

Faszination Forschung

Ringlaser für exakte Navigation

Die feinen Unterschiede: Genanalysen für schnellere Züchtungserfolge

Computervisionen: Maschinen lernen menschliche Sehfähigkeiten

Überraschende Physik mit einfachen Mitteln: Magnetwirbel eröffnen neue Elektronik

ISSN 18653022



9 771865 302004

Schutzgebühr
9,- Euro



SIEMENS

Das Auto hat eine lange Geschichte. Und seine Zukunft hat gerade begonnen.

Deutschland geht neue Wege. Mit Antworten für nachhaltige Mobilität.

Der Bedarf an Mobilität wächst und damit der Ausstoß von CO₂ – insbesondere in den städtischen Ballungsräumen. Jeden Tag pendeln 40 Millionen Deutsche zur Arbeit, zwei Drittel mit dem Auto. Die Antwort der Verkehrsplaner sind ganzheitliche Konzepte, die alle Verkehrsmittel intelligent vernetzen. Dabei wird das Auto auch künftig eine wichtige Rolle spielen. Nur wird es klimafreundlicher.

1 Million Elektroautos sollen nach den Plänen der Bundesregierung bis 2020 auf unseren Straßen fahren. Und unsere Städte sauberer und lebenswerter machen. Die Voraussetzungen dafür werden zurzeit an vielen Orten geschaffen.

Siemens arbeitet in Feldversuchen in Berlin, Erlangen und München an Ladesäulen, Bezahlssystemen und dem elektrischen Antrieb für das Auto von morgen. Und an einem Stromnetz, das ermöglicht, die Batterien von Elektroautos als Speicher für erneuerbare Energien aus Wind und Sonne zu nutzen. So verbessern Elektroautos selbst dann das Klima, wenn sie in der Garage stehen.

Die Antworten für die Mobilität der Zukunft sind da. Und die Zeit für neue Wege ist jetzt. Denn die Welt von morgen braucht unsere Antworten schon heute.

[siemens.com/answers](https://www.siemens.com/answers)

Liebe Leserinnen und Leser,

Am 15. Juni 2012 verkündeten die Deutsche Forschungsgemeinschaft und der Wissenschaftsrat, dass wir das Prädikat der Exzellenzuniversität erfolgreich verteidigt haben. Wenn wir uns über den neuerlichen Erfolg freuen, dann gilt unser Respekt heute auch unseren Vorgängern, auf deren Schultern wir stehen. Darauf haben wir in der jüngeren Vergangenheit ein Reformwerk gesetzt, das uns im internationalen Wettbewerb stark positioniert hat. Eine besondere Stärke der TUM ist ihr Gemeinschaftssinn. Kultivieren wir ihn auch in der Forschung, deren Spitzenergebnisse fast immer Gemeinschaftserlebnisse sind!



Unser Zukunftskonzept TUM. THE ENTREPRENEURIAL UNIVERSITY erhielt besonders mit seinem einzigartigen Karrieresystem für Nachwuchswissenschaftler Bestnoten. Im Rahmen der Exzellenzinitiative schaffen wir auch neue, integrierte Forschungszentren, die sich mit globalen Fragen wie Energie oder Ernährung befassen, zu deren Beantwortung Wissenschaftler vieler Fachrichtungen beitragen. Konsequenterweise werden die Munich School of Engineering und das TUM Institute for Advanced Study. Drei Münchner Exzellenzcluster gehen in die zweite Runde, und als vierter kommt der neurowissenschaftliche Forschungscluster SyNergy hinzu (LMU & TUM). Auch unsere TUM INTERNATIONAL GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING (IGSSE) fand den Beifall der Gutachter. Sie gilt als Modell für die fakultätsübergreifende, strukturierte Doktorandenausbildung.

Doch jetzt geht die Arbeit weiter. In der neuen Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins stellen wir Ihnen wieder aufsehenerregende Projekte vor, indem wir den großen Bogen von einem weltweit einzigartigen Ringlaser bis hin zur Züchtungsforschung schlagen. Diese Projekte stehen für die wichtigen Zukunftsthemen, die Ihre TUM als langfristige Strategie im Fokus hat: Gesundheit und Ernährung, Energie und Rohstoffe, Umwelt und Klima, Information und Kommunikation sowie Mobilität und Infrastruktur. Jeder der Beiträge im Magazin gibt Ihnen einen kleinen Eindruck aus der Fülle wissenschaftlich anspruchsvoller Fragestellungen, die wir in einem gesellschaftlichen Gesamtinter-

esse bearbeiten. Ob Technologien für künftige Elektroautos, ob effizientere Züchtung durch Genanalysen oder gar Krebsmedikamente, die tief im Innern der Zelle ansetzen und nur auf erkranktes Gewebe wirken – bei jedem dieser Themen fällt die Relevanz für unser aller Leben von heute und morgen auf. Dies gilt auch für die Grundlagenforschung an magnetischen Strukturen für eine bessere Datenverarbeitung, für Techniken, mit denen Maschinen ihre Umwelt ähnlich gut erfassen können wie der Mensch, oder für die hochgenaue Positionsbestimmung von GPS-Satelliten mithilfe eines Ringlasers tief unter dem Bayerischen Wald.

Eine der drängenden Herausforderungen unserer Zeit ist die Energiewende. Noch nie hatten wir so viele Zuschriften auf einen Beitrag wie zu dem Streitgespräch zwischen Martin Faulstich und Hans-Werner Sinn im letzten Heft. Deshalb führt Thomas Hamacher vom Lehrstuhl für Energiewirtschaft aus, wie die Politik die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende unterstützen kann.

Patrick Aebischer, Präsident der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), kommentiert die Schlüsselattribute einer erstklassigen Universität. Seine Ausführungen machen verständlich, warum EPFL und TUM in der EuroTech Universities Alliance zusammengeschlossen sind.

Eine spannende Reise in die Spitzenforschung der TUM wünscht Ihnen auch heute wieder

W. A. Herrmann

Prof. Wolfgang A. Herrmann
Präsident

In dieser Ausgabe

Seite 72

Nanoteilchen als optische Werkzeuge

Seite 6

Die feinen Unterschiede

Seite 16

Überraschende Physik

Seite 60

Computervisionen

Schnelle Datenspeicherung: Bestimmte magnetische Strukturen könnten eine völlig neue Elektronik eröffnen

Computer lernen sehen: Mit Programmen von TUM Forschern können Maschinen Situationen visuell erfassen

Titelgeschichten

Die feinen Unterschiede

Genanalysen führen zu schnelleren Züchtungserfolgen 6

Überraschende Physik mit einfachen Mitteln

Grundlagenforschung an Magnetwirbeln könnte die Datenspeicherung voranbringen 16

Ringlaser für exakte Navigation

Ein weltweit einzigartiger Ringlaser bestimmt Position und Neigung der Erde 36

Computervisionen

Computer lernen, ihre Umgebung auf einen Blick zu erfassen 60

Forschung und Technik

Simuliertes Gewimmel

Ein Simulationsprogramm berechnet, wie sich Menschenmassen bewegen 50

Die letzte Instanz vor dem Tod einer Zelle

Das Protein XIAP als Schlüssel für neue Krebsmedikamente 52

Reaktionslawine am Ursprung des Lebens

Der Ursprung des Lebens im Labor 71

Nanoteilchen als optische Werkzeuge

Künstliche DNA-Struktur modifiziert Licht 72

Das Fahrzeug der Zukunft

Innovative Technologien für die Elektromobilität 76

Fotos/Darstellungen Reihe oben: Heddergott/TUM; edlundsepp; Heddergott/TUM; edlundsepp; Mercap/TUM; Fotos/Darstellungen Reihe unten: Naeser, MPI für Quantenoptik; Dr. Thomas Pock (TU Graz) und Prof. Daniel Cremers; Heddergott



Seite 52

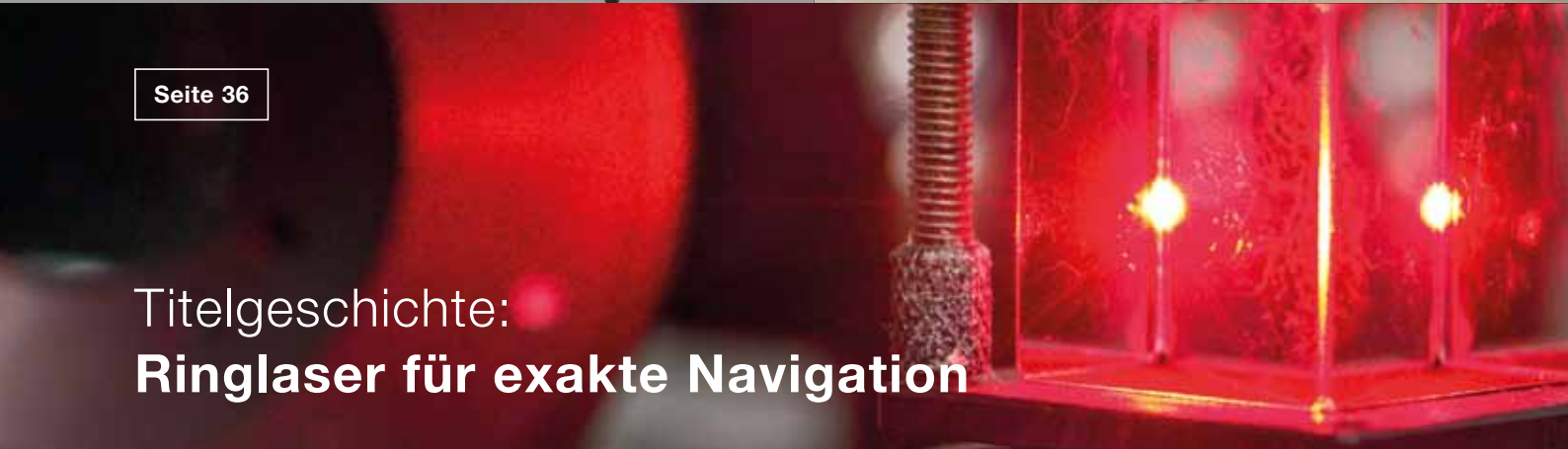
XIAP: Die letzte Instanz vor dem Tod einer Zelle



In dieser Ausgabe

Seite 76

Das Fahrzeug der Zukunft



Seite 36

Titelgeschichte: Ringlaser für exakte Navigation

Exakte Positionsbestimmung: Am Geodätischen Observatorium in Wettzell im Bayerischen Wald misst ein weltweit einzigartiger unterirdischer Ringlaser hochgenau die Position und die Neigung der Erde

Rubriken

Editorial 3

In eigener Sache
TU München geht erfolgreich in die zweite Runde der Exzellenzinitiative 2012 – 2017. 26

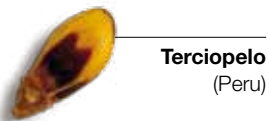
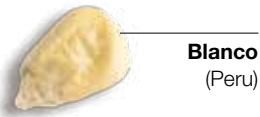
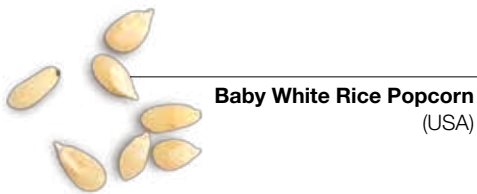
Herausforderung Energiewende
Ein Essay zum nötigen politischen Rahmen von Thomas Hamacher 28

Impressum 70

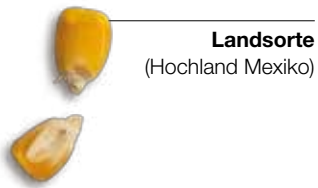
Standpunkt: Patrick Aebischer
Was gehört zu einer erstrangigen Universität? 86

Weise Worte der Wissenschaft

- Marie Curie (1867 – 1934)**
Ich gehöre zu denen, die die besondere Schönheit des wissenschaftlichen Forschens erfasst haben: Ein Gelehrter in einem Laboratorium ist nicht nur ein Techniker, er steht auch vor den Naturvorgängen wie ein Kind vor einer Märchenwelt.
- Hermann von Helmholtz (1821 – 1894)**
Jedoch das Gebiet, welches der unbedingten Herrschaft der vollendeten Wissenschaft unterworfen werden kann, ist leider sehr eng, und schon die organische Welt entzieht sich ihm größtenteils.
- Benoît Mandelbrot (1924 – 2010)**
Das Ziel der Wissenschaft ist es immer gewesen, die Komplexität der Welt auf simple Regeln zu reduzieren.



Kein Korn gleicht dem anderen: Mehrere Tausend verschiedene Maissorten gibt es weltweit. Die genetische Vielfalt ist für Pflanzenzüchter wertvoll, beispielsweise für die Entwicklung von dürre- oder schädlingsresistenten Sorten



Landsorte
(Hochland Mexiko)



Blaue Finger
(Zierform, Deutschland)



Serrano Perquesio
(Peru)



Landsorte
(Guanajuato, Mexiko)



Teosinte
(Wildmais, Mexiko)



Landsorte
(Chiaparo, Mexiko)



Coloras
(Peru)

Die feinen Unterschiede

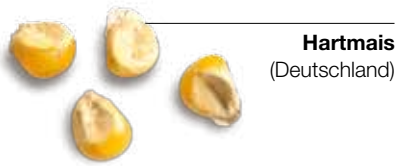
Maisertrag oder Milchleistung: Weil landwirtschaftlich interessante Merkmale von Nutztieren und Kulturpflanzen oft durch viele Gene gesteuert werden, sind der klassischen Züchtung Grenzen gesetzt. In einem einzigartigen Forschungsnetzwerk fahnden Pflanzengenetiker und Tierwissenschaftler deshalb im genetischen Code nach den kleinen Unterschieden, die eine große Leistung versprechen. Ihr Ziel: Züchterfolge vorhersagbar machen

Links

www.synbreed.tum.de
www.plantbreeding.wzw.tum.de
www.tierzucht.tum.de



Zuckermais
(USA)



Ab Ende September zeigt sich, ob Chris-Carolin Schön richtig gelegen hat. Der Mais auf den Versuchsfeldern der Technischen Universität München ist dann abgeerntet, der Ertrag jeder Parzelle genau gemessen. Für die Professorin am Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung ist dabei weniger wichtig, wie viel oder wenig am Ende auf der Waage angezeigt wird. Für sie zählt, wie genau die gemessene Körnermenge mit dem übereinstimmt, was aus den Erbinformationen der jungen Maispflanzen vorhergesagt wurde. Markergestützte oder auch genomische Selektion heißt die Methode, die Chris-Carolin Schön erforscht: „Wenn wir das Wachstum und den Ertrag bereits aus der Erbsubstanz eines Samenkorns vorhersagen können, lassen sich vielversprechende Pflanzen früher und verlässlicher für die Züchtung auswählen“, so beschreibt die Pflanzengenetikerin die Idee dahinter.

In der klassischen Züchtung ist bislang vor allem eines gefragt: Geduld. Bis zu zehn Jahre dauert es, eine neue Maissorte zu entwickeln. Denn das Erscheinungsbild der Elternpflanzen (ihr Phänotyp) verrät nicht immer, welches Erbmaterial (Genotyp) sie weitergeben: Dass hochgeschossene Pflanzen auch kleinwüchsigen Nachwuchs hervorbringen oder die Blütenfarbe Weiß in einer Generation verschwindet, um in der nächsten wieder sichtbar zu

werden, hat bereits Gregor Mendel in seinen berühmten Erbsenversuchen beobachtet. Für die Züchter heißt das, dass sie erst an den Nachkommen etwas über die Qualität einer Pflanzenlinie – also genetisch identischer Pflanzen – ablesen können. Zudem erschweren Umwelteinflüsse die Auswahl der besten Kreuzungspartner: wenn zum Beispiel unterschiedliche Witterungsbedingungen dafür sorgen, dass eine Pflanze prächtig gedeiht, die andere hingegen verkümmert – und das, obwohl es sich um genetisch identische Setzlinge handelt. Die klassische Züchtung ist deshalb auf langwierige Kreuzungsversuche angewiesen. Züchter müssen Hunderte Pflanzenlinien miteinander kombinieren und ihre Nachkommen über mehrere Jahre im Feld testen. Dann erst lässt sich abschätzen, welche Pflanzen unabhängig von den Umweltbedingungen hohe Erträge versprechen.

Mit der genomischen Selektion, also der Auswahl der Kreuzungspartner aufgrund der Gesamtheit ihrer Gene, lässt sich dieser Prozess deutlich beschleunigen, ist Schön überzeugt: „Mit herkömmlichen Züchtungsmethoden steigt der landwirtschaftliche Ertrag pro Jahr je nach Pflanzenart um ein bis zwei Prozent an. Mit genombasierten Verfahren lässt sich der Züchtungsfortschritt noch erhöhen, vielleicht sogar verdoppeln.“ In einem vom Bundesforschungs- ▶



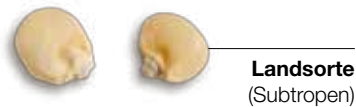
Für **Chris-Carolin Schön** ist die züchterische Optimierung von Nutzpflanzen eine wichtige Schlüsseltechnologie



Tausende von DNA-Proben werden im Synbreed-Projekt analysiert. Das Ziel: Züchterfolge bei Maispflanzen, Rindern oder Hühnern vorhersagbar machen



Die Welternährungsorganisation schätzt, dass bis Mitte des 21. Jahrhunderts der Bedarf an Nahrungsmitteln um 60 Prozent steigt. Wegen Klimaveränderungen braucht man neue Sorten, die Trockenheit und Schädlingen gewachsen sind



Landsorte
(Subtropen)



Landsorte
(Mexiko)



**High Mountain
Midnight Popcorn**
(USA)



Hopi Blue
(Mittelamerika)

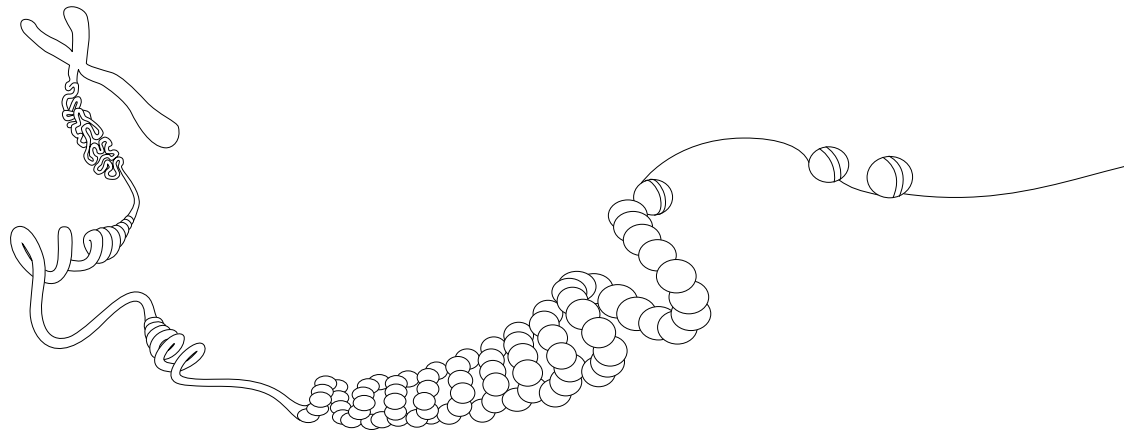
ministerium geförderten Forschungscluster entwickelt die Pflanzengenetikerin gemeinsam mit Kollegen aus den Tierwissenschaften, der Molekularbiologie, Bioinformatik und Humanmedizin die dafür notwendigen genetischen und mathematischen Methoden. Der Vorteil der Synbreed getauften Forschungsallianz: Erkenntnisse aus einer Disziplin lassen sich auf andere übertragen. Das Konzept der genomischen Selektion stammt beispielsweise ursprünglich aus der Rinderzucht. Auch hier ist der traditionelle Zuchtprozess zeitintensiv, weil sich erst durch die Prüfung vieler Nachkommen feststellen lässt, ob ein Bulle gute Gene weitergibt. Deshalb greifen Tierzüchter schon seit einigen Jahren auf Genomanalysen zurück, um daraus bereits für Jungtiere abzuschätzen, ob sie über- oder unterdurchschnittliche Erbanlagen mitbringen. Diesen Ansatz wollen die Synbreed-Forscher auch in der Hühnerzucht und in der Pflanzenforschung etablieren.

„Natürlich unterscheiden sich Tiere und Pflanzen, wenn es um Entwicklung, Ernährung und Gesundheit geht, aber in der Zucht haben wir ähnliche Prinzipien“, stellt Schön fest. Landwirtschaftlich interessante Merkmale wie die Milchleistung, die Legeleistung oder der Kornertrag werden oft durch mehrere Gene gesteuert. „Das eine Ertragsgen gibt es nicht“, sagt Schön. „Wie groß ein Maiskorn wird, hängt

von sehr vielen, sogar mehreren Hundert verschiedenen Genen ab, die auf komplexe Weise zusammenspielen. Jedes für sich genommen hat aber nur einen geringen Effekt.“ Das Maisgenom besteht aus zwei Chromosomensätzen mit jeweils etwa 32.000 Genen, die wiederum unterschiedliche Varianten, sogenannte Allele, aufweisen können. „Die Kunst besteht darin, die vielen kleinen Unterschiede im genetischen Code zu finden, die zusammengenommen für einen höheren Ertrag sorgen“, sagt die Wissenschaftlerin.

Wegweiser im Gewirr der DNA

Um diesen kleinen Unterschieden auf die Spur zu kommen, nutzen die Wissenschaftler Genmarker. Das sind winzige, eindeutig identifizierbare Abschnitte, in denen sich die DNA-Stränge verschiedener Individuen unterscheiden. Genmarker haben zwar ursächlich nichts mit dem eigentlichen Zielmerkmal zu tun, werden aber häufig im Paket mit größeren DNA-Abschnitten vererbt – und lassen sich deshalb als Wegweiser zu den Genen nutzen, die für komplexe Merkmale verantwortlich sein können. Die Genmarker, die von den Synbreed-Wissenschaftlern untersucht werden, sind jeweils nur ein Basenpaar groß: Sogenannte Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) sind winzige Änderungen in der Basenabfolge des DNA-Stranges, die durch ▶



Landsorte
(Tuxtla, Mexiko)

Dicht gepackt: Vor der Zellteilung konzentriert sich der DNA-Strang in Chromosomen. Dabei wickelt sich die DNA-Doppelhelix um Proteine (Histone) und verdichtet sich zu einer Kette von Nukleosomen

Ungefähre Genomgröße verschiedener Organismen (haploid)	
Organismus	Anzahl der DNA-Basenpaare, aus denen sich das gesamte Erbgut (Genom) zusammensetzt
Virus (Beispiel: HIV)	9.200
Bakterium (Beispiel: Escherichia coli DH 10B)	4,7 Mio.
Ackerschmalwand	119 Mio.
Huhn	1,1 Mrd.
Mais	2,3 Mrd.
Rind	2,9 Mrd.
Mensch	3,1 Mrd.
Saatweizen	16 Mrd.

Die Zahl der Basenpaare eines Genoms ist kein Maß für die Entwicklungshöhe eines Organismus. Manche Pflanzen wie der Saatweizen haben beispielsweise mehrere Chromosomensätze

Mutationen hervorgerufen wurden. Mehrere Zehntausend solcher SNPs aus der Mais-DNA lassen sich im Labor bereits durchsuchen.

Viele dieser feinen Unterschiede oder SNPs haben keine Auswirkungen auf sichtbare Merkmale. Die Gesamtheit der Variationen ist für die Genetiker aber dennoch interessant: Denn sie ermöglicht es, von jeder Pflanzenlinie ein genetisches Muster, einen genetischen Fingerabdruck zu erstellen. Tausende solcher Mais-Genomprofile durchkämmen die Synbreed-Forscher nach Regelmäßigkeiten und setzen sie mit im Feld gemessenen Ertragsunterschieden in Verbindung. Daraus entwickeln sie mathematisch-statistische Modelle, mit denen sich bereits aus dem genetischen Code eines Samenkorns vorhersagen lässt, welche Ertragspotenziale das Pflänzchen verspricht und ob es sich für eine Kreuzung eignet.

Abgeschaut hat sich Chris-Carolin Schön dieses Prinzip der genomischen Selektion von den Tierwissenschaftlern. Prof. Ruedi Fries und Hubert Pausch vom Lehrstuhl für Tierzucht der Technischen Universität München verwenden das Verfahren zum Beispiel, um die Augenpigmentierung bei Fleckviehrindern vorherzusagen. Eine sichere Vorhersage dieses komplexen Merkmals bedeutet in sonnenreichen Ländern einen Züchtungsvorteil, weil die dunkle Färbung



Kleine Unterschiede mit großer Wirkung: Die Synbreed-Wissenschaftler untersuchen, wie sich der Austausch einzelner DNA-Bausteine – sogenannte Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) – zum Beispiel im Ertrag von Maispflanzen spiegelt

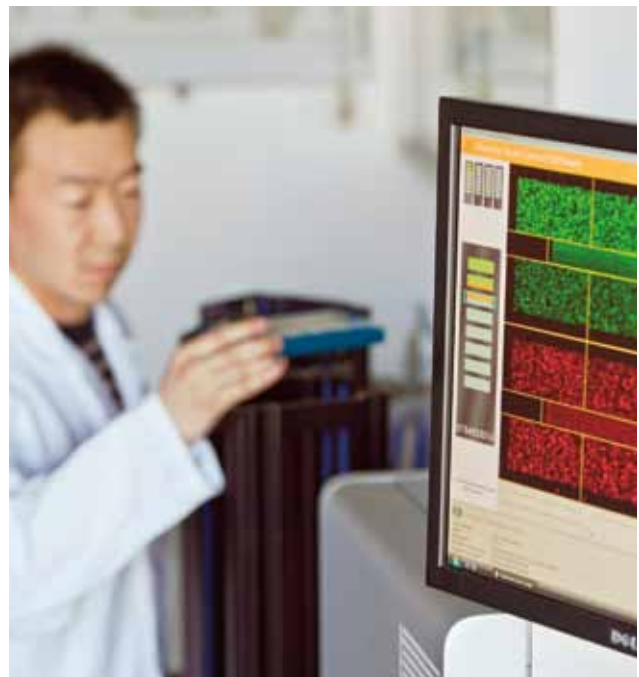


Landsorte
(Guanajuato, Mexiko)

um die Augen vor Augenkarzinomen schützt. Um ein zuverlässiges Vorhersagemodell zu entwickeln, greifen die Tierwissenschaftler ebenfalls auf SNPs als Genmarker zurück. Weil die dafür notwendigen Analyse-Technologien schon länger als beim Mais verfügbar sind, kann der Doktorand Hubert Pausch rund 800.000 solcher variablen Basenpaare untersuchen. Zudem stehen dem Wissenschaftler für jeden Fleckvieh-Bullen ausführliche Informationen zu äußeren Merkmalen zur Verfügung. Geliefert werden sie von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, die sich ebenfalls an Synbreed beteiligt. Die Behörde ist zentrale Anlaufstelle für die Registrierung von Zuchtbullen in Bayern und Österreich und erhebt in regelmäßigen Abständen die verschiedensten Eigenschaften und Leistungsmerkmale für jedes einzelne Tier, darunter auch die Augenpigmentierung.

Personal Genomics – Partnerwahl nach Genomprofil

Am Ende zählt statistisches Können: Den Effekt der SNPs, diesen kleinen, aber feinen Unterschieden im Genprofil, auf das gesuchte Züchtungsmerkmal schätzt Pausch mithilfe von mathematischen Modellen. Dazu gehört viel statistisches Know-how und die Geduld, verschiedene Rechenmodelle auszuprobieren. Denn für jede Forschungsfrage ▶



Mit DNA-Schnipseln beschichtete Chips können spezifische DNA-Sequenzen festhalten, die rot und grün aufleuchten und so anzeigen, ob sich ein Genmarker in der Gewebeprobe befindet



Fotos: Bayern-Genetik GmbH; edlundsapp

Die Erbsubstanz zweier Fleckvieh-Bullen ist zu 99,9 Prozent identisch. Trotzdem bleiben noch drei Millionen Unterschiede, die für die Züchtung relevant sein können. Mit molekulargenetischen Verfahren können die Synbreed-Wissenschaftler etwa 800.000 davon untersuchen

muss neu bestimmt werden, welches statistische Verfahren die höchste Vorhersagekraft bietet. „Am Anfang steht man zunächst vor einem riesigen Datenberg. Im Laufe der Berechnungen werden aber Verteilungsmuster sichtbar, die Licht in die Daten bringen“, sagt Hubert Pausch. Am Ende kann man praktisch schon zum Zeitpunkt der Geburt das genetische Potenzial eines Jungtieres, also seinen Zuchtwert, mit einer zum Teil beachtlichen Sicherheit bestimmen. Für die Züchter ein klarer Vorteil: Denn ein solcher genomischer Zuchtwert liefert schon früh die Entscheidungsgrundlage, um die besten Kreuzungspartner auszuwählen.

Tierwissenschaftler Ruedi Fries erhofft sich von der Weiterentwicklung der genomischen Evaluation aber noch mehr: Er rechnet mit einer Aufwertung jedes einzelnen Tieres durch die Charakterisierung seiner Erbinformation. „Durch die Kenntnis der in der Erbsubstanz angelegten Stärken und Schwächen können die Landwirte viel gezielter auf die jeweiligen Bedürfnisse des einzelnen Tieres eingehen, zum Beispiel bei Ernährung oder Vorsorge“, sagt Fries. Mittlerweile werden nicht mehr nur Zuchtbullen typisiert, auch die genetischen Fingerabdrücke von Kühen werden im Rahmen der Züchtungsforschung zunehmend erhoben. „Für Tierärzte könnte es in Zukunft die Betreuung

einer Herde vereinfachen, wenn die individuellen Genprofile der Tiere Auskunft über Erbdefekte oder die Anfälligkeit für Krankheiten geben“, ist sich Fries sicher. Möglich wird die Typisierung im großen Stil und damit das Konzept Personal Genomics durch Technologiesprünge bei der Entschlüsselung des genetischen Codes. Weil Sequenzierautomaten immer leistungsfähiger werden, sinken auch die Kosten pro erfasster Base – in den letzten fünf Jahren mindestens um den Faktor tausend.

Nützliche Vielfalt

Die Erfahrungen der Tierzüchter machen sich die Synbreed-Forscher zunutze, um auch für Maissorten und Hühnerrassen genomische Zuchtwerte zu etablieren. Schön und ihre Kollegen haben dafür Pionierarbeit geleistet: Die SNP-Technologie musste zunächst an die Eigenheiten der Pflanzenzüchtung angepasst werden. Zudem haben die Wissenschaftler in umfangreichen DNA-Sequenzen akribisch nach den Genmarkern gesucht, die für die Züchtung wirklich relevant sind. Dabei beschränken sich die Wissenschaftler natürlich nicht auf handelsübliche Maissorten. Um den Ertrag zu steigern oder Eigenschaften aus anderen Sorten einzukreuzen, müssen möglichst unterschiedliche genetische Eigenschaften miteinander kombiniert werden.

Erdbeermais
(Deutschland)



Innovationscluster Synergistische Pflanzen- und Tierzuchtung (Synbreed)

Die Erfassung minimaler Variationen in der DNA von Kulturpflanzen und Nutztieren ist ein Weg, um feine Unterschiede aufzuspüren, die eine große Leistung versprechen. Der Innovationscluster Synbreed macht dieses Verfahren für verschiedene Zuchtungsziele bei Mais, Hühnern und Rindern anwendbar. Dafür nutzt das Forschungsnetzwerk nicht nur modernste Technik, sondern bündelt das Know-how von hochkarätigen Wissenschaftlern aus den Agrarwissenschaften, der Molekularbiologie, Bioinformatik und Humanmedizin. Koordiniert wird der Forschungscluster von der Pflanzengenetikerin Prof. Chris-Carolin Schön an der Technischen Universität München. In Synbreed arbeitet sie gemeinsam mit Wissenschaftlern der TUM, des Helmholtz Zentrums München, der Georg-August-Universität Göttingen, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, der Universität Hohenheim, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und des Friedrich-Loeffler-Instituts Mariensee; als industrielle Kooperationspartner sind die KWS Saat AG und die Lohmann Tierzucht GmbH beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert Synbreed im Rahmen der Initiative Kompetenznetze in der Agrar- und Ernährungsforschung über fünf Jahre mit insgesamt zwölf Millionen Euro.



Landsorte
(Jalisco, Mexiko)

Mit der Typisierung von Wildformen oder von Sorten aus anderen Klimazonen vergrößert sich der Genpool, aus dem die Forscher für die Züchtung schöpfen können.

Zum Lehrstuhl von Chris-Carolin Schön am TUM Campus Freising-Weihenstephan gehört deshalb ein Schaugarten, in dem verschiedene Maispflanzen aus der ganzen Welt stehen: Neues Saatgut aus den USA ist darunter, aber auch mexikanische Urtypen, die spektakuläre vier Meter hoch werden. Die Genvielfalt des Maises will die Pflanzengenetikerin nutzen, um Sorten zu züchten, die resistent gegen Dürre oder gegen Schädlinge sind. Gentechnische Veränderungen der Erbanlagen sind dafür nicht notwendig. „Wir bleiben – wie in der klassischen Züchtung – im genetischen Pool der gleichen Art“, stellt Schön fest. In einem Vorgängerprojekt war sie damit bereits erfolgreich: Mithilfe von Genmarkern konnten die Genomabschnitte identifiziert werden, die Weizenpflanzen vor dem Schimmelpilz *Fusarium* schützen, der das Korn vergiftet. Damit wurde die Grundlage für neue Sorten gelegt, die an mitteleuropäische Wachstumsbedingungen angepasst und trotzdem gegen den Pilz immun sind.

Auch beim Mais stimmen erste Anbauergebnisse die Pflanzengenetikerin optimistisch: Im vergangenen Jahr haben Chris-Carolin Schön und ihre Kollegen die ge-

nombasierte Züchtung zum ersten Mal erprobt. In einem großflächigen Anbauversuch wurde der Ertrag von 1.300 Parzellen mit jeweils 100 Maispflanzen gemessen. Das Ergebnis: Hatten die Wissenschaftler die Genomprofile in die Ertragsvorhersage einbezogen, erreichten sie innerhalb einzelner Pflanzenfamilien eine Treffgenauigkeit von bis zu 75 Prozent – und lagen damit deutlich höher als bei einer Vorhersage allein auf Grundlage der Stammbaum-Informationen. „Die genomische Selektion hat das große Potenzial, langwieriges Trial-and-Error zu verkürzen“, sagt Schön.

Auf Anbauversuche kann und will die Pflanzengenetikerin aber nicht verzichten. Denn die Vorhersage-Modelle müssen dennoch trainiert, das heißt auf dem Feld geprüft und nachjustiert werden. Vor allem wenn es darum geht, die für den Kornertrag gewonnenen Erkenntnisse für andere komplexe Eigenschaften zu erproben: In ihren laufenden Feldversuchen will Chris-Carolin Schön deshalb nicht nur den Ertrag von Maispflanzen vorhersagen, sondern auch ihre Resistenz gegenüber dem Maiszünsler, dessen Raupen zu den hartnäckigsten Getreideschädlingen gehören. Ab Ende September wird sich zeigen, ob die Wissenschaftlerin auch dieses Mal richtig gelegen hat.

Undine Ziller

Überraschende Physik mit einfachen Mitteln

Der Festkörperphysiker Prof. Christian Pfleiderer und sein Team haben dort genauer hingeschaut, wo Forschern seit Jahrzehnten nichts Besonderes aufgefallen war. Und sie entdeckten überraschende Phänomene, die ein ganz neues Arbeitsgebiet begründeten. Es ist so neu, dass es noch nicht einmal einen richtigen Namen hat

Könnte man die Richtung der Elektronenspins an einer Metalloberfläche mit bloßem Auge erkennen, würde sich dieses Bild darbieten, wenn man die Materialien betrachtet, die Christian Pfleiderer und seine Mitarbeiter untersuchen: Die Spins bilden regelmäßige Wirbel aus

Link
www.e21.ph.tum.de

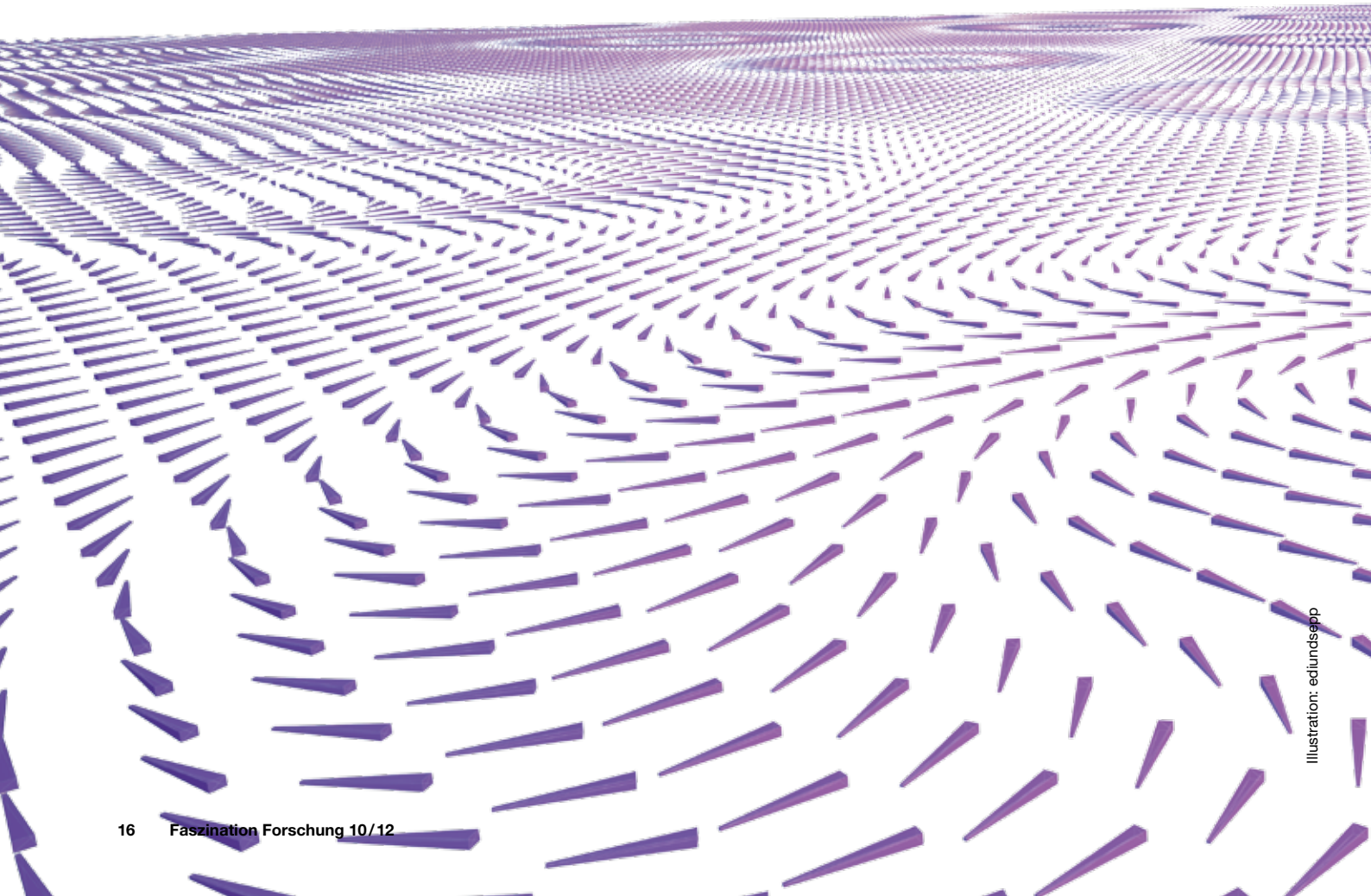


Illustration: edmundsepp

Auf dem Arbeitstisch liegen kleine, mattgraue Metallstückchen, die völlig unscheinbar wirken. Durch eine besondere Eigenart haben sie aber in der letzten Zeit in der wissenschaftlichen Welt Furore gemacht: Kühlt man sie fast bis zum absoluten Nullpunkt und bringt sie in ein Magnetfeld, dann zeigen sie plötzlich ein völlig anderes magnetisches Verhalten. Heute weiß man, dass sie winzig kleine, regelmäßig angeordnete, äußerst stabile Magnetwirbel ausbilden, aber das musste man erst einmal heraus-

finden. Christian Pfleiderer, seit Ende 2004 Professor an der TU München, und seine Mitarbeiter hielt diese Aufgabe fast drei Jahre lang in Atem. Und sie ist noch längst nicht abgeschlossen, ganz im Gegenteil: „Wir haben da ein richtig großes Fass aufgemacht“, sagt der 46-jährige Festkörperphysiker. Ende vergangenen Jahres erhielt er 2,2 Millionen Euro vom European Research Council (ERC), um die Arbeiten zu vertiefen und Potenziale für praktische Anwendungen auszuloten. ▷

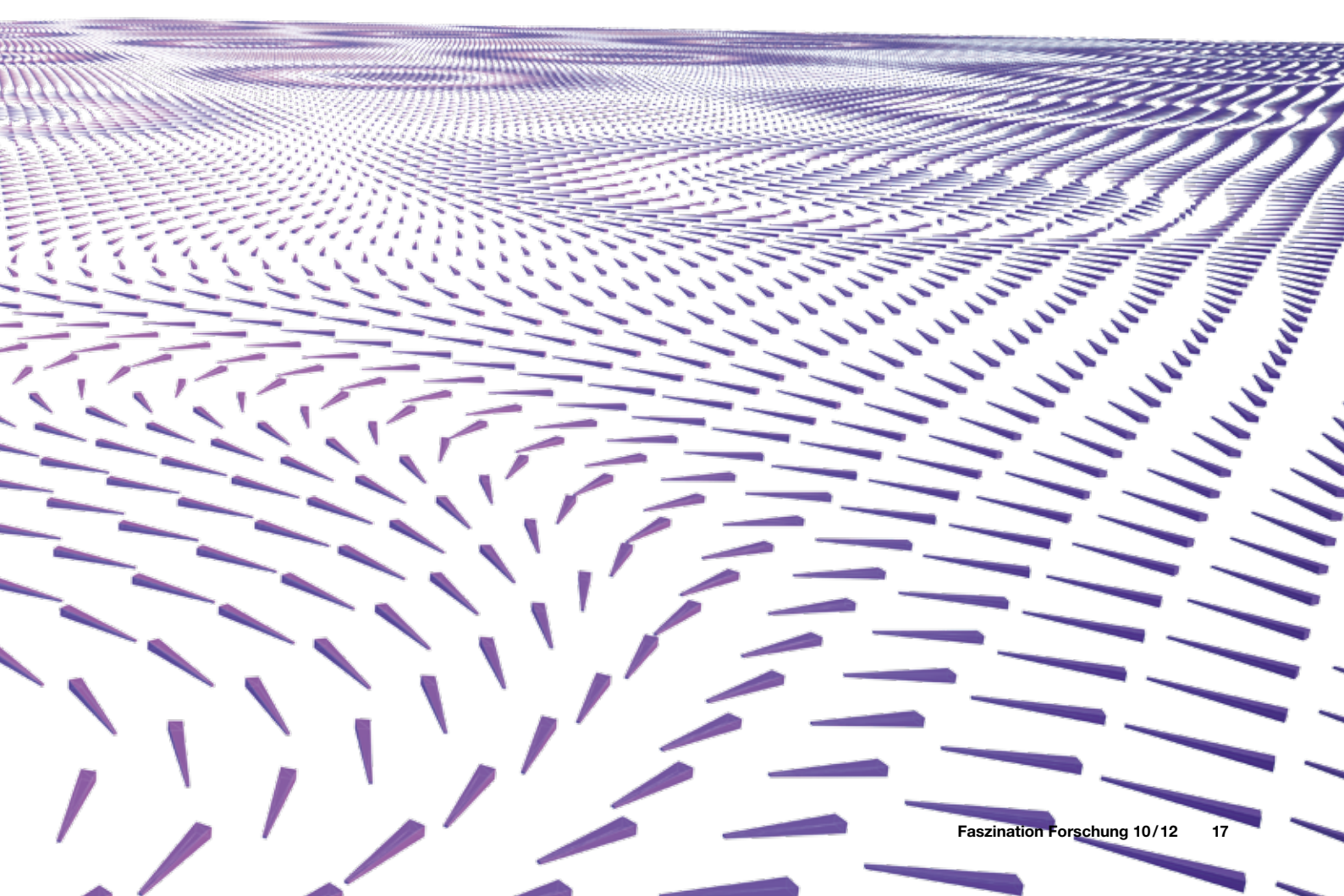




Foto: Naeser, MPI für Quantenoptik; Grafik: TUM

Christian Pfeleiderer bei der Vorbereitung der Messeinrichtung. Sie enthält die Materialprobe, die anschließend bei sehr tiefen Temperaturen im Garchingener Forschungsreaktor einem Neutronenstrom ausgesetzt wird

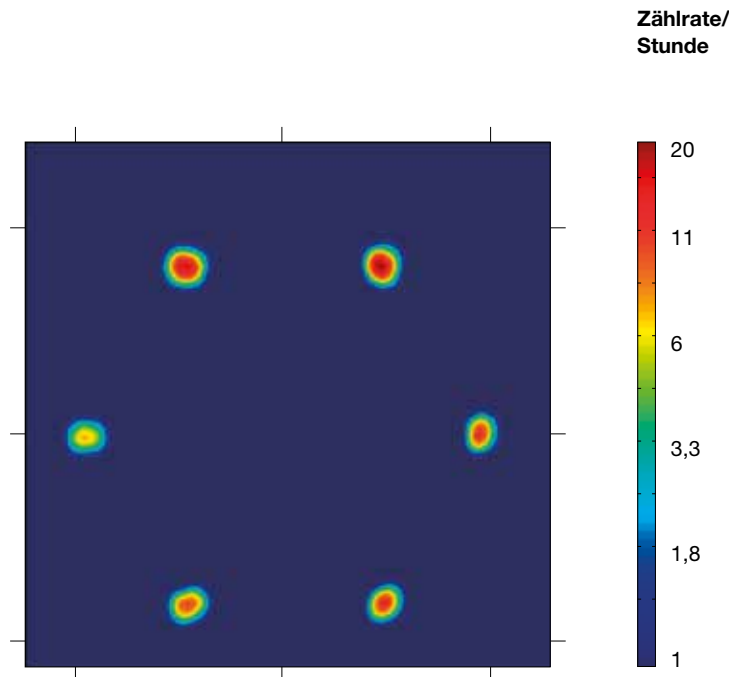
Ein neues Arbeitsgebiet entsteht

In der Wissenschaft – auch in der Physik – gibt es immer wieder Modethemen, die eine hohe Anziehungskraft auf Forscher ausüben und deren Beliebtheit wächst. Die Nanotechnik gehört dazu oder auch die Kurzzeitphysik. Nichts von alledem macht Christian Pfeleiderer. Seine Arbeit kann man in einem kleinen Team schaffen – ganz im Gegensatz zu den großen Kollaborationen beispielsweise in der Teilchenphysik, in denen Hunderte von Forschern zusammenarbeiten. „Es gibt eben auch außerhalb typischer Modethemen oder der üblichen monumentalen Fragestellungen extrem viele spannende Dinge zu entdecken“, betont er, „und man kann auch mit relativ einfachen Mitteln ganz tolle Physik machen.“

Genau dies ist ihm und seinem Team gelungen, und daraus entsteht nun ein neues Arbeitsgebiet. Es gehört zu einem Bereich der Physik, der den sperrigen Namen „Stark korrelierte Elektronensysteme“ trägt. Hier lassen sich nicht nur bereits bekannte Phänomene im Detail untersuchen und aufklären, sondern noch neue entdecken. Wissenschaftler sprechen von emergenten Eigenschaften und meinen damit Erscheinungen, die in einem System ganz spontan unter bestimmten Bedingungen auftauchen und durch das

Zusammenspiel seiner Elemente entstehen, ohne dass man sie aus deren Eigenschaften vorhersehen konnte. Dazu gehören beispielsweise das plötzliche Gefrieren von Wasser zu Eis, die Supraleitung oder auch das Entstehen von Bewusstsein im menschlichen Gehirn. In Bezug auf die Materialforschung steigen mehr und mehr Gruppen in Deutschland und weltweit auf dieses Teilgebiet ein. Sie suchen gezielt nach Materialien, die diese Eigenschaften zeigen, „da geht jetzt die Post ab“. Aber so einfach, wie Pfeleiderer es mit einer gewissen Bescheidenheit darstellt, sind die Arbeiten natürlich nicht. Es gehört viel Know-how dazu. Der Blick muss darauf vorbereitet sein, das Neue zu erkