockenfunktion, mit der Statistiker ansonsten gewöhnliche Wahrscheinlichkeiten ermitteln, eignet sich so gar nicht für die Extremwertforschung. Der Graph mit dem berühmten Schwung zeigt nur die Normalverteilung der Daten – was durchaus ausreicht, wenn man zum Beispiel herausfinden möchte, wie groß ein Auto sein muss, das der Körpergröße möglichst vieler Menschen angemessen ist. Extreme Werte kommen nur am linken und rechten Ende der Kurve vor. „Doch um wirklich gefährliche Dinge zu berechnen, fällt die Kurve zu ihren Enden hin zu stark ab“, erläutert Claudia Klüppelberg.

Mit seiner Formel hatte Gumbel die statistischen Methoden ausgebaut, die für die Extremwerttheorie noch heute wichtig sind. Von diesen Methoden ausgehend, sucht die Mathematikerin nach Formeln mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten: „Mich interessiert die methodische Weiterentwicklung dieser Modelle für unsere hochkomplexen modernen Probleme, die dynamisch und hochdimensional sind.“

Wie sich herausgestellt hat, eignen sich die Modelle der Hydrologen nicht nur, um die Frage zu beantworten, wie hoch ein Deich sein muss, um höchstens einmal pro Jahrhundert mit einer sehr kleinen Wahrscheinlichkeit überschwemmt zu werden. Sie funktionieren auch in Bereichen, wo durch das Auftauchen unvorhergesehener Ereignisse so manchem plötzlich das Wasser bis zum Hals stand. Schließlich bietet die Dynamik der Finanzmärkte immer wieder Spielraum für Extreme, wie die Geschichte der Börsenabstürze zeigt. Nach Gauß kommt es nur alle 1087 Jahre zu einem Börsencrash. Damit wäre nach dem Wall-Street-Börsendesaster vom 24. Oktober 1929, das die gesamte Weltwirtschaft ins Wanken brachte, für lange Zeit erst einmal wohlverdiente Ruhe gewesen. Ungünstigerweise handelt es sich bei dieser Zahl jedoch um einen bloßen Mittelwert und obendrein spielt auch noch der Zufall beim Zeitpunkt des Eintretens eine Rolle. „Vorausgesetzt, das Modell wäre richtig (was es nicht ist), kann es durchaus passieren, dass zwei Abstürze hintereinanderkommen und dann um die 2000 Jahre Ruhe ist“, so Klüppelberg. ▷



Doch wie die folgenden Jahrzehnte zeigten, stimmt das nicht so ganz. Den Zeitpunkt der nächsten großen Börsenkrise kann die Münchner Statistikerin mit ihren Modellen zwar auch nicht voraussagen, doch lässt sich mit ihnen herausfinden, wie risikobehaftet bestimmte Aussagen sind. Zum Beispiel, wenn es um die Kalkulation von Kreditausfall-, Marktpreis- und operationellen Risiken geht, wie sie seit dem 1. Januar 2007 durch die als Basel II bezeichneten Eigenkapitalvorschriften für alle Kreditinstitute und Finanzdienstleistungsinstitute EU-weit geregelt werden. Gemeinsam mit Kollegen entwickelte Klüppelberg Modelle zur Schätzung des „Value at Risk“, also des absoluten Wertverlusts beispielsweise einer Aktie, der mit einer zuvor definierten – üblicherweise sehr kleinen – Wahrscheinlichkeit innerhalb eines bestimmten Zeitraums nicht überschritten wird. „Extreme Ereignisse in diesem Bereich haben den Vorteil, dass man sie in Euro berechnen kann“, sagt sie. Ihr Modell arbeitet mit Methoden, die nur jene Beobachtungen zur Schätzung heranziehen, die für extremes Verhalten verantwortlich sind. „Also die kleinsten und/oder größten Werte der Stichprobe“, erklärt sie ihre Vorgehensweise frei nach Gumbel.

### „Survival Guide“ für Risikomanager

Heraus kam dabei ein Sachbuch, das wohl als „Survival Guide“ auf den Schreibtischen der Risikomanager in den Versicherungen und Banken nicht fehlen dürfte.

Interessant sind Klüppelbergs Modelle auch für Versicherungsgesellschaften – etwa für die Berechnung von Versicherungsprämien. „Da geht es zum Beispiel darum, den Kumulschaden zu berechnen“, erklärt sie die Anwendung ihrer mathematischen Formeln auf jene Abhängigkeitsverhältnisse, die bei der Einschätzung des Schadens aus Sicht der Versicherer eine Rolle spielen. Ein solcher Schadensfall tritt für die Versicherung auf, wenn zum Beispiel durch einen Wirbelsturm oder Hochwasser mehrere Vertragskunden durch dieselbe Ursache geschädigt wurden und Ansprüche geltend machen.

### Freiraum für die Risikoforschung

Momentan sind es aber weniger Fragen der Finanz- und Versicherungsmathematik, mit denen sich die gebürtige Pfälzerin beschäftigt. Als Carl von Linde Senior Fellow genießt sie am Institute for Advanced Study der TUM eine dreijährige Auszeit vom Hochschulbetrieb mit seinen alltäglichen Zwängen in Lehre und Verwaltung. Das TUM-IAS wurde 2005 gegründet und wird seit 2006 durch die Exzellenzinitiative von Bund und Ländern gefördert. Mittlerweile wurden 20 Fokusgruppen eingerichtet, die sich neben Klüppelbergs Risikoanalyse und stochastischer Modellierung unter anderem mit Fundamentaler Teilchenphysik, der Simulation des menschlichen Gehirns sowie neuen Methoden der Robotik beschäftigen. Am Standort in Garching entwickelt



sich eine hochkarätige Wissensbörse, wo exzellente Wissenschaftler aus der TU München, der forschenden Industrie und dem Ausland einen kreativen Freiraum vorfinden, in dem neue, risikoreiche Forschungsprojekte erlaubt sind. „Für die TUM ist das ein Highrisk-Highreward-Projekt“, sagt Klüppelberg lächelnd. „Schließlich haben wir völlig freie Hand für neue Forschung, wo man am Anfang nicht weiß, ob am Ende etwas Sinnvolles herauskommt.“

### **Blühen Schneeglöckchen bald im November?**

Als Risikoforscherin weiß sie solche Spekulationslust zu schätzen und nutzt sie, um ihre Methoden für neue oder auch seit Langem vernachlässigte Risikoprobleme nutzbar zu machen. „Ich orientiere mich in Richtung Ingenieurwissenschaften, biologische Probleme und Klimaforschung“, beschreibt sie ihre gegenwärtigen Ideen. Beispielsweise hat sie gemeinsame Interessen mit der Ökologin Annette Menzel entdeckt. Unter deren Leitung war unlängst die größte Phänologie-Studie der Welt entstanden, bei der mehrere Dutzend Forscher aus Europa mehr als 125.000 Datenreihen mit Terminen der Blattentfaltung, Blüte, Fruchtreife und Blattverfärbung von rund 550 wild wachsenden und kultivierten Pflanzen analysiert hatten. Sie fanden dabei deutliche Beweise, dass die Klimaänderung die Jahreszeiten bereits verschoben hat. Der Studie zufolge kommt der Frühling inzwischen sechs bis acht Tage früher nach Europa als

noch vor 30 Jahren. „Mit den Methoden der Extremwerttheorie könnte man zum Beispiel untersuchen, ob durch die Erderwärmung die Schneeglöckchen irgendwann schon im November blühen werden oder ob sich der Frühling nicht unbegrenzt vorverlegen lässt“, so Klüppelberg über die vielversprechende Schnittmenge zwischen Ökologin und ihrer Mathematik.

Ein anderes ihrer Projekte befasst sich mit der effizienten Steuerung von Windkraftwerken. Es geht darum, mit Methoden der Extremwerttheorie herauszufinden, wie ein Windkraftwerk optimal gesteuert wird. Denn bislang werden die Rotorblätter häufig vorsichtshalber aus dem Wind gedreht, weil zu starker Wind sie beschädigen könnte. Oft stellt sich im Nachhinein heraus, dass diese Vorsichtsmaßnahme gar nicht nötig gewesen wäre. Bis die Anlage wieder läuft, müssen die Betreiber wertvolle Energie in den Wind schreiben. „Hier muss die optimale Windgeschwindigkeit vorausgesagt werden, um zu wissen, wann eine solche Maßnahme wirklich nötig ist“, beschreibt sie die Aufgabe der Extremwerttheorie bei der Lösung dieses Problems.

Auf welche Ideen Claudia Klüppelberg bis zum Ende ihrer Auszeit noch so alles kommen wird, lässt sich wahrscheinlich nicht einmal mit ihren eigenen Modellen der Extremwerttheorie berechnen – es sind einfach zu viele. Doch was auch immer sie gerade im Sinn haben sollte – Vorsicht ist geboten, wenn sie mal sagt: „Mir schwant da was.“

*Birgit Fenzel*

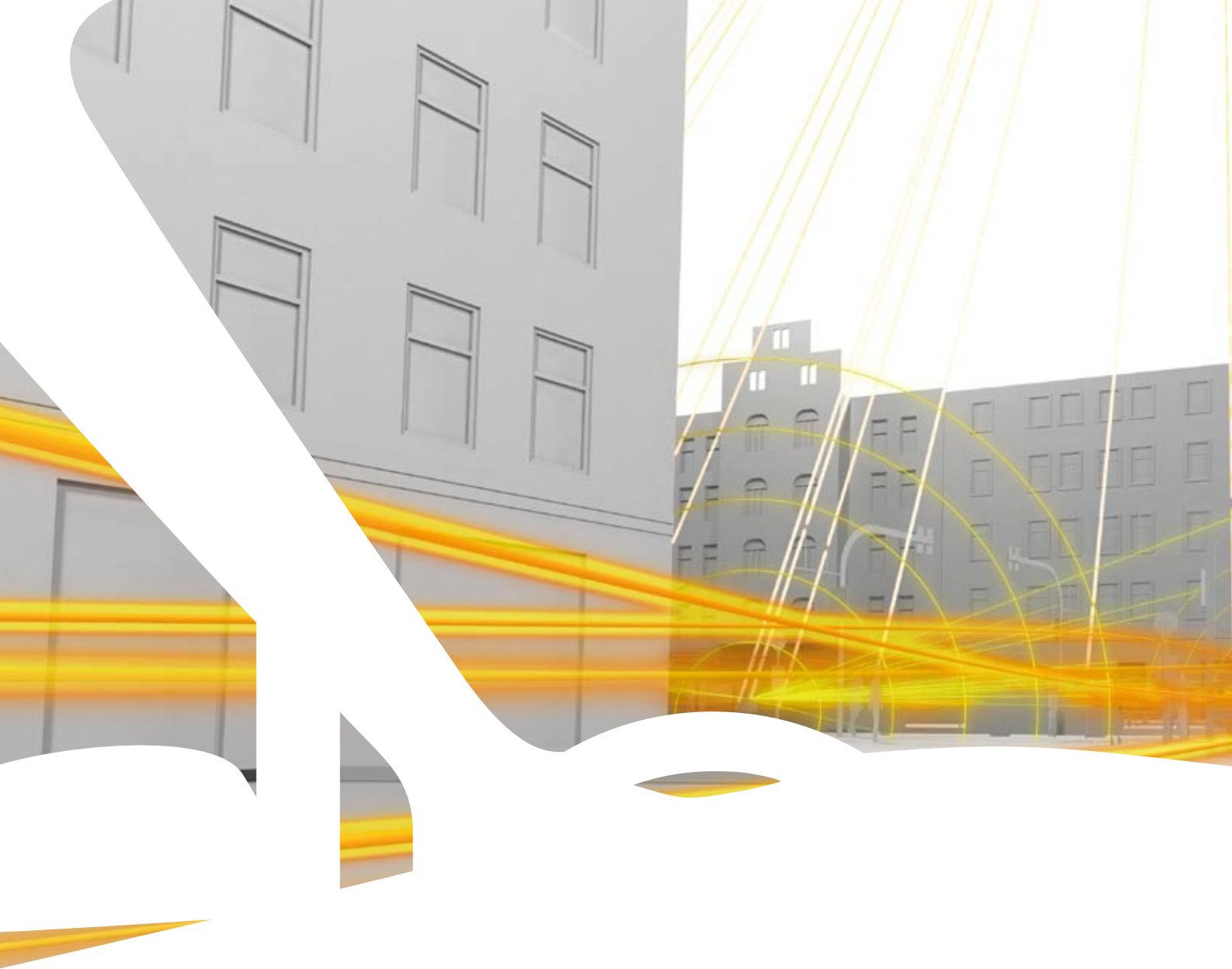
**Links**

[www.vt.bv.tum.de](http://www.vt.bv.tum.de)  
[www.safespot-eu.org](http://www.safespot-eu.org)



# Elektronische Schutzengel

Als Teil eines europaweiten Großprojekts entwickeln TUM-Forscher intelligente Sicherheitsanwendungen, die an Kreuzungen stets den Überblick behalten und Verkehrsteilnehmer vor Gefahren warnen



Innerstädtische Straßenkreuzungen gehören zu den gefährlichsten Orten im Straßenverkehr. Zwar nimmt die Gesamtzahl der Verkehrstoten seit Längerem ab. Auf Deutschlands Straßen kommen laut Statistischem Bundesamt aber immer noch jeden Tag durchschnittlich elf Menschen um, viele davon an Kreuzungen. Zu den Hauptursachen gehören falsches Abbiegen und die Missachtung der Vorfahrt. Vor allem Unfälle, bei denen Fahrzeuge mit Fußgängern oder Radfahrern zusammenstoßen, sind oft folgenschwer. Deshalb sucht die Forschung derzeit mit viel Aufwand nach Mitteln, die Menschen sicherer durch den Straßenschwung der Großstädte bringen.

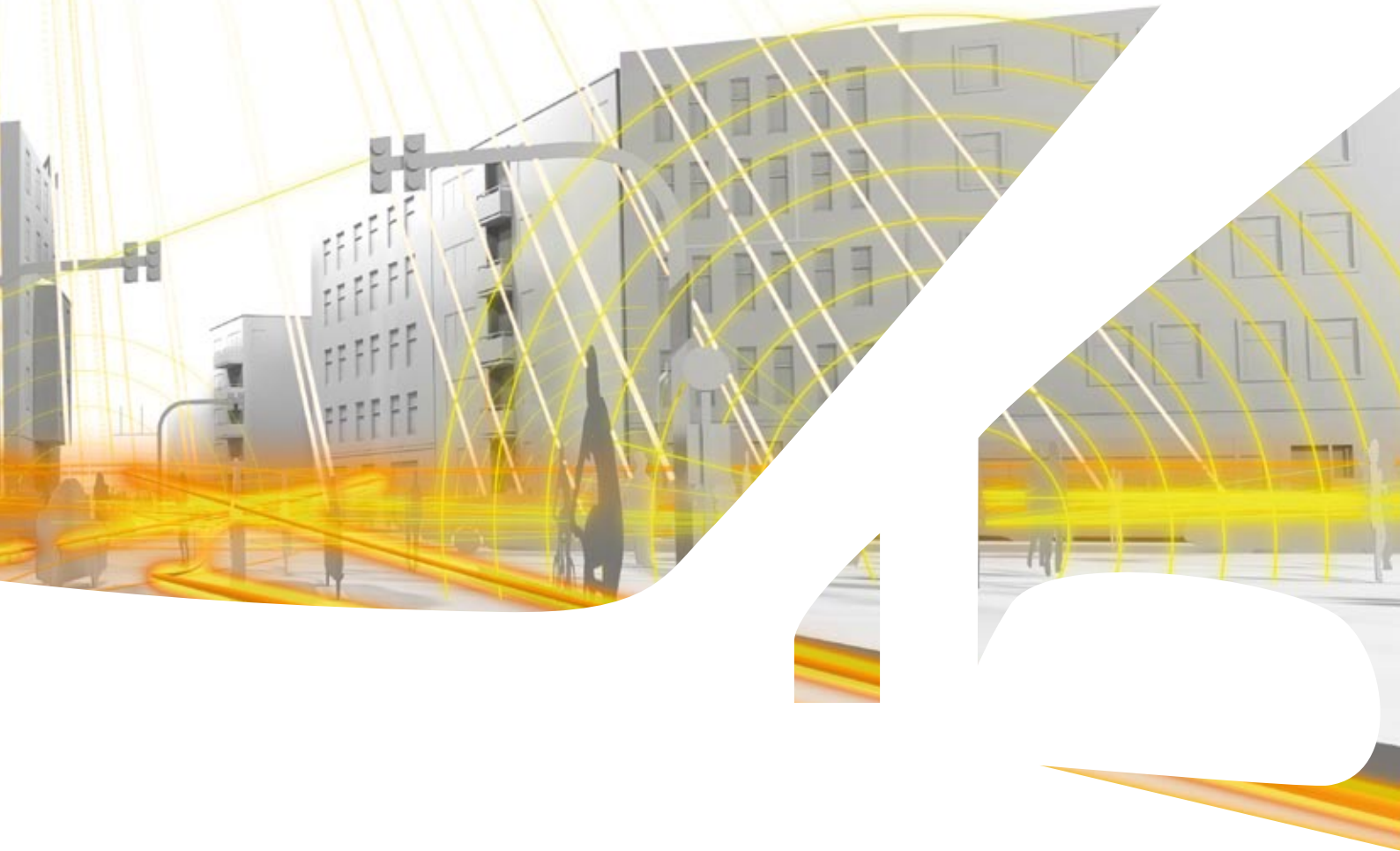
SAFESPOT ist ein von der Europäischen Kommission kofinanziertes und vom European Council for Automotive Research & Development (EUCAR) unterstütztes Projekt, das für mehr Verkehrssicherheit sorgen soll. Mittels einer „räumlichen und zeitlichen Erweiterung des Wahrnehmungshorizonts“, so das ausgegebene Ziel von SAFESPOT, „können potenziell gefährliche Situa-

tionen im Voraus erkannt und somit Straßenverkehrsunfälle vermieden werden.“ Hier geht es nicht etwa um die Herstellung einer Autofahrerdroge. Das Projekt konzentriert sich auf die Fahrzeuge und das Umfeld, in dem sie sich bewegen. Es sollen kooperative Systeme entstehen, die auf der elektronischen Kommunikation zwischen Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (z. B. Ampeln und Verkehrsschildern) basieren. Namhafte Forschungseinrichtungen und Unternehmen der Privatwirtschaft aus 13 Ländern entwickeln die Systeme im Verbund mit verschiedenen Behörden.

### **TUM entwickelt intelligente Kreuzung**

Der Beitrag der Technischen Universität München zu SAFESPOT befasst sich mit der Infrastruktur einer Straßenkreuzung. Am Lehrstuhl für Verkehrstechnik von Prof. Fritz Busch entwickelte ein Team ein System für eine „intelligente Kreuzung“ namens IRIS (Intelligent Cooperative Intersection Safety). Der Projektleiter Tobias Schendzielorz erklärt, wie es funktioniert: „Kurz ▷





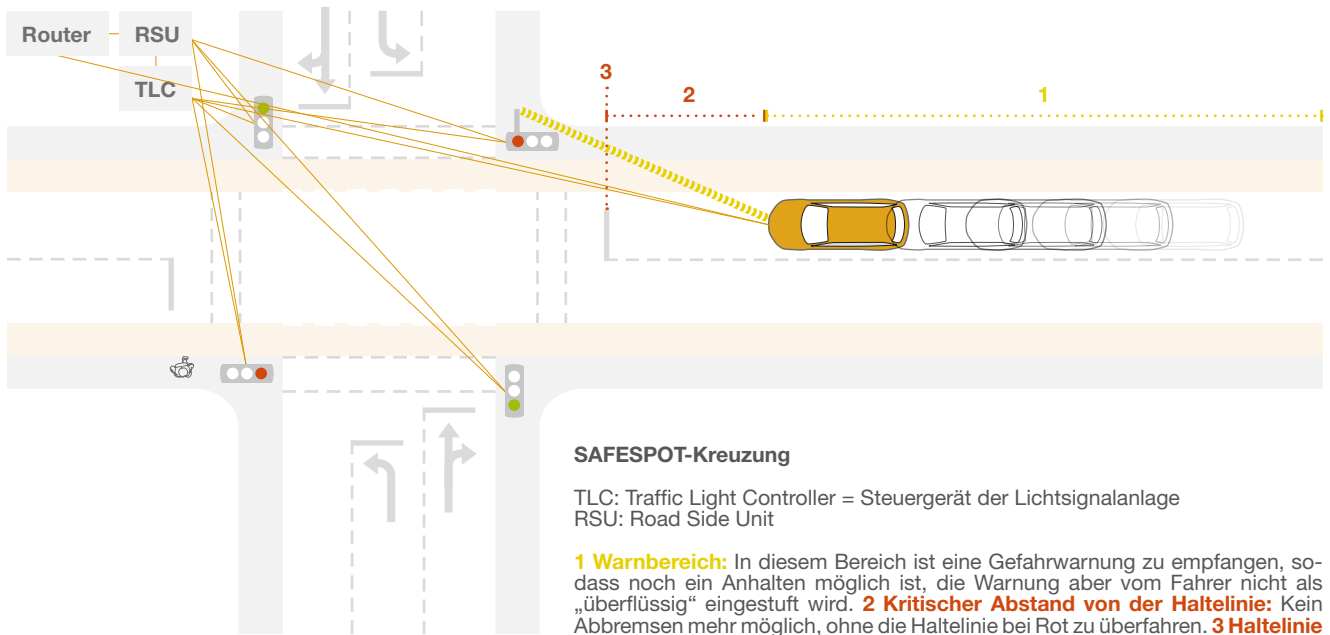
## Das Projekt SAFESPOT

51 europäische Partner aus Forschung und Wirtschaft arbeiten an diesen Anwendungen für einen sichereren Straßenverkehr:

- Sicherheitsabstand und Geschwindigkeitsempfehlung
- Warnung vor Falschfahrern
- Warnung vor Hindernissen und Prävention von Frontalunfällen
- Prävention von Auffahrunfällen
- Sicheres Überholen und Spurwechselassistent
- Prävention von Unfällen durch Abkommen von der Straße
- Warnung vor gefährlichen Kurven
- Warnung bei Fußgängern und Radfahrern
- Warnung vor schlechter Sicht
- Absicherung von Einsatzfahrzeugen (Polizei, Feuerwehr, Krankenwagen)
- Prävention von Kreuzungsunfällen (Beitrag der TUM)

Zusammen mit anderen Projekten zur sogenannten Fahrzeug-zu-X-Kommunikation ist SAFESPOT Teil einer europäischen Task Force zur Erstellung einer einheitlichen Kommunikationsarchitektur für intelligente Transportsysteme.

## Verkehrssicherheit



Grafik: edlundsepp



Fotos: SAFESPOT

**Auf dem SAFESPOT-Testfeld** in Dortmund simulierten die Forscher unter anderem eine Rotlichtverletzung. Hier schickt die Ampel ein Warnsignal an das abgebremst heranführende Auto

gesagt, nutzt unser Prototyp Laserscanner, GPS und Fahrzeugsensorik, um die genaue Position von Autos, Fußgängern und Radfahrern zu erfassen. Eine gemeinsame Plattform regelt die WLAN-Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur und führt die verfügbaren Daten in einer sogenannten Lokalen Dynamischen Karte zusammen. IRIS berechnet voraus, wie sich alle Verkehrsteilnehmer weiterbewegen, leitet daraus potenziell gefährliche Situationen ab und warnt rechtzeitig die Autofahrer.“ Leichter gesagt, als getan. Seit 2006 feilte Schendzielorz mit zwei Mitarbeitern und den Experten für Datenfusion des Aachener Unternehmens MAT.TRAFFIC an der Lösung dieser Aufgabe. Im Februar 2010 bestand IRIS seine erste öffentliche Demonstration im Straßenverkehr. Aber der Reihe nach ...

### **Gesucht: Mosaikkünstler und Hellseher**

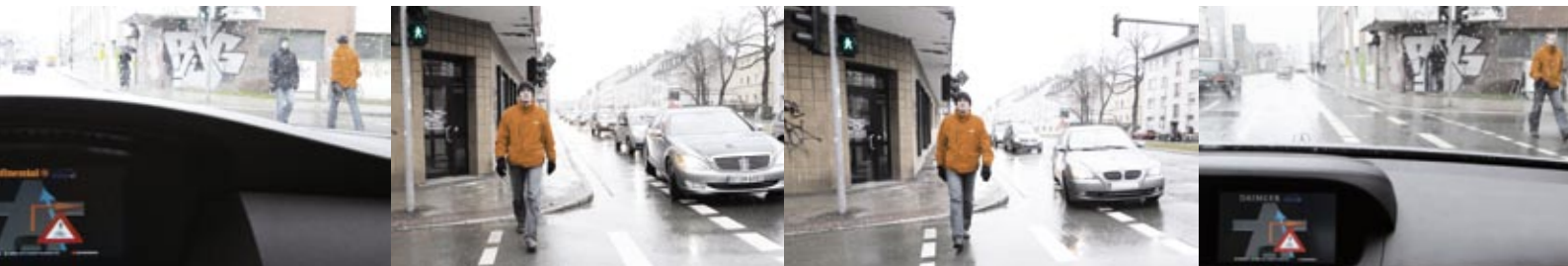
Wer eine intelligente Kreuzung entwickeln will, der muss neueste Detektionstechniken einsetzen und eine Fülle von Daten aus verschiedensten Quellen fusionieren,

um damit ein möglichst genaues Modell der Bewegungen aller Verkehrsteilnehmer herzustellen. SAFESPOT arbeitet mit Fahrzeugen, die über verbesserte GPS-Technik verfügen und per Funk ihre Positionen (plus/minus einen Meter) an sogenannte Road Side Units (RSU) entlang der Fahrbahn melden. An Kreuzungen installierte Kameras und Scanner lokalisieren zentimetergenau Fußgänger und Radfahrer. Schendzielorz erklärt: „Alle Informationen müssen in ihrer zeitlichen Entwicklung verfolgt, gefiltert und aufeinander bezogen werden. Für jedes relevante Objekt entsteht eine Bewegungslinie, die wir fahrstreifenfein auf eine digitale Karte abbilden.“

Ist dieses Datenmosaik zusammengesetzt, liefert IRIS einen virtuellen Überblick über die Lage. Sofort muss IRIS das Bild interpretieren und bestimmte Situationen vorhersehen. Welches Manöver wird ein Fahrzeug am wahrscheinlichsten ausführen? Die Prognose „Rechtsabbiegen“ wird beispielsweise abgeleitet aus der Position des Fahrzeugs (auf Rechtsabbiegestreifen), dem

*„Unser Projekt zeigt, dass es in Zukunft nicht nur intelligente Fahrzeuge gibt, sondern auch eine intelligente Infrastruktur. Auf beiden Seiten müssen jetzt die Hersteller, Forscher und Entwickler zusammenarbeiten, damit wir ein funktionierendes und wirtschaftliches Gesamtsystem schaffen können.“*

**Tobias Schendzielorz, Projektleiter SAFESPOT an der TUM**



**Erfolgreicher Feldversuch:** Die intelligente Kreuzung warnt einen Rechtsabbieger vor einer Kollision mit einem Radfahrer (1–3), macht auf eine rote Ampel aufmerksam (4) und rettet Fußgänger vor unachtsamen Autofahrern (5–8)

Zustand des Fahrzeugs (Blinker rechts eingeschaltet), der Lichtsignalsteuerung (Rechtsabbieger hat „Grün“) und physikalischen Bewegungsgleichungen.

### **Rechtzeitig die Richtigen warnen**

Zusammen mit den Projektpartnern hat Schendzielorz, ein an der TUM ausgebildeter Bau- und Wirtschaftsingenieur, dem System beigebracht, in die Zukunft zu blicken. „Es bezieht dabei die Reaktionszeiten der Menschen und das Beschleunigungs- bzw. Bremsverhalten der Fahrzeuge ein. Wenn nötig, werden Warnungen an die entsprechenden Fahrzeuge geschickt, damit die Fahrer angemessen reagieren und Gefahren vermeiden können“, erklärt der Projektleiter. Freilich sind die hellseherischen Fähigkeiten begrenzt. Schendzielorz: „Ein Fußgänger ist da oder nicht da. Was er machen wird, wissen wir nicht. Bei anderen Verkehrsteilnehmern können wir besser berechnen, was passieren wird.“ Der Prototyp analysiert drei Szenarien: Rotlichtverletzung, Rechtsabbiegen unter Berücksichtigung von

Radfahrern und Fußgängern sowie Linksabbiegen bei Vorrang des kreuzenden Verkehrsstroms. Um Fehlalarme zu vermeiden, ordnet IRIS jeder Bewegungslinie eine Wahrscheinlichkeit zu. Es kümmert sich nur um Objekte, die auf Kollisionskurs sind oder ihn einschlagen könnten. Muss stark gebremst werden, wird die Situation als gefährlich eingeordnet und eine Warnung in Gang gesetzt. Über eine etwa an einer Ampel angebrachte Kommunikationseinheit geht die Nachricht an die betroffenen SAFESPOT-Fahrzeuge. Sie können ihre Fahrer dann umgehend über optische und akustische Signale warnen. So weit die Theorie.

### **Erfolgreicher Feldversuch**

Am 25. Februar demonstrierten verschiedene Partner unter Federführung des Münchner Verkehrsforschungs- und Beratungsunternehmens TRANSVER vor Journalisten und Fachleuten in Dortmund, dass IRIS auch im wahren Leben funktioniert. An der Kreuzung Hamburger Straße/Gerichtsstraße ordneten sich ▶

## Verkehrssicherheit

drei SAFESPOT-Fahrzeuge der Firmen Daimler und Continental sowie der TU Chemnitz in den laufenden Verkehr ein. Ein freiwilliger Radfahrer spielte das „Opfer“ – und kam ohne Kratzer davon. Alle gefährlichen Abbiegemanöver wurden vom System erkannt. Bei dem mehrstündigen Versuch beging man keine echte Rotlichtverletzung. „Das wäre viel zu gefährlich gewesen“, berichtet Schendzielorz. „Wir haben die Ampel etwas weiter vorn mit einer virtuellen Haltelinie simuliert.“ Neben weiteren Tests im niederländischen Helmond war die Aktion in Dortmund ein Meilenstein für das SAFESPOT-Projekt. Begeistert kommentiert der Projektleiter: „Wir haben es tatsächlich geschafft, ein Warnsystem für eine Kreuzung zu entwickeln, das in Sekundenbruchteilen reagiert.“

### Einzellösungen besser integrieren

Bei aller Freude über den Erfolg ist klar: Das System „Sichere Kreuzung“ steckt noch in den Kinderschuhen. Bis intelligente Fahrzeuge und Infrastruktur flächendeckend vernetzt miteinander kommunizieren und damit zuverlässig den Verkehr sichern können, müssen noch

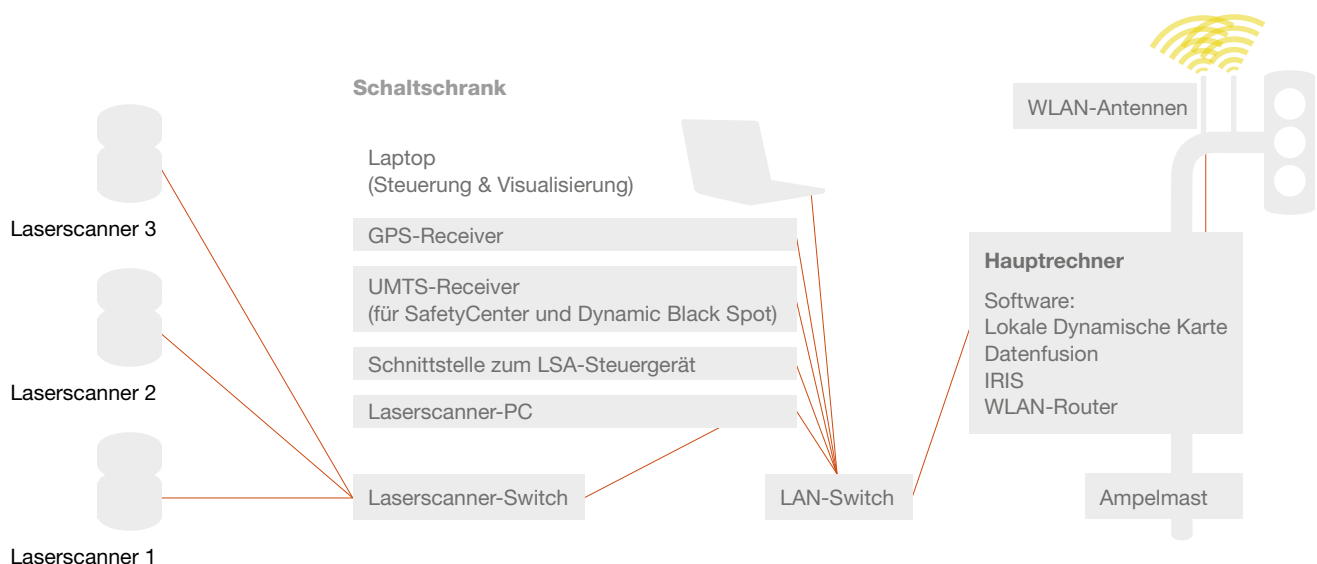
viele Probleme gelöst werden. Jetzt geht es vor allem um die Standardisierung der Daten und des Datenaustauschs. Unter Beteiligung des Lehrstuhls für Verkehrstechnik läuft mit simTD (Sichere Intelligente Mobilität im Testfeld Deutschland) bereits ein Projekt eines Konsortiums von Automobilindustrie, Forschungseinrichtungen und Bundesministerien, das bald Großversuche mit mehreren Hundert Fahrzeugen durchführen soll. Auch die eingesetzten Laserscanner müssen noch besser und vor allem kleiner werden. Bisher stehen die klobigen Geräte meist am Boden, wo ihr Sichtbereich leicht verdeckt werden kann. Besser wäre die Vogelperspektive über der Kreuzung.

Die Strahlung der vielen Antennen und Sensoren hält Schendzielorz für unbedenklich: „In einer Zeit, wo fast jeder daheim einen WLAN-Router und mehrere Handys im Einsatz hat, brauchen uns Laserscanner an Kreuzungen nicht zu sorgen. Übrigens zeichnen wir keine privaten Daten auf, also auch nicht Autonummern von Rotsündern, die dann der Polizei zugeleitet würden.“

Nicht zuletzt aus rechtlichen Gründen bietet die SAFESPOT-Technik, ebenso wie andere bereits er-

### Die SAFESPOT-Komponenten an der Kreuzung

Neueste Detektionstechniken, gepaart mit schneller Datenfusion und -interpretation, sollen Sach- und Personenschäden verhindern



### Der Lehrstuhl für Verkehrstechnik

Der Lehrstuhl von Prof. Fritz Busch am Institut für Verkehrswe-  
sen gehört zur Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswes-  
sen der TUM. Er befasst sich in Forschung und Lehre mit Me-  
thoden und Technologien zur Erfassung, Beschreibung und  
räumlich-zeitlichen Beeinflussung des Verkehrsgeschehens  
sowohl im Individualverkehr als auch im öffentlichen Verkehr.  
Europaweite Zusammenarbeit mit Behörden, Forschungsein-  
richtungen und Unternehmen auf diesen Themengebieten:

- Verkehrs- und Umfelddetektion
- Verkehrsmodellierung und Verkehrssimulation
- Ermittlung und Steuerung der Verkehrsnachfrage
- Steuerung des Verkehrsablaufs im Individualverkehr  
und öffentlichen Personennahverkehr
- Integriertes und intermodales Verkehrsmanagement
- Systemtechnik im Verkehr
- Intelligente Fahrzeugkonzepte,  
Fahrzeug-zu-X-Kommunikation
- Qualitätsmanagement im Verkehr
- Verkehr und Umwelt (Wirkungen und Potenziale)

**An Ampelmasten** befestigte Road Side Units (oben) empfangen  
Positionsmeldungen. Laserscanner (unten) beobachten das Kreuz-  
ungsgeschehen. Fahrzeuge und Infrastruktur kommunizieren  
über WLAN-Antennen (Mitte)

probte elektronische Schutzengel für Autofahrer – etwa  
Bremsassistenten –, den Fahrzeuglenkern lediglich  
Hilfen an. Die Entscheidung zur Vollbremsung bleibt  
zuletzt immer beim Fahrer. Neben einer sicheren Kreuz-  
ung soll IRIS noch weitere Vorteile bringen: „Wir den-  
ken zum Beispiel darüber nach, wie man bereits an gro-  
ßen Kreuzungen vorhandene Kameras integrieren und  
dazu nutzen kann, auch Radfahrer und Fußgänger vor  
Gefahren zu warnen“, betont Schendzielorz.

### Nützlich für Mensch, Gesellschaft und Natur

Sind einmal genügend Kreuzungen mit IRIS oder einem  
ähnlichen System ausgestattet, können die virtuellen  
Lagebilder auch einem effizienteren Verkehrsmanage-  
ment dienen. Das brächte zusätzlich einen Fortschritt  
für den Umweltschutz. Ganz in diesem Sinne wird der  
Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TUM nach dem Ende  
des Projekts SAFESPOT ab Mai 2010 an eCoMove mit-  
wirken, einem Vorhaben zur Entwicklung von Anwen-  
dungen, die den Energieverbrauch des Stadtverkehrs  
reduzieren sollen. Es bleibt also spannend – im Labor  
und auf den Straßen.

*Karsten Werth*





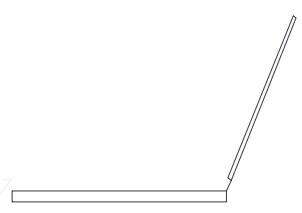




**D**as Ding schimmert grünlich und ist so groß wie eine EC-Karte – die Rede ist vom neuen elektronischen Personalausweis (nPA), der ab November 2010 deutschen Bürgern in zweifacher Hinsicht das Leben erleichtern soll: als Ausweisdokument für die reale Welt und zur elektronischen Identifikation bei Behördengängen oder Geschäften im Internet.

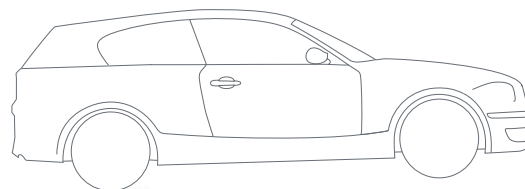
Seit geraumer Zeit diskutieren Öffentlichkeit und Experten darüber, wie sicher der nPa ist. Diese Frage interessiert auch Claudia Eckert. Die Leiterin des TUM-Lehrstuhls für Sicherheit in der Informatik und des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie (SIT) in München und Darmstadt prüft, wie sich der nPA beim Online-Einkaufen oder -Banking nutzen lässt und ob es Sicherheitslücken gibt. Eckerts Team betreibt ein Test- und Sicherheitszentrum und entwickelt eigene Anwendungen, um die Firmen, die den nPA derzeit testen, bei der korrekten und sicheren Umsetzung der neuen Technologien zu unterstützen.

Jeder nPA enthält die Personendaten, zusätzlich gibt es einen zweiten Bereich für E-Business-Anwendungen, in dem Name, Adresse und Geburtsdatum hinterlegt sind. Auf Wunsch kann der Bürger die sogenannte elektronische



Links
<a href="http://www.sec.in.tum.de">www.sec.in.tum.de</a>
<a href="http://www.sit.fraunhofer.de">www.sit.fraunhofer.de</a>





sche Identitäts-Funktion (eID) für Online-Geschäfte aktivieren. Damit wird eine sichere Online-Identifizierung des Ausweisinhabers möglich, sodass beispielsweise im Online-Banking die heute üblichen PIN- und Transaktionsnummern überflüssig werden.

### Sicherheit durch RFID-Chips

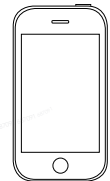
Der Test-nPA, den Claudia Eckert aus ihrem Portemonnaie fischt, hat außer dem Format nicht viel mit einer EC-Karte gemeinsam. Frau Mustermann schaut einen freundlich von ihrem Foto an, statt eines Magnetstreifens ist ein RFID-Chip (Radio Frequency Identification) eingearbeitet. Damit können die gespeicherten Daten, die in verschlüsselter Form vorliegen, per Funk ausgelesen werden. „Es handelt sich um einen Hochsicherheitschip mit geringer Sendeleistung. Das heißt, er sendet im Zentimeterbereich. Die Übertragung findet verschlüsselt statt. Die Daten lassen sich aber nur auslesen, wenn der Bürger auch seine sechsstelligen PIN eingibt“, beruhigt die Informatikerin.

Bei den meisten Szenarien für Online-Geschäfte gehen die Entwickler davon aus, dass der Bürger von zu Hause aus seine Internet-Geschäfte abwickelt. Dafür be-

nötigt er ein Lesegerät und eine Softwareanwendung (sogenannter Bürgerclient) für seinen Rechner. Was aber, wenn er unterwegs ist? Hierfür gibt es bereits erste Lösungsansätze: Auf der diesjährigen CeBIT hat Eckerts Team eine Konzeptstudie präsentiert, bei der das Mobiltelefon den Zugang zum Internet schafft und gleichzeitig als Lesegerät für den Ausweis dient.

### Am Flughafen per Handy einchecken

Die Forscher nutzen dazu die NFC-Technologie (Near Field Communication), einen Standard für die kontaktlose Funkübertragung von Daten für kurze Strecken. Möchte der Nutzer etwa für eine Flugreise per Handy einchecken, surft er zur Online-Präsenz seiner Fluglinie, die über ein offizielles Zertifikat verfügt. Sobald er sich anmeldet, wird ihm dieses übermittelt. Der Fluggast hält im Anschluss seinen nPA an sein Mobilfunkgerät. Dessen integrierter NFC-Leser baut den Kontakt zum nPA auf. Nach dem Überprüfen des Anbieter-Zertifikats kann der Reisende entscheiden, ob er sich bei seiner Fluggesellschaft über die eID-Funktion seines elektronischen Personalausweises ausweist und welche Daten er übermittelt. Erst wenn er seine persönliche PIN eingetippt hat, sind diese auch freigegeben. „Die ▶



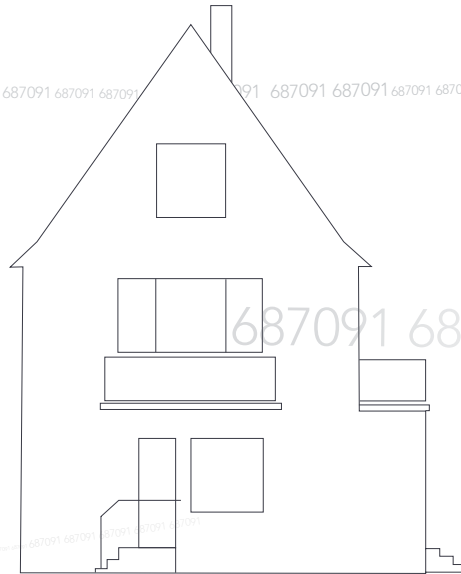
Anwendung lässt sich bereits mit heutigen Mobilfunknetzen realisieren. Es sind zwar noch nicht viele Mobiltelefone mit NFC ausgestattet, aber das wird sich sicher ändern. Es gibt allerdings zu viele unterschiedliche Handy-Plattformen, da fehlen noch Standards. Außerdem wird eine Software benötigt, die wie der Bürgerclient auf dem PC auch die sichere Zusammenarbeit zwischen Handy und elektronischem Personalausweis regelt“, beschreibt Claudia Eckert die Aufgaben, die auf die Entwickler warten.

### **Funketiketten gegen Produktpiraterie**

Funketiketten sind aber nicht nur für den elektronischen Ausweis interessant. Damit könnten sich Unternehmen vor Produktpiraterie schützen. Indem beispielsweise Originalbauteile mit speziellen Identitätsmerkmalen bestückt und untrennbar verbunden werden. Hier sind die Informatikerin und ihre Mitarbeiter dabei, ein noch junges Forschungsgebiet zu erobern. Die Vision der Forscher: Aus Fertigungsabweichungen von Chips im Subnanometerbereich möchten sie Identifikationsmerkmale erzeugen, die nicht kopierbar sind. „Die Idee besteht darin, aus den physikalisch einzigartigen Strukturen, die aufgrund von nicht beeinflussbaren Variationen bei

der Herstellung entstehen, eine Art Fingerabdruck des jeweiligen Chips abzuleiten“, erläutert Dominik Merli, einer der Forscher in Eckerts Team. Physical Unclo-nable Functions (PUF), also physikalisch nicht kopierbare Funktionen, nennen Experten dieses Verfahren. Sie sind vergleichbar mit biometrischen menschlichen Merkmalen wie Iris oder Gesichtsbild. PUF würden also jedes physikalische Objekt einzigartig machen. Damit ließe sich jedes einzelne Produkt kennzeichnen und der Hersteller könnte verhindern, dass ein Bremsbelag oder ein Medikament als billige Kopie nachgebaut wird.

Claudia Eckert erklärt, wo noch Forschungsbedarf besteht: „Will man die Identität eines Menschen mit biometrischen Merkmalen prüfen, so vergleicht man diese unverwechselbaren Merkmale mit Referenzwerten. Zunächst muss jedoch ein Sensor das Merkmal erfassen. Dabei können Abweichungen etwa durch Verschmutzungen, Alterungsprozesse oder geänderten Lichteinfall auftreten. Man benötigt Korrekturmaßnahmen, um zuverlässig entscheiden zu können, ob das leicht abweichende Merkmal mit dem Referenzwert innerhalb eines Toleranzbereichs noch übereinstimmt. Das gleiche Problem ergibt sich bei der Verwendung von physikalisch

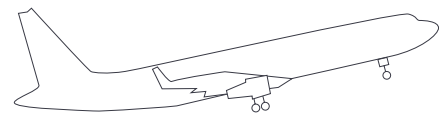
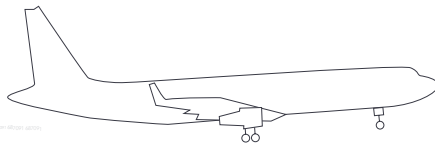


nicht kopierbaren Funktionen zur Objekt-Identifikation. Diese Korrekturen vorzunehmen, ist nicht immer einfach. Denn man will vermeiden, dass womöglich ein gefälschtes Objekt, das leicht abweichende Merkmale aufweist, dennoch als korrekt akzeptiert wird. Die Aufgabe besteht darin, das Rausch- und Entropieverhalten der PUF zu optimieren. Ein weiteres Forschungsfeld sind die Alterungsprozesse von Materialien.“

### **Sicherheit für Cloud Computing**

Derzeit ist Eckerts Arbeitsgruppe dabei, mit der Bundesdruckerei Forschungsmittel zu beantragen, um entsprechende Lösungen zu bearbeiten. Sehr viel weiter ist dagegen die Technik beim sogenannten „Cloud Computing“: Vor allem kleinere und mittlere Unternehmen erhoffen sich eine Kostenersparnis, wenn sie Daten, Anwendungen und Netze auf externe Server auslagern, beispielsweise Rechnerkapazitäten für Mail-Server oder Kundenverwaltungs-Systeme. Die dazu notwendige Hard- und Software schaffen sie nicht mehr selbst an, sondern mieten je nach Bedarf Kapazitäten bei Dienstleistern wie IBM, Amazon oder Google. Die Unternehmen sind somit flexibel und können sich ganz auf ihre eigenen Kompetenzen konzentrieren.

Es spricht also einiges für Cloud Computing. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass sich immer mehr Wolken in elektronischen Welten bilden. Doch wer auf externe Dienste vertraut, macht sich abhängig von diesen. So kann ein Hackerangriff oder eine Schadsoftware die Geschäfts- oder Produktionsprozesse einer Firma lahmlegen. Ausfälle und Störungen sind bei Cloud-Anwendungen keine Seltenheit. Weitere Gefahrenquellen sind Datenverluste bzw. -lecks, Diebstahl von Konten, Dienstleistungen oder Datentransfers. „Zwar setzen die Cloud-Service-Anbieter Basis-Sicherheitstechnologien zur Absicherung der verwalteten Daten ein, es bleiben aber viele Sicherheitsfragen offen. Die heutigen Isolierungsansätze reichen nicht aus, um eine vollständige Abschottung der Nutzerdaten durchgehend zu garantieren und unberechtigte Datenzugriffe zu verhindern“, sagt Claudia Eckert. „Notwendig sind auch zusätzliche Verfahren zum Beispiel zur Markierung und Filterung von Daten. Damit ein Unternehmen sensible Informationen, wozu unter anderem datenschutzrelevante Daten zählen, nicht ungeschützt in der Cloud ablegt.“ Was Eckert verwundert: „Da vereinbaren die Unternehmen zwar einen Rund-um-die-Uhr-Betrieb, vernachlässigen aber sicherheitsrelevante Garantien.“



Sie müssten sich folgende Fragen stellen: Wie sicher sind die Firmengeheimnisse auf den externen Servern? Welche Zugriffsrechte hat ein Sub-Unternehmer des Cloud-Anbieters? Was passiert, wenn die Anwendung abstürzt? Dabei lassen sich mit sogenannten Service-Level-Agreements Rechte und Pflichten zwischen den Nutzern und Anbietern genau festlegen. Die heute üblichen Vereinbarungen enthalten jedoch nur minimale Garantien für die Dienstgüte des Cloud-Service. Sicherheitsgarantien sind kaum vorhanden und die dafür notwendigen Funktionen, die der Cloud-Anbieter bereitstellen müsste, sind nicht dokumentiert. Damit tragen die Nutzer das gesamte Risiko. „Unter kontrollierbaren Rahmenbedingungen lassen sich die Dienste nutzen. Vorher sollte man detaillierte Informationen vom Anbieter anfordern und anhand von Checklisten eine Risikobewertung durchführen“, meint Eckert.

Trotzdem gibt es auch bei Cloud Computing noch eine Reihe offener Fragen. Eine technische Herausforderung ist neben den oben angesprochenen Themen die Frage des korrekten Zusammenspiels verschiedener Softwarepakete in der Cloud: Wie wird beispielsweise ein über die Produktgrenzen hinweg einheitliches und

durchgängiges Identitäts- und Zugriffsmanagement durchgeführt, sodass nicht ein schwacher Sicherheitsmechanismus die gesamte Sicherheitskette zerstört? Welche Komponenten sind wofür geeignet und wie kann man deren Qualität durch gezielte zusätzliche Maßnahmen verbessern? Eckerts Arbeitsgruppe möchte herausfinden, wie die Systeme in der Cloud zusammenarbeiten. Aus diesem Grund wird derzeit in Garching ein Cloud-Labor aufgebaut. Das können dann auch Dienstleister nutzen, die ausprobieren möchten, ob ihre Anwendung funktioniert, beziehungsweise können sie die Sicherheit der Anwendung testen lassen.

„An einer Standardisierung kommen die Anbieter nicht vorbei“, meint die Informatikerin. Erste Ansätze dazu gab es vergangenes Jahr mit der Gründung der Cloud Security Alliance (CSA) in den USA, bei der sich eine Reihe namhafter Unternehmen zusammengeschlossen hat. Es fehlen jedoch juristische und regulatorische Vorgaben, die unter anderem die Cloud-Anbieter in die Pflicht nehmen, nachprüfbar Aussagen über deren eingesetzte Sicherheitsstandards zu machen. „Hier können wir nichts mehr tun“, sagt Claudia Eckert. „Das ist jetzt Aufgabe der Politik.“ *Evdoxía Tsakiridou*



Wir schaffen Vertrauen bei  
der Sicherung von Werten.

**Creating Confidence.** Weltweit vertrauen Regierungen, Zentralbanken und Technologiekonzerne unseren Lösungen. Unsere Innovationen rund um die Sicherheit von Währungen, die Identifikation von Bürgern, Telekommunikationsanwendungen und elektronische Transaktionen entwickeln wir in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden. Wir setzen Maßstäbe für die Welt von morgen – seit über 150 Jahren.  
[www.gi-de.com](http://www.gi-de.com)



**Giesecke & Devrient**  
Creating Confidence.



Illustration: eciundsepp

Link

[www.psykl.med.tum.de](http://www.psykl.med.tum.de)

# Mit Positronen und Antigenen gegen Alzheimer

**Im Kampf gegen die Alzheimer-Krankheit verfolgen Wissenschaftler am Klinikum rechts der Isar zwei Strategien: Sie verbessern die Methoden zur Früherkennung mithilfe von bildgebenden Verfahren und sie sind an der Entwicklung von Immuntherapien beteiligt**

**E**in kurzer Mausklick am Computer eröffnet Timo Grimmer den Blick in das Gehirn eines Patienten mit fortgeschrittener Alzheimer-Demenz. Der junge Facharzt an der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie am Klinikum rechts der Isar wirft einen kritischen Blick auf die 63 Querschnittsbilder durch das Denkorgan vor ihm auf dem Bildschirm. Angefertigt wurden die Profile mithilfe der Positronen-Emissions-Tomografie (PET). Die Einzelbilder erscheinen in allen Farben des Regenbogens. „Die Bereiche, die tiefrot sind, sind am stärksten betroffen von Amyloid-Ablagerungen“, erklärt Grimmer.

Am Amyloid machen die Mediziner eine mögliche Ursache zur Entstehung der Alzheimer-Krankheit fest. Seit den frühen 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts setzt sich die sogenannte Amyloid-Hypothese als Erklärungsversuch für die Entstehung der Alzheimer-Krankheit durch. Sie besagt, dass eine erhöhte Konzentration und Verfestigung des Peptids Beta-Amyloid im Gehirn eine wahrscheinliche Ursache für die Entstehung der Krankheit ist. Man geht davon aus, dass mit zunehmendem Alter das Beta-Amyloid vom Organismus nicht mehr komplett abgebaut werden kann. Es verklumpt und lagert sich im Gehirn ab. Dort führt es zur Zerstörung von Nervenzellen und letztlich zum Ausfall ganzer Hirnareale. Seitdem verstärkt man weltweit die Bemühungen, die Ablagerung dieses Peptids im Gehirn einzudämmen.

### **Wissenschaftler blicken ins Gehirn**

Bis vor Kurzem konnte man Amyloid-Ablagerungen im Gehirn von Patienten mit einer Alzheimer-Demenz erst nach ihrem Tod sichtbar machen. Doch vor knapp fünf Jahren gelang Mediziner an der Uni Pittsburgh (USA) ein Durchbruch: Die Wissenschaftler entwickelten einen Farbstoff, der sich an die spezielle Struktur des Peptids Beta-Amyloid im menschlichen Gehirn anheft-

et. Die US-Forscher nannten den Farbstoff „Pittsburgh Compound B“, kurz PiB. PiB ist ein Radiopharmakon, das Positronen abstrahlt. Mithilfe der Positronen-Emissions-Tomografie und PiB kann man nun über die Flugbahnen von Positronen nachweisen, ob und wo sich die Ablagerungen von Amyloid im Gehirn befinden. Positronen sind in der Physik als Antiteilchen zu den Elektronen bekannt. In der Alzheimer-Forschung sind die Elementarteilchen jetzt auf dem besten Weg, ein wichtiges Werkzeug zur Frühdiagnose der Alzheimer-Krankheit zu werden.

„Das neue bildgebende Verfahren mit PiB war ein enormer Fortschritt in den Bemühungen, die Alzheimer-Krankheit bereits bei Patienten mit noch sehr gering ausgeprägten Symptomen, also im frühen Stadium am lebenden Menschen, zu diagnostizieren“, erklärt Timo Grimmer. Weltweit setzen die Wissenschaftler große Hoffnungen in die neue Diagnosemethode.

### **Was misst PiB wirklich?**

Um die Forschungsergebnisse aus den USA besser zu verstehen und den Nachweis zu erbringen, dass PiB wirklich genau die Amyloid-Ablagerungen anzeigt, die man als Ursache einer Alzheimer-Krankheit vermutet, sind die Mediziner der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie eine Kooperation mit den Kollegen aus Pittsburgh eingegangen. Die Kooperation am Zentrum für Kognitive Störungen steht unter der Leitung von Alexander Kurz und Hans Förstl. Die beiden Professoren gelten seit vielen Jahren als ausgewiesene Experten auf dem Gebiet der klinischen Alzheimer-Forschung. Das Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit Alexander Drzezga und Markus Schwaiger von der Nuklearmedizinischen Klinik und Poliklinik durchgeführt. Dort werden die PET-Bilder angefertigt. „Wir haben uns gefragt, was PiB wirklich misst“, erklärt Timo Grimmer. Für ihre Untersuchungen haben die Medizi-



ner Patienten, die an einer Demenz bei wahrscheinlicher Alzheimer-Krankheit leiden, aus dem Wirbelkanal Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit, den sogenannten „Liquor cerebrospinalis“, entnommen. „Bei Patienten mit einer Alzheimer-Demenz ist das Amyloid im Liquor vermindert“, erläutert Grimmer. „Wir und andere glauben, dass das Amyloid im Liquor vermindert ist, weil es im Gehirn stecken bleibt.“

Die Wissenschaftler konnten nachweisen, dass dabei ein umgekehrter Zusammenhang besteht: Je weniger Amyloid sie in der Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit fanden, desto stärkere Ablagerungen stellten sie über das PiB im Gehirn fest. „Wir konnten auch zeigen, dass PiB vor allem dort im Gehirn bindet, wo Gedächtnisleistung und Orientierungssinn angesiedelt sind“, sagt Grimmer. Diese Ergebnisse stimmen überein mit den Beobachtungen bei Patienten mit Alzheimer-Demenz. Bei diesen tritt meist zuerst ein Schwund der Gedächtnisfähigkeit und des Orientierungsvermögens ein.

### **Krankheitsverläufe sichtbar machen**

Deutlich zeigen dies auch die PET-Schnittbilder durch das Gehirn des Patienten mit Alzheimer-Demenz auf Grimms Computer. Die farblich gekennzeichneten Amyloid-Ablagerungen sind in allen Schnittbildern durch das gesamte Organ zu erkennen. Nach diesen Tests wollten die Forscher herausfinden, ob die Ausprägung der Amyloid-Ablagerungen, gemessen mit PiB-PET, mit der Ausprägung der klinischen Symptome in Zusammenhang steht. Dabei ergab sich allerdings nur ein mäßiger Zusammenhang. „Die Amyloid-Ablagerungen sind nicht die einzige Veränderung im Gehirn, die zur Ausbildung der Symptome beiträgt“, erklärt Grimmer diesen Umstand. Um zu beurteilen, ob mit dem PiB-PET die Entwicklung der Amyloid-Ablagerungen abbildbar ist und Verlaufsuntersuchungen zur Beurteilung des Voranschreitens der Alzheimer-Krankheit möglich sind, untersuchten die Forscher die gleichen Patienten

nach zwei Jahren erneut. „Wir stellten fest, dass die im Gehirn mit Amyloid-Anreicherungen versehenen Areale zugenommen haben oder eine stärkere Ablagerung des Eiweißes aufwiesen“, erläutert Grimmer.

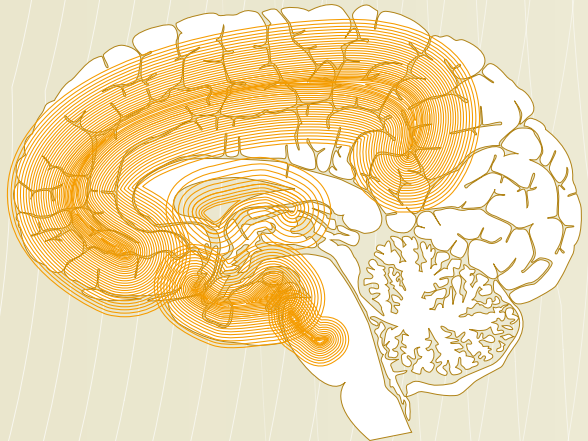
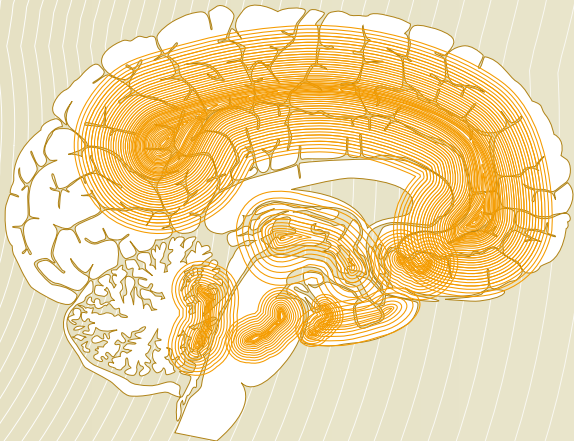
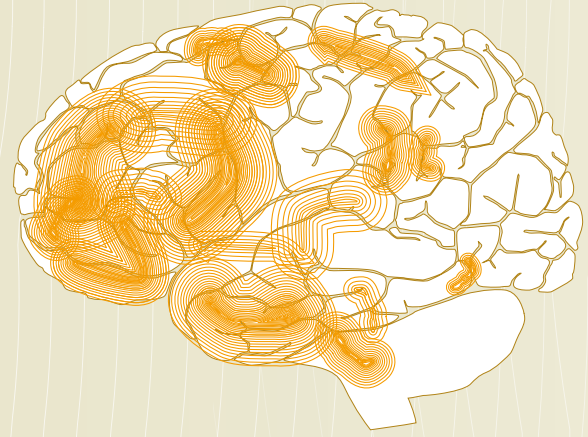
Alzheimer ist im Krankheitsverlauf tückisch. Bevor Angehörige oder Betroffene erste Symptome bemerken, hat sich die Krankheit schon lange im Gehirn eingenistet. „Durchschnittlich 10 bis 15 Jahre vor den ersten Anzeichen reichert sich das Amyloid schon an, nach der Diagnose haben die Patienten dann noch fünf bis zehn Jahre zu leben“, sagt Timo Grimmer.

Die Kombination des PiB-PET-Bildgebungsverfahrens mit bisher eingesetzten Diagnosemethoden ermöglicht es den Wissenschaftlern nun, die Alzheimer-Krankheit vor dem Auftreten ausgeprägter Beschwerden zu diagnostizieren. „Die Methode wird bereits unterstützend in der Diagnose der Alzheimer-Krankheit an Patienten eingesetzt“, sagt Grimmer.

Die Amyloid-Bildgebung ist ein bedeutender Fortschritt im Kampf gegen die Volkskrankheit. Man scheint nun in der Lage zu sein, vor dem Auftreten schwerwiegender Beschwerden eine Diagnose zu stellen und damit die Krankheit in einem frühen Stadium zu erkennen. „Wir hoffen natürlich, mithilfe der neuen Diagnosemöglichkeit früher mit einer Behandlung beginnen zu können und damit den Krankheitsverlauf zu verlangsamen, zukünftig vielleicht sogar zu stoppen“, meint Grimmer. Er fügt aber an, dass es bis dahin noch ein weiter Weg ist.

### **Antikörper gegen Amyloid-Ablagerungen**

Neben der Verbesserung der Diagnosemöglichkeiten haben die TUM-Mediziner der Alzheimer-Krankheit auch direkt den Kampf angesagt. Dazu entwickeln die Forscher bereits vorhandene Immuntherapien weiter. Dabei werden kleine Moleküle, die Amyloid erkennen und das Immunsystem aktivieren, sogenannte Antikörper, verwendet. Diese Antikörper sollen verhindern, dass sich Amyloid im Gehirn ablagert. Ebenso ar- ▶



**Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Beschwerden und der Dichte der cerebralen Amyloid-Ablagerungen:** Orange sind die Regionen, in denen in der Gruppe ein statistisch signifikanter Zusammenhang vorliegt, auf die Hirnoberfläche projiziert, dargestellt. Ansichten von außen rechts und von außen links (oben) sowie von innen nach links und von innen nach rechts (unten)

beitet man weltweit daran, Wirkstoffe zur Stimulierung des körpereigenen Immunsystems zu entwickeln. „Der Körper erkennt die Amyloid-Ablagerungen nicht als Gefahr, deswegen bleibt das Immunsystem weitgehend inaktiv“, erklärt Timo Grimmer.

Zwei Wege werden beschritten, das Immunsystem gegen Amyloid zu aktivieren: die aktive und die passive Immunisierung. Bei der aktiven Immunisierung, einer Impfung, wird dem Körper ein Antigen verabreicht, woraufhin der Organismus selbst aktiv wird und mit eigenen Antikörpern gegen die Amyloid-Ablagerungen vorgeht. Bei der passiven Immunisierung werden die Antikörper im Labor produziert und dann verabreicht. „In einem Mausmodell hatte die aktive Immunisierung eine deutliche Wirkung“, erläutert Grimmer. „Die Mäuse bildeten weniger Amyloid-Ablagerungen und waren danach weniger vergesslich.“ Auch bei Menschen verzeichnete man anfangs Erfolge. Doch nach einer Veränderung der Impfungszusammensetzung schwoll in der Folge einer überschießenden Immunreaktion bei einigen Patienten das Gehirn an und man musste die Studie abbrechen.

### **Erste Impfstoffe in der Erprobung**

In der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie wird – wie auch an anderen spezialisierten Zentren in der Welt – nun ein modifizierter Impfstoff erprobt. Erste Ergebnisse liegen auch schon vor. Die Teilnehmer hatten keine Hirnschwellungen nach der Behandlung und die Ablagerungen im Gehirn konnten verringert werden. Aber über die Wirksamkeit auf die Beschwerden der Patienten können die Mediziner noch keine endgültige Aussage treffen.

„Die Alzheimer-Krankheit ist nach wie vor unheilbar“, betont Grimmer. Außerdem ist die Krankheit vielschichtig und oft rätselhaft. „Es ist sicherlich nicht nur das Amyloid, das für das Auftreten der Beschwerden verantwortlich ist“, bedauert der Mediziner.

Eine andere Ursache der Alzheimer-Krankheit wird z. B. beim sogenannten Tau-Protein vermutet. Das Tau-Protein ist ein normaler Bestandteil in der Zelle. Bei Alzheimer-Patienten verändert sich das Protein. Es stört Transportprozesse innerhalb der Gehirnzellen und führt letztendlich zu ihrem Absterben. „Doch trotz der unbestreitbaren Komplexität der Erkrankung bietet uns die

Amyloid-Hypothese eine verlässliche Basis, um Therapien gegen die Ablagerungen im Gehirn zu entwickeln“, ist Grimmer überzeugt.

Am Klinikum rechts der Isar erforscht man seit 25 Jahren die Alzheimer-Krankheit. Im Jahr 1985 wurde die europaweit erste Gedächtnissprechstunde eingerichtet, die von Prof. Alexander Kurz geleitet wird. Hier werden Betroffene mit Verdacht auf eine Alzheimer-Krankheit untersucht und pflegende Angehörige beraten.

Fast permanent laufen zudem klinische Studien, an denen Patienten mit Alzheimer-Demenz teilnehmen können. Voraussetzung ist natürlich, dass sie noch selbst entscheiden können, also einwilligungsfähig sind. Bei jeder Untersuchung muss eine Ethikkommission zustimmen. Grimmer ermutigt zur Teilnahme. „Die Teilnehmer an den Studien werden von uns besonders genau untersucht und begleitet“, sagt Grimmer und verweist auf amerikanische Verhältnisse: „In den USA kommen die Patienten in die Kliniken und fragen als Erstes, ob sie an einer Studie teilnehmen können.“

### **Aktives Leben als Vorbeugung**

In Deutschland leiden etwa zwei Drittel der rund 1,1 Millionen Patienten mit Demenz unter einer Alzheimer-Demenz (Deutsche Alzheimer Gesellschaft 2008). Weltweit ist die Alzheimer-Krankheit die am häufigsten auftretende neurodegenerative Erkrankung. Da die Menschen immer älter werden, steigt auch für sie die Gefahr, an Alzheimer zu erkranken.

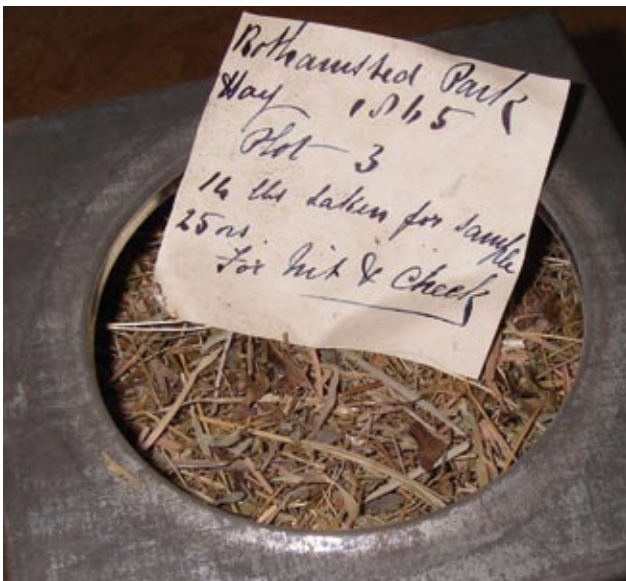
„Leider gibt es kein Rezept, wie man dem Auftreten einer Alzheimer-Krankheit in jungen Jahren vorbeugt“, bedauert Grimmer. „Es schadet sicher nicht, wenn man geistig aktiv ist“, fügt er an. Neben geistiger Betätigung ist auch ein aktives Leben mit ausreichend Sport ein guter Ansatz zur Vorbeugung. „Aber künstlich quälen sollte man sich nicht“, warnt der Mediziner.

„Die Alzheimer-Krankheit wird in den nächsten Jahren sicher nicht heilbar“, ist Timo Grimmer überzeugt. „Wir forschen intensiv und sind weltweit mit den Kollegen gut vernetzt“. Immer wieder ergeben sich überraschende Ansätze und neue Ideen, die schnell ausgetauscht werden. „Wir sind fest entschlossen, die Krankheit besser in den Griff zu bekommen.“

*Thorsten Naeser*

# Klimawandel zeigt sich in Heu und Steinbockhörnern

Wie reagieren Pflanzenökosysteme langfristig auf die steigende Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre? TUM-Forscher haben dies weltweit zum ersten Mal für Grasland untersucht. Antworten fanden sie in Steinbockhörnern und in 150 Jahre altem Heu



Alte Heuproben der Forschungsstation Rothamsted standen den Wissenschaftlern für ihre Untersuchungen zur Verfügung

Link

[www.wzw.tum.de/gruenland](http://www.wzw.tum.de/gruenland)

Forscher, die die Reaktion von Bäumen auf die steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft untersuchen, haben es leicht: Sie nehmen einen Bohrkern aus dem Stamm, denn Bäume speichern den aufgenommenen Kohlenstoff im Holz. „Die Graslandvegetation, an der wir arbeiten, wird gefressen oder stirbt ab und sich“, erklärt Prof. Hans Schnyder vom Wissenschaftszentrum Weihenstephan. Trotzdem wollte der Schweizer Wissenschaftler herausfinden, wie sparsam Grasland mit Wasser haushaltet, wenn es wärmer wird und die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Luft steigt.

Dazu muss man wissen: Jede Pflanze nimmt CO<sub>2</sub> aus der Luft auf. Gleichzeitig verdunstet sie Wasser. Beides passiert über die Stomata, winzige Poren in den Blättern, deren Öffnungsweite die Pflanze regulieren kann.

Bei zunehmender Trockenheit schließt sie ihre Stomata, um den Wasserverlust zu mindern, nimmt damit aber auch weniger CO<sub>2</sub> auf. Aus Laborexperimenten weiß man, dass bei erhöhter Konzentration von CO<sub>2</sub> die Aufnahmefähigkeit für das Gas bei gleicher Öffnungsweite der Stomata kurzfristig steigt. Um zu ermitteln, wie sich die Wassernutzungseffizienz von Graslandvegetation – also das Mengenverhältnis von aufgenommenem CO<sub>2</sub> zu abgegebenem Wasser – im Laufe des letzten Jahrhunderts entwickelt hat, musste Prof. Schnyder ähnlich lange Zeitreihen finden wie beim Holz.

Hier kam dem Team zunächst die Steinbockhörner-Trophäensammlung aus den Jahren 1938 bis 2006 des Naturhistorischen Museums Bern zu Hilfe: Der Steinbock speichert in seinen Hörnern isotopische Information über die Wassernutzung der Vegetation, die er gefressen hat. Da auch Steinbockhörner Jahresringe besitzen, konnten die Grünlandforscher aus Hornproben Rückschlüsse auf die Graslandvegetation der Berner Alpen ziehen, auf welcher die Tiere gegrast hatten. Ein einmaliges Probenarchiv an der Forschungsstation Rothamsted in England ermöglichte den Vergleich mit einer zweiten Graslandschaft. Seit 1857 archivierte man dort Probenmaterial. Die TUM-Forscher konnten aus den bis zu 150 Jahre alten Heuproben – ebenfalls über eine Analyse der Isotopensignatur – herauslesen, wie die dortige Graslandvegetation das Wasser über die Jahre genutzt hat. So ermittelten sie die individuelle Isotopensignatur der Graslandvegetation in den Berner Alpen und im britischen Flachland. Diese Daten wurden mit den Klimadaten der untersuchten Regionen verrechnet, etwa Lufttemperatur und -trockenheit. Das Ergebnis: An beiden Standorten haben die Pflanzen ihr Wasserspar-Potenzial erhöht, während es wärmer wurde und mehr CO<sub>2</sub> in die Luft gelangte. Damit haben die TUM-Forscher weltweit erstmalig die langfristige Wirkung des anthropogenen Klimawandels auf die Wassernutzungseffizienz von Grasland dargestellt.

Die Ergebnisse helfen, Klimasimulationen zu verbessern: Berechnungsmuster konnten bisher beim Grasland nur mit Schätzungen arbeiten. Diese Black Box haben die Forscher der TU München jetzt gelüftet. □

# Demenz – das schleichende Vergessen



**Länger ich.**

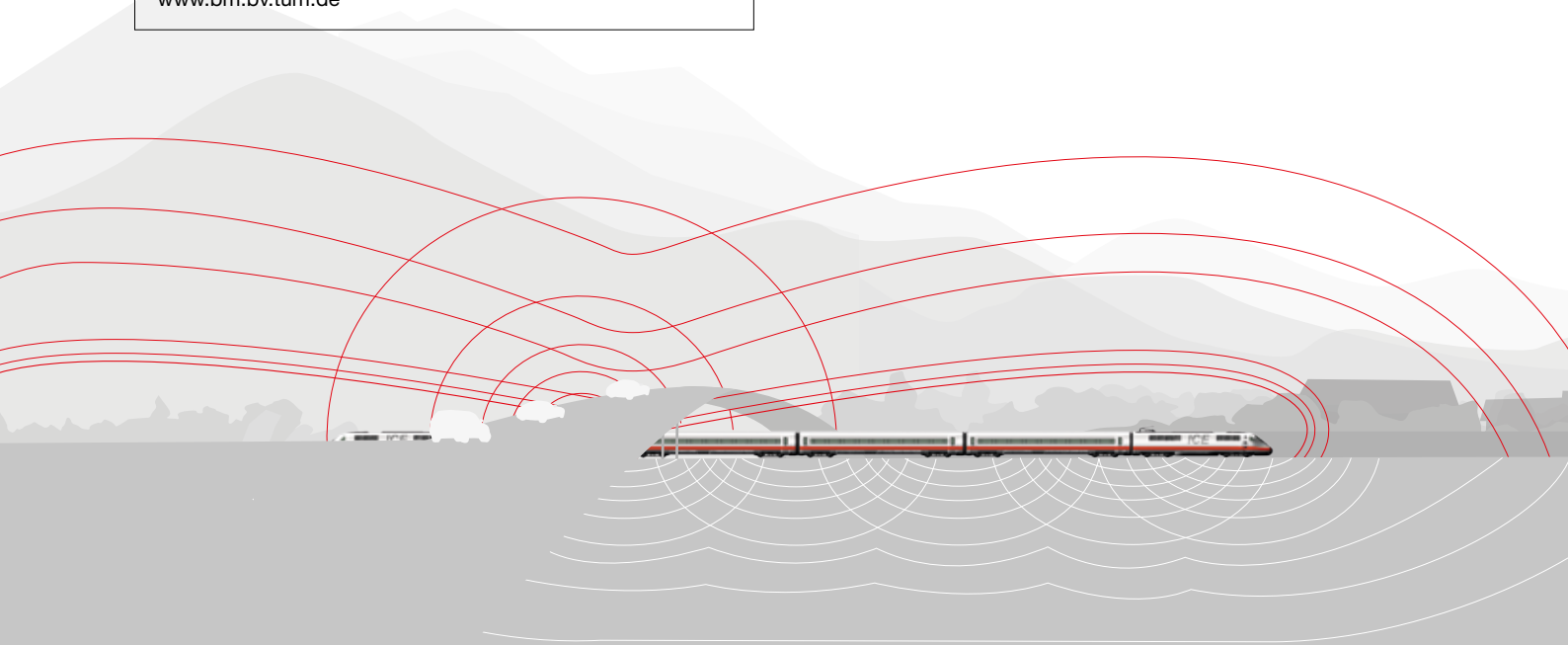
**Länger miteinander.**

**Informationen für Patienten und Angehörige:**  
[www.alzheimerinfo.de](http://www.alzheimerinfo.de)



Link

[www.bm.bv.tum.de](http://www.bm.bv.tum.de)



# Wenn Häuser lebendig werden

**Schall ist unsichtbar, kann aber am falschen Ort sehr lästig sein. Forscher der TUM benutzen mathematische Methoden der Computersimulation und kombinieren sie mit Messungen. So kommen sie unerwünschten Schwingungen auf die Spur**

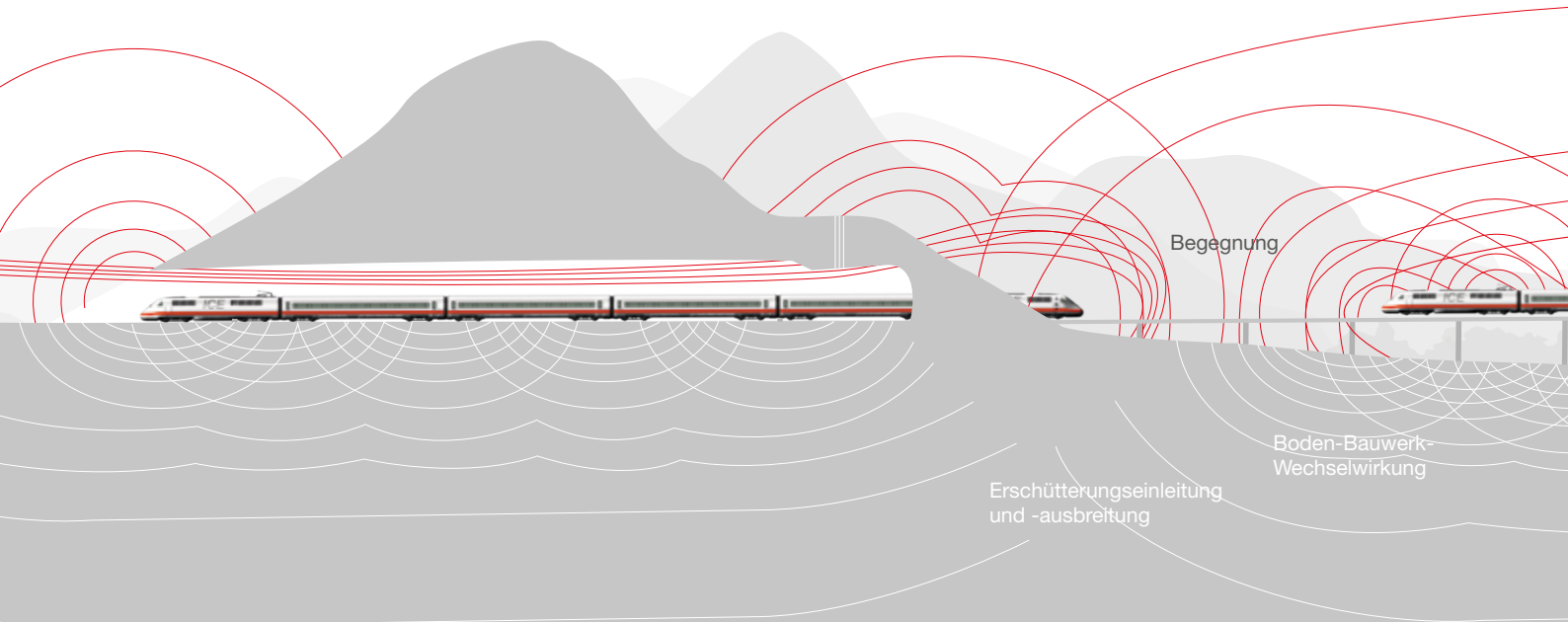
**W**as haben quietschende Fahrzeugbremsen und hellhörige Häuser gemeinsam? Sie können Schwingungen nicht schlucken und geräuschlos in Wärme umwandeln, sondern leiten sie mehr oder weniger stark gedämpft an unsere Ohren weiter. So ist es also nicht verwunderlich, dass am Lehrstuhl für Baumechanik der TUM neben Häusern, Brücken, U-Bahnrohren und Bahngleisen auch Bremsen untersucht werden. „Die Baudynamik beschreibt die Schwingungen von und in Bauten und in den übertragenden Strukturen. Wir betrachten Hochbauten und Verkehrswege, Tunnelstrukturen und den Baugrund“, sagt Professor Gerhard Müller, der den Lehrstuhl innehat. „Das beginnt bei Vibrationen mit Schwingwegen im Bereich von Atomdurchmessern, die ein Mensch nicht spüren kann, die aber unter Umständen die Funktionstüchtigkeit eines empfindlichen Mikroskops stören können, und reicht bis zu Erdbebenwellen.“

Müller und seine Mitarbeiter erwecken die Gebäude zum Leben – sie lassen sie virtuell im Computer schwingen, so wie sie es in Wirklichkeit tun würden, und das bereits lange bevor sie gebaut werden. So kann man schon im Vorfeld Rückschlüsse auf unerwünschte Schall- und Vibrationseffekte ziehen und Mängel abstellen.

Da war zum Beispiel der Transrapid, ein Projekt, das die Region München jahrelang in Atem hielt. Die Betreiber wollten im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wissen, wie viel Lärm und welche Schwingungen zu erwarten sein würden, und beauftragten deshalb Gerhard Müller und sein Team, das zu erforschen. Seine Mitarbeiter Dr. Stefan Lutzenberger und Georg Frühe simulierten den Transrapid auf dem Computer und entdeckten dabei interessante Effekte: „Man würde ja denken, dass eine Magnetschwebbahn keine Erschütterungen verursacht, weil sie über den Schienen schwebt“, sagt Lutzenberger, „aber das ist nicht der Fall. Die Bahn überträgt trotzdem Wechselkräfte, in diesem Fall über die Magnete.“

#### Der Kamm-Effekt beim Transrapid

Diese haben eine feste Länge, dazwischen sind Lücken. Wenn die Bahn darüberfährt, entstehen kurze Schläge, wie wenn man mit dem Fingernagel die Zinken eines Kamms entlangstreicht. Mit ihren Computersimulationen, die diese Effekte nachbildeten, prüften die Wissenschaftler, was das für den Immissionsschutz bedeutet. „Wir untersuchten: Wann muss man Maßnahmen ergreifen und wie sehen diese aus?“, so der ▶



Bauingenieur. „Wir haben dabei die prinzipiellen Vorgänge unabhängig von der geplanten Strecke zum Münchner Flughafen erforscht.“

### Wenn Schwingungen spürbar werden

Neben dem „Kamm-Effekt“ kommt noch hinzu, dass der Fahrweg in regelmäßigen Abständen Stützen hat. „Zwischen diesen gibt der Fahrweg dem Druck des Fahrzeugs anders nach als direkt darüber. Außerdem können die Stützen unterschiedlich reagieren, je nachdem, ob sie zum Beispiel auf Fels oder auf Kies stehen. Daraus leitet sich auch das Schwingungsverhalten der Träger dazwischen ab.“ Diese Kräfte werden in den Boden übertragen und dürfen weder die Gebrauchstauglichkeit noch die Tragsicherheit gefährden – wie die Fachleute das nennen. In einfachen Worten bedeutet es, dass die Schwingungen bestimmte Grenzen nicht überschreiten dürfen. Ab einer Schwinggeschwindigkeit von etwa einem Zehntel Millimeter pro Sekunde sind sie für den Menschen spürbar und auch in den Häusern neben dem Fahrweg zu fühlen.

Damit die Tragsicherheit garantiert ist, müssen die Forscher außerdem noch ermitteln, wie man ein Aufschwingen des Fahrwegs infolge von Resonanzeffekten verhindert, und auch die Ermüdung des Materials mit berücksichtigen. Dass Gebäude schwingen, ist schon lange bekannt und kann etwa an Glockentürmen kata-

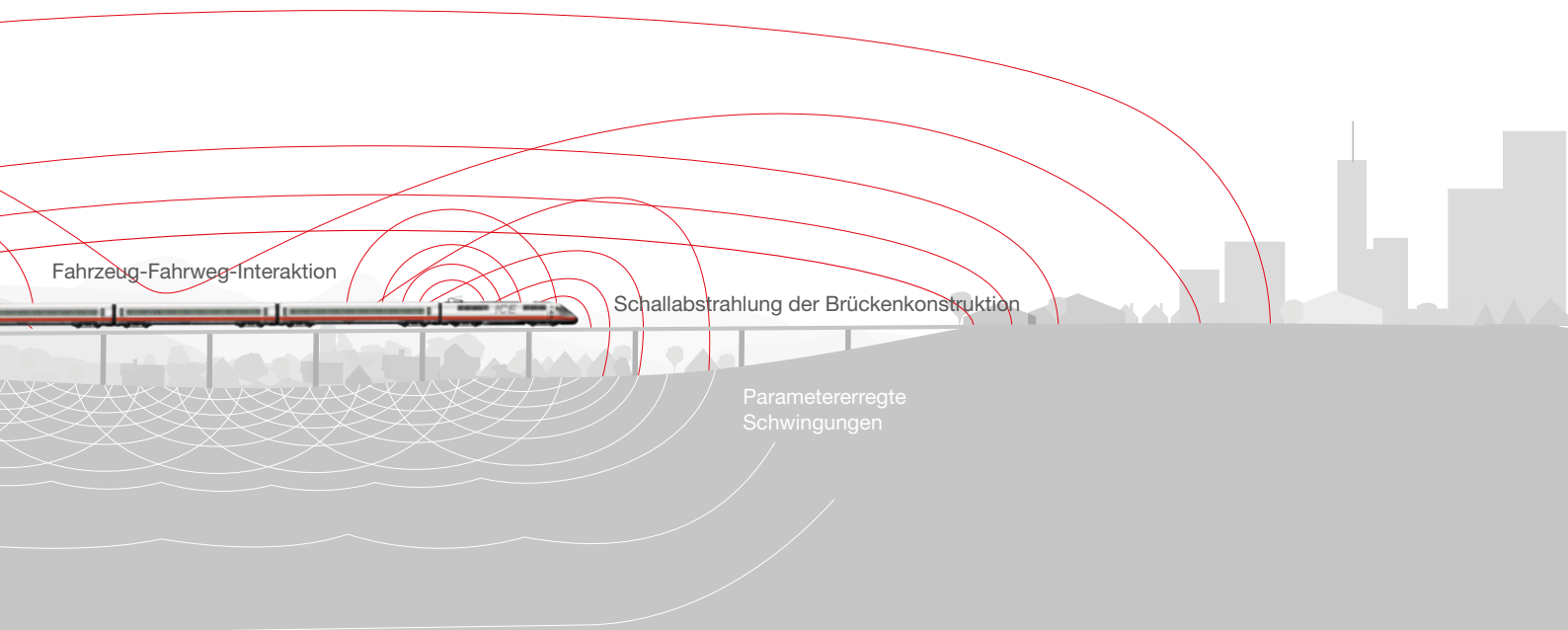
strophale Folgen haben. Dort übertragen sich die dynamischen Kräfte der Glocken auf den Turm und können ihn schlimmstenfalls zum Einsturz bringen. Aber sogar Bewegungen, die einfach nur durch Wind angeregt werden, können ein Bauwerk zerstören. Das zeigte die Tacoma-Brücke im US-Bundesstaat Washington. Sie stürzte am 7. November 1940 nach nur vier Monaten Betriebszeit spektakulär ein, nachdem sie von Windböen zur Resonanz gebracht worden und wie ein Trampolin hin- und hergeschlingert war. Schon vorher hatte diese Hängebrücke wegen ihrer starken Schwingungen den Spitznamen „Galloping Gertie“ erhalten und war zum Touristenmagneten geworden.

### Katastrophen durch Planung vermeiden

Um derartige Katastrophen zu vermeiden, berechnen Baudynamiker heute mithilfe ihrer Computer schon in der Planungsphase, was im ungünstigsten Fall passieren kann. Dementsprechend lassen sich dann konstruktive Maßnahmen ergreifen, das Bauwerk sicher und schwingungsarm zu gestalten.

Auf die Idee, dass man Gebäude berechnen kann, kamen einst die alten Griechen. „Schon zwischen dem sechsten und dem zweiten bis dritten Jahrhundert v. Chr. wurden in der Antike Grundlagen für unsere heutige Mechanik gelegt“, erzählt Gerhard Müller. „Pythagoras erkannte, dass gesichertes Wissen nur mithilfe





mathematischer Methoden zu entwickeln sei. Und Aristoteles betonte, dass eine wissenschaftliche Disziplin über Ursachenkenntnis verfügen muss. Das bedeutet also: Man muss den Ursachen auf den Grund gehen und dabei die Mathematik verwenden.“ Und dieser Maxime folgen die Bauingenieure noch heute, auch wenn inzwischen die Mittel, die ihnen zur Verfügung stehen, um Lichtjahre feiner und ausgefeilter sind.

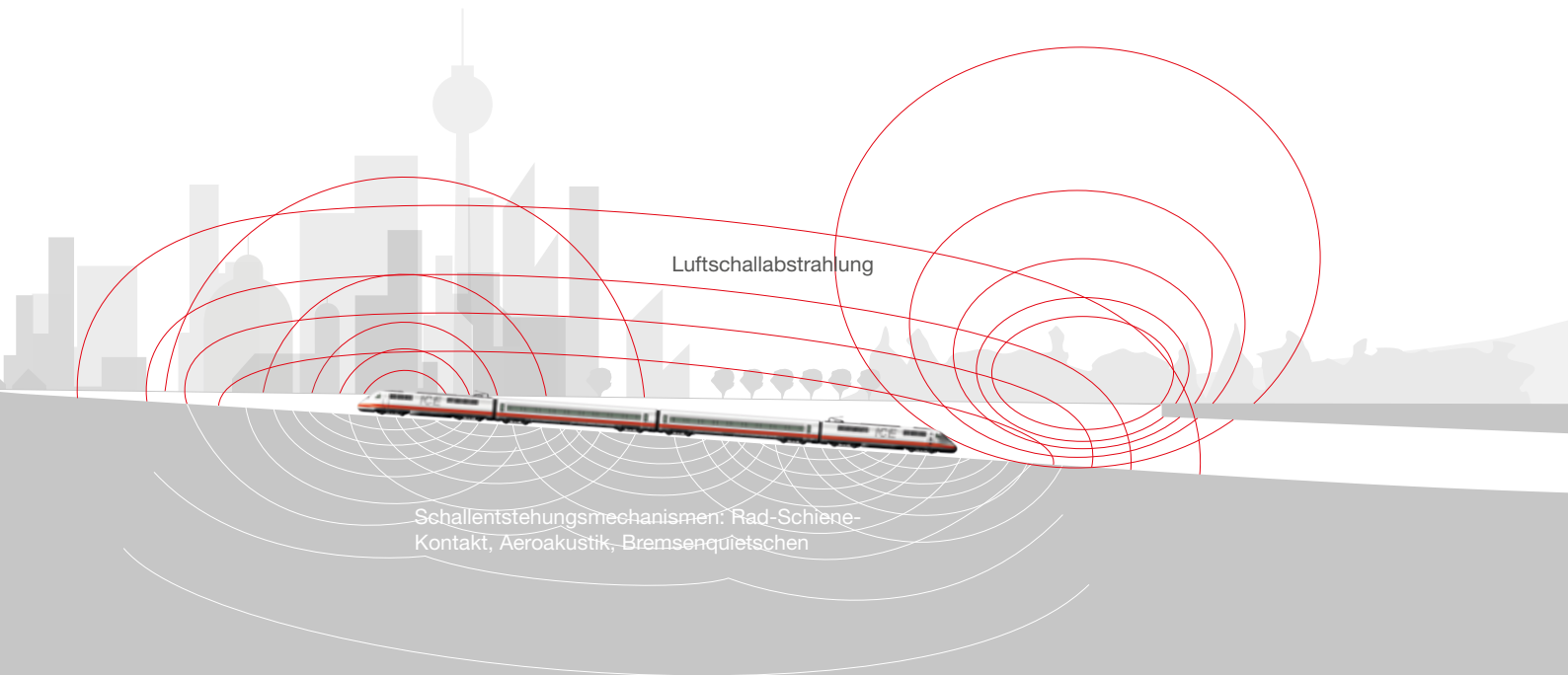
#### Vom Schall des Eisenbahnzuges getroffen

Die Forscher teilen mithilfe des Computers Räume und Körper in sogenannte finite Elemente ein, das sind gedachte Zellen, deren Schwingungsverhalten man mit komplizierten Gleichungen – der Fachmann spricht von Differenzialgleichungen – berechnen kann. Dieses virtuelle System regt man dann mathematisch mit Schall – etwa eines vorbeifahrenden Eisenbahnzuges – an. Jede Zelle, die vom Schall „getroffen“ wird, leitet nun ihre Schwingungsenergie an ihre Nachbarzellen weiter und wird ihrerseits von diesen angeregt oder gedämpft; so verknüpft man mithilfe des Computers die Elemente in einer numerischen Simulation miteinander. Die Tücke des Objekts erfordert dabei aber immer wieder besondere Tricks, etwa den Einsatz von Wavelets bei der Analyse der Schwingungen. Dieses mathematische Verfahren, das einst für die Chaostheorie entwickelt wurde, erlaubt es, mithilfe spezieller Funktionen aus vielen überlagerten

Daten die „Essenz“ herauszufiltern, aus der später die Gesamtinformation wieder rekonstruiert werden kann.

#### Der Werkzeugkasten der Baudynamiker

Für hochfrequente Schwingungen stoßen die Finite-Elemente-Methoden an ihre Grenzen, deshalb haben die Experten einen ganzen Werkzeugkasten mit anderen Verfahren: So mittelt man in der Statistischen Energieanalyse über große Bereiche, um verlässliche Prognosen zu erstellen. Die Integraltransformations- und die Randelementemethode hingegen verwendet man bei der Untersuchung von sehr großen Gebieten, wie zum Beispiel von Baugrund. Hier schließt man aus den Schwingungen der Ränder auf das Gesamtsystem. Ein weiteres Beispiel, das die Baumechaniker beschäftigt, erläutert Martin Buchschmid: „Angenommen, wir wollen berechnen, wie sich Schall in einem Gebäude verteilt, unter dem eine U-Bahn hindurchfährt, oder welches Schallfeld sich in einem Auto während der Fahrt ausbildet. Dort wird sowohl die Struktur selbst als auch die Luft im Inneren zu Schwingungen angeregt. Diese haben unterschiedliche Wellenlängen und werden durch die Beschaffenheit der Oberflächen beeinflusst, je nachdem, ob diese den Schall schlucken oder reflektieren.“ Buchschmid entwickelt deshalb zusammen mit Kollegen Verfahren, mit denen man das Schwingungsverhalten der Wände beschreiben kann. Gleichzei- ▶



tig untersucht er mit der Finite-Elemente-Methode, welche sogenannten Eigenschwingungen die Räume als Ganzes zeigen würden, wenn sie starr wären. Denn wie in einem Musikinstrument, etwa einer Geige, schwingt auch die Luft in großen Räumen, und zwar in ganz charakteristischen Tonhöhen, je nach Größe und Form. Die so erhaltene Schallverteilung kombinieren die Wissenschaftler dann mathematisch mit den schwingenden Wänden und erhalten damit ein Schallfeld, das ihnen Hinweise auf die Energieverteilung im Gebäude oder im Auto gibt.

Da jede Zelle in der Simulation mehrere Dimensionen hat, erfordert das schnell sehr viel Rechenzeit. Je kleiner die Zellen sind, desto genauer ist meist das Ergebnis. Wenn aber der Computer an seine Grenzen stößt, muss man sich neue Wege ausdenken, und das tun die Spezialisten am Lehrstuhl für Baumechanik. Sie versuchen, die Fülle der Daten zu reduzieren, indem sie irrelevante Dinge weglassen und nur die entscheidenden Faktoren berücksichtigen. An den Stellen, wo sich wenige Änderungen abspielen, kann man Mittelwerte annehmen, an anderen Stellen muss man unter Umständen ganz genau hinsehen.

### Modellierung der Wirklichkeit

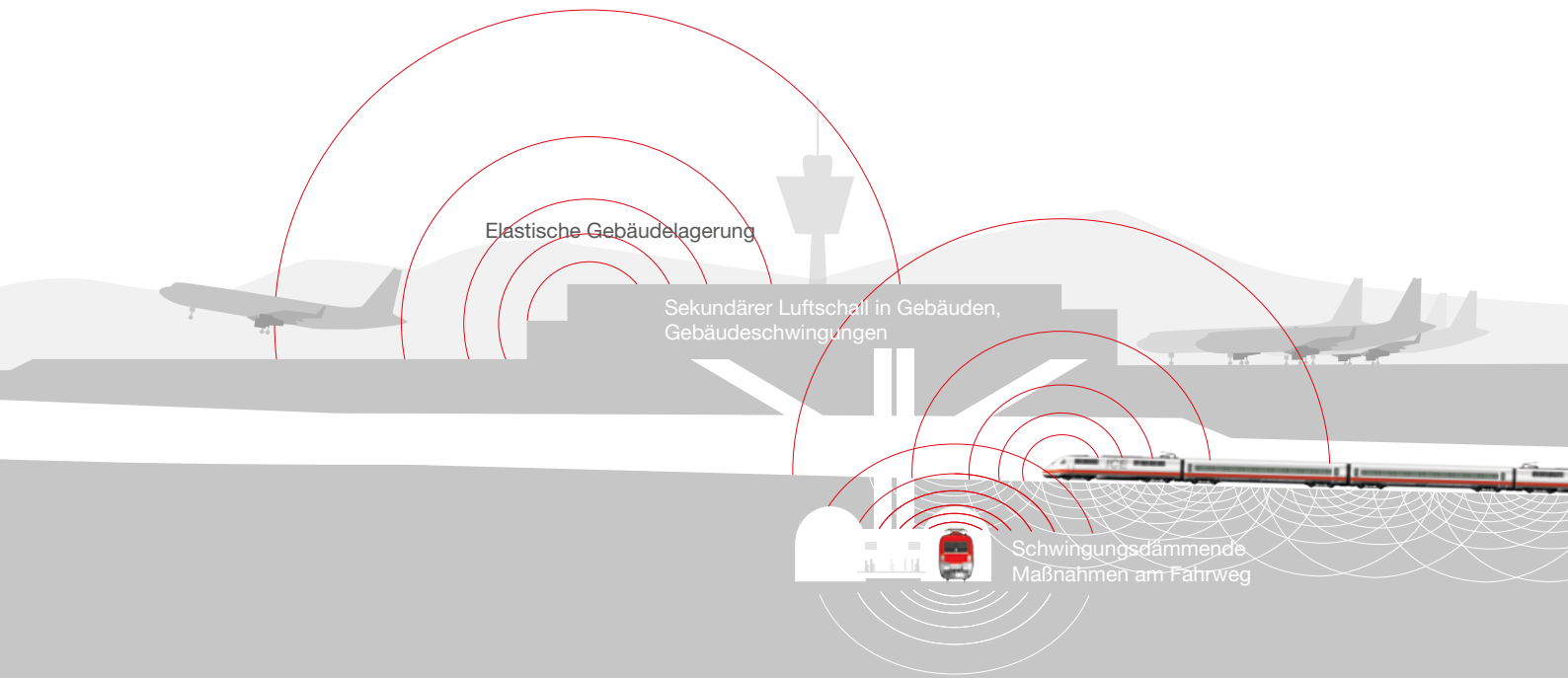
So kann man am Ende schon bei der Bauplanung vorhersagen, wo beispielsweise Dämpfungselemente not-

wendig sind. „Bauingenieure werden darauf geschult, sich gut in die Modellierung der Wirklichkeit hineinzuversetzen“, sagt Gerhard Müller, und diese Fähigkeit benötigen sie auch bei den Rechenmodellen. Bei einem Gebäude, das in der Hauptsache aus rechtwinkligen Elementen besteht, mag das noch relativ einfach sein, kompliziert wird es bei beliebig geformten Räumen, etwa im Innenraum eines Autos. Aber auch hier kommen die Forscher voran und entwickeln Algorithmen, die man anwenden kann, ohne dass der Rechner wochenlang blockiert ist.

So war das auch bei den Bremsen. Alexander Buck und Baldur Allert haben für BMW die quietschende Bremse über ein Finite-Elemente-Modell abgebildet und die Schwingformen des Systems im Rahmen einer Stabilitätsanalyse untersucht. Dabei entdeckten sie, dass bestimmte Bewegungen in der Ebene der Bremsscheibe selbst besonders leicht zum Quietschen führen. Sie variierten im Computer Details der Konstruktion, aber auch das Material der Bremsscheibe, um Hinweise für Abhilfemaßnahmen zu geben.

### Simulation und Realität werden eng verzahnt

Damit die numerischen Simulationen die Wirklichkeit zuverlässig beschreiben, müssen die Rechnungen eng mit der Realität verzahnt sein. Modelle geben die Wirklichkeit immer nur mit Unschärfen wieder, sodass



es besonders effizient ist, wenn man schon während der Bauphase Messungen durchführt und damit die Modelle immer wieder nachschärft. „Beim Bau eines Wohnhauses über einer U-Bahnrohre ging es beispielsweise darum, die Erschütterungen durch die U-Bahn zu ermitteln“, erzählt Gerhard Müller. „Da hat man den Bauplan so offen gestaltet, dass es zu bestimmten Zeitpunkten noch möglich gewesen wäre, besondere Schallschutzmaßnahmen einzubauen. Wir haben den Bau mit Messungen und Simulationen begleitet und unsere Prognosegenauigkeit auf diese Weise ständig erhöht. Schließlich stellte sich rechtzeitig heraus, dass zusätzliche Maßnahmen nicht nötig waren.“

### Bauwerke mit Sensoren überwachen

So weit also die Untersuchung der regulären Fälle, wie sie im Alltag zu erwarten sind. Was aber passiert, wenn außerordentliche Bedingungen auftreten – Materialermüdung oder gar Erdbeben? Auch dazu haben die Wissenschaftler Werkzeuge entwickelt, die sowohl Voraussagen von Schäden als auch Vorbeugung dagegen erlauben. Zum Beispiel die Schallemissionsanalyse: „Wenn Beton bricht, stößt er Schallwellen aus“, sagt Gerhard Müller. „Wenn man in Bauwerken entsprechende Sensoren einbaut und die Ereignisse aufzeichnet, kann man schon kleine Schäden feststellen und Schlimmerem vorbeugen.“ Der Einsturz der Dachkon-

struktion der Berliner Kongresshalle im Mai 1980 wäre womöglich zu verhindern gewesen, wenn dieses Verfahren damals schon zur Verfügung gestanden hätte. Gerade in jüngster Zeit häuften sich Erdbeben, und die Schäden waren dort besonders hoch, wo die Gebäude nicht angepasst gebaut waren. Johannes Guggenberger und Yuh Luen Lin haben mit Computermodellen untersucht, wie man Häuser mit „Sollbruchstellen“ ausstatten kann, damit sie die Energie kontrolliert absorbieren und nicht einstürzen. Nun ist aber jedes Erdbeben anders, und man muss die Vorhersagen deshalb an vielen unterschiedlichen Beben überprüfen. Das wäre aber viel zu aufwendig. Die Bauingenieure haben deshalb die Rechenmodelle intelligent abgespeckt und einen hybriden Ansatz entwickelt: Auf der einen Seite berechnen sie globale Schwingungen, auf der anderen Seite schauen sie an den Stellen, wo ein Versagen eintreten könnte, noch einmal wie mit der Lupe darauf.“ Am Ende bleibt eines bei allen Projekten des Lehrstuhls für Baumechanik gleich: Es geht darum, Objekte zum Leben zu erwecken und ihnen so die Geheimnisse ihrer Schwingungen zu entlocken. Die Kunst besteht darin, möglichst fein und zuverlässig zu rechnen, ohne den Computer zu überfordern. So treffen sich die Methoden der Baumechanik mit denen der Mathematik und Informatik – eine interdisziplinäre Herausforderung, die nicht nur Bremsen leiser macht. *Brigitte Röthlein*

### Impressum

#### Faszination Forschung

Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München  
gefördert durch die **Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder**

#### Herausgeber:

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann, Präsident der Technischen Universität München

**Chefredakteurin:** Tina Heun, Technische Universität München, Corporate Communications Center

**Lektorat:** Angela Obermaier

**Art Direction:** Charlotte Binder, Florian Hugger, Susanne Schmid, ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

**3-D- und Infografik:** Kiril Damyanov, Johanna Hermenau, Martina Matovinovic, Andreas Sträubel, ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

**Autoren dieser Ausgabe:** Birgit Fenzel, Matthias Hopfmüller, Sibylle Kettembeil, Thorsten Naeser, Dr. Brigitte Röthlein, Tim Schröder, Dr. Evdoxia Tsakiridou, Dr. Karsten Werth

**Redaktionsanschrift:** Technische Universität München, Corporate Communications Center, 80290 München

**E-Mail:** faszination-forschung@zv.tum.de

**Druck:** Druckerei Joh. Walch GmbH & Co. KG, Im Gries 6, 86179 Augsburg

**Auflage:** 33.000; **ISSN:** 1865-3022

**Erscheinungsweise:** zweimal jährlich

**Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:** Tina Heun

**Verantwortlich für die Anzeigen:** Tina Heun

**Titelbild:** ediundsepp

© 2010 für alle Beiträge Technische Universität München, Corporate Communications Center, 80290 München. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Aufnahme in Onlinedienste und Internet, Vervielfältigung auf Datenträgern nur mit ausdrücklicher Nennung der Quelle: „Faszination Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München.“ Anmerkungen zu den Bildnachweisen: Wir haben uns bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte zu ermitteln. Sollte der Redaktion gegenüber dennoch nachgewiesen werden, dass eine Rechtsinhaberschaft besteht, entrichten wir das branchenübliche Honorar nachträglich.



### Die Autoren

**Birgit Fenzel** studierte zunächst Germanistik, Philosophie und Erziehungswissenschaften, bevor sie die journalistische Laufbahn einschlug. Nach Uniabschluss und Volontariat arbeitete sie als Tageszeitungsredakteurin, als Freie für verschiedene Redaktionen des öffentlich-rechtlichen Rundfunks und als Wissenschaftsredakteurin bei der ddp-Nachrichtenagentur und zuletzt als Redakteurin bei der Max-Planck-Gesellschaft.

**Matthias Hopfmüller** ist Diplom-Geograf und ausgebildeter Redakteur. Zunächst als freier Autor für den Wissenschaftsteil der Süddeutschen Zeitung tätig, wechselte er 2001 in die Konzernzentrale der MAN Gruppe. Dort war er Chefredakteur des Wirtschafts- und Technikmagazins MAN Forum sowie Presseferent für Technik- und Nachhaltigkeitsthemen. Seit Juli 2008 arbeitet er als selbstständiger Redakteur und Pressereferent vor allem für die Unternehmensberatung Roland Berger Strategy Consultants. Seine Themenschwerpunkte sind Energie, Green Technology und Klimaforschung.

**Sibylle Kettembeil** studierte in Hohenheim Biologie und arbeitete einige Jahre als Biologin; seit einem Aufbaustudium Journalistik in Hannover ist sie nebenberuflich als freie Wissenschaftsjournalistin tätig für Zeitschriften, Zeitungen, Informationsdienste, Internet. Im Hauptberuf ist sie Redakteurin des Hochschulmagazins TUMcampus der Technischen Universität München.

**Thorsten Naeser** studierte in München Geografie und arbeitete anschließend als freier Wissenschaftsjournalist und Fotograf in München. Seine Auftraggeber waren Tageszeitungen, Magazine und internationale Forschungseinrichtungen. Seit 2008 ist er Referent für Presse- und Öffentlichkeit in der Arbeitsgruppe Attosekunden- und Hochfeldphysik von Prof. Ferenc Krausz am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching.

**Dr. Brigitte Röthlein** arbeitet seit 1973 als Wissenschaftsautorin bei verschiedenen Zeitschriften, bei Fernsehen, Rundfunk und für Zeitungen. Sie ist Diplom-Physikerin und wurde in Kommunikationswissenschaft, Pädagogik und Geschichte der Naturwissenschaften promoviert. Von 1993 bis 1996 leitete sie neben ihrer freien publizistischen Tätigkeit das Geschichtsmagazin Damals, 2004/2005 das Forschungs- und Technologiema-gazin Innovate. Sie veröffentlichte Sachbücher unter anderem über Hirnforschung, Atomphysik und Quantenphysik.

**Tim Schröder** ist freier Wissenschaftsjournalist in Oldenburg. Er arbeitete als Redakteur bei der Berliner Zeitung und schreibt regelmäßig für die Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, die Neue Zürcher Zeitung und Mare. Seine Schwerpunkte sind die angewandte Forschung, die Grundlagenforschung sowie die Themen Energie und Umwelt.

**Dr. Evdoxia Tsakiridou** hat in der Neurophysiologie promoviert und bei einer Tageszeitung ein zweijähriges Volontariat absolviert. Die Biologin lebt und arbeitet seit 1998 als freie Wissenschaftsjournalistin in München und schreibt für Tageszeitungen, Magazine, Mediendienste und Internetseiten. Von 1999 bis 2001 war sie als Pressereferentin für Technologie und Innovationen bei einem internationalen Industrie-Unternehmen tätig. Ein weiteres Standbein ist die Autorenschaft und Produktion von Wissenschafts-Podcasts.

**Dr. Karsten Werth** ist freier Wissenschaftsjournalist in München. Er studierte in Tübingen Geschichte und Amerikanistik. Er promovierte mit einer Arbeit über das US-Raumfahrtprogramm der 1960er-Jahre. Erfahrung in Wirtschaft und Journalismus sammelte er unter anderem bei JBI Localization in Los Angeles, VW Canada in Toronto, Deutsche Welle-TV in Berlin, Deutsche Fernseh Nachrichten Agentur in Düsseldorf und beim Schwäbischen Tagblatt in Tübingen. Als Textchef war er für die Stuttgarter Agentur WortFreunde Kommunikation tätig.

# Aktuelle Fachbücher der Akustik

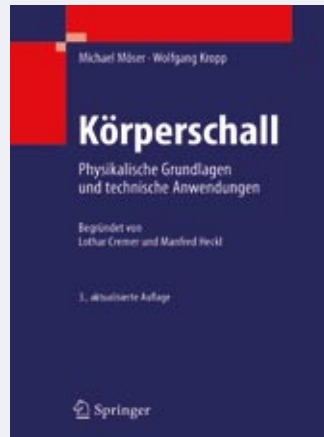


- Erste vollständige Sammlung über die akustische Messtechnik

Messmethoden und -mittel der Physik und Technik sind ein wichtiger Aspekt der ingenieurwissenschaftlichen Akustik, da inzwischen z. B. die Grenzwertfestlegung für Immissionen, Emissionen und für das akustische Rückhaltevermögen von Bauteilen wie Türen, Fenster oder Schalldämpfer erforderlich ist. Das Buch stellt die akustischen Messverfahren und die dazugehörige Messtechnik in den Vordergrund der Betrachtung.

2010. XXIV, 730 S. 350 Abb. Geb.  
ISBN 978-3-540-68086-4

► € (D) 149,95 | € (A) 154,15  
\*sFr 217,50



- Betrachtungen zur Messtechnik jetzt in eigenem Abschnitt dargestellt

Der Inhalt beschreibt Entstehung, Ausbreitung, Abstrahlung und Messung von Körperschall – wichtige Themen für die Lärminderung bei Maschinen oder Gebäuden, aber auch bei der Messung mechanischer Materialdaten. Es ist erklärte Absicht der neuen Autoren, Geist und Idee des ursprünglichen Werkes und seiner Väter, Lothar Cremer und Manfred Heckl, in dieser 3. Auflage zu bewahren, und trotzdem erforderliche Änderungen und Anpassungen an den aktuellen Wissensstand vorzunehmen.

3., aktual. Aufl. 2010. XX, 580 S.  
200 Abb. Geb.

ISBN 978-3-540-40336-4  
► € (D) 149,95 | € (A) 154,15  
\*sFr 233,00



- Neu: Einige Abbildungen erstmals in Farbe

Dieser Klassiker ist in Aufbau und Stoffauswahl einzigartig: Alle Kapitel stellen direkt und indirekt die Frage, wie die Lautstärke in den wichtigsten Umgebungen (in Gebäuden und im Freien) verringert werden kann. Den sogenannten Maßnahmenkapiteln sind Abschnitte vorangestellt, die das Grundlagenwissen zur Natur von Schall und Schwingungen vermitteln. Mit Zusammenfassungen, Übungsaufgaben und Lösungen zu jedem Kapitel.

8., aktual. Aufl. 2009. XX, 561 S.  
267 Abb., 17 in Farbe. (VDI-Buch) Geb.  
ISBN 978-3-540-89817-7

► € (D) 69,95 | € (A) 71,91  
\*sFr 101,50  
VDI-Mitgliedspreis  
► € (D) 62,95 | € (A) 64,71  
\*sFr 91,50



- Für Ingenieure in der Praxis und Naturwissenschaftler, speziell Physiker sowie Studierende der Ingenieurwissenschaften oder Physik

Umfassende Einführung in die moderne Technische Akustik, ihren physikalischen Grundlagen und Anwendungen mit vielen Herleitungen, z.B. Computerunterstützte Akustik, oder Moderne industrielle Anwendungen (wie Medizintechnik, Lärmbekämpfung). Abschließend diskutieren die Autoren auch aktuelle Forschungsprojekte aus dem Bereich der Technischen Akustik.

2009. XVIII, 949 S. 16 Abb. in Farbe. Geb.  
ISBN 978-3-540-23430-2

► € (D) 89,95 | € (A) 92,48  
\*sFr 130,50

Ausführliche Informationen auf ► [springer.de](http://springer.de)



## Henning Kagermann

### Sofort handeln – parallel weiter forschen

Der Nachwuchsmangel in den technischen Berufen ist eine langfristige Herausforderung, der wir heute begegnen müssen. Schnelles Handeln ist erforderlich, weil eine Trendwende erst nach Jahren spürbar wird. Mehr Wissen ist erforderlich, weil wir bemerken müssen: Mit guten Absichten allein ist Besserung nicht in Sicht. Universitäten spielen eine Schlüsselrolle – bei der Gestaltung eines Studiums, das motivierend ist, und bei der Vermittlung der Zukunftschancen, die mit technischen Studiengängen verbunden sind.

**Dr. Henning Kagermann** ist seit 2009 Präsident von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Zuvor arbeitete er in leitenden Positionen für die SAP AG, seit 1991 als Mitglied des Vorstandes, seit 1998 als CEO. Henning Kagermann studierte in München und Braunschweig Physik. Der Promotion folgte 1980 die Habilitation für Theoretische Physik an der Technische Universität Braunschweig. Kagermann ist Mitglied mehrerer Aufsichtsräte und berät Wissenschaftsorganisationen. Im Mai 2010 übernahm er den Vorsitz der „Nationalen Plattform Elektromobilität“.

Es gibt Phänomene, die sind allgemein bekannt, werden gleichwohl aber in ihrer Brisanz unterschätzt. Der Nachwuchsmangel in den technischen Berufen ist so ein Phänomen. Dabei sind wir von einer Trendwende weit entfernt. Schlimmer noch: Wir wissen bis heute nicht einmal genau, auf welchem Wege wir eine nachhaltige Trendwende am besten erreichen können. Zu niedrige Quoten bei den Absolventenzahlen werden uns aber mittelfristig enorme Probleme bereiten. Langfristig gefährden sie, verschärft durch die demografische Entwicklung, die Grundlagen unserer Volkswirtschaft und unseres Gesellschaftssystems.

Wie sollten wir in Deutschland mit dieser Situation umgehen? Ich meine, wir müssen zweigleisig vorgehen: Einerseits heute schon handeln, andererseits parallel weiter forschen, um zu begreifen, wo die Ursachen liegen und wie sich am besten eine echte Trendwende einleiten lässt.

Den schnellsten Erfolg bringt die Verringerung der Abbrecherquote. Dazu muss man nicht unbedingt die Lehrpläne ausdünnen. Aber erhalten wir wirklich die besten Absolventen, indem wir im Grundstudium scharenweise rausprüfen? Ich habe den Eindruck: Mancher Professor verbaut im vermeintlichen Bemühen, wissenschaftliche Standards zu sichern, heute noch fähigen jungen Menschen die Zukunft. Klar ist natürlich auch: Ohne Theorie, ohne solide Mathematikkenntnisse, geht es nicht.

Wenn wir die Köpfe von morgen für uns gewinnen wollen, dann müssen wir wissen, was in diesen Köpfen vorgeht. Was denken denn junge Menschen über die technischen Berufe? Woher beziehen sie ihre Informationen? Welche Vorstellungen müssen wir korrigieren, wo auf berechnete Bedenken

eingehen? Das Nachwuchsbarometer von acatech und dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat uns anhand einer Befragung von 13.000 Kindern, Jugendlichen, Studierenden und Berufstätigen im technischen Bereich dringend benötigte Daten an die Hand gegeben. Nur zehn Prozent der Schüler ziehen einen technischen Beruf in Erwägung – doch 90 Prozent der berufstätigen Ingenieure sind mit ihrer Berufswahl zufrieden, ein Drittel spricht gar von einem Traumberuf.

Bei den Arbeitsperspektiven müssen sich die Technikwissenschaften nicht verstecken – bloß wissen das Schüler oft nicht, weil zumindest vor der Wirtschaftskrise andere Berufszweige bessere Karrierechancen zu bieten schienen. An den prinzipiell guten Aussichten der technischen Studiengänge ändern Konjunkturzyklen und Spekulationsblasen wenig.

Wir müssen mehr wissen, können aber schon jetzt zentrale Erfolgskriterien benennen: Kinder sollten schon früh der Technik begegnen und sie in spielerischer Auseinandersetzung kennenlernen. Schlüsselerlebnisse sind wichtig, wenn sie in Elternhaus und Schule weiter gefördert und vertieft werden. Wichtig ist auch eine kontinuierliche und didaktisch gut aufbereitete Technikausbildung in der Schule.

Technische Berufe halten mehr, als sie in den Augen vieler junger Menschen versprechen mögen. Diese Botschaft gilt es zu verbreiten. Universitäten sind dabei gefordert, sich am Dialog mit den klugen Köpfen von morgen früh zu beteiligen – und dabei die Kommunikationswege zu nutzen, die für junge Menschen die Maßstäbe setzen. Die TU München spielt dabei heute schon eine Vorreiterrolle. □

# Für die Stars von morgen. Ingenieurwissenschaften an der TUM.



www.reklameklub.de

## Ein Studium, alle Möglichkeiten.

Toptalente aufgepasst: Jetzt gibt es den neuen Bachelor-Studiengang **Ingenieurwissenschaften**. Der eröffnet euch eine riesige Fächervielfalt mit ingenieur- und naturwissenschaftlichen Schwerpunkten. Ausserdem profitiert ihr von einem breiten, anspruchsvollen Lehrangebot, von unternehmensnahen Themen und reizvoller Forschungsnähe. Und danach warten viele Masterprogramme auf euch.

**Ingenieurwissenschaften an der MSE – Munich School of Engineering.**  
[www.engineering.mse.tum.de](http://www.engineering.mse.tum.de)



## Sind alternative Energien die einzige Alternative?



QR-Code mit  
dem Handy  
scannen und  
mehr über unser  
Umweltportfolio  
erfahren.

**Mit unserem Umweltportfolio sorgen wir für weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Energieerzeugung, -übertragung und -verbrauch.**

Ob in der Nutzung erneuerbarer Energien, in hocheffizienten Kraftwerken, beim verlustarmen Transport von Strom über weite Strecken oder in der energetischen Sanierung von Gebäuden: Mit dem größten Umweltportfolio der Welt helfen wir, Kosten und Emissionen zu senken. So haben unsere Kunden im Jahr 2009 insgesamt 210 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart.

[siemens.com/answers](http://siemens.com/answers)

**SIEMENS**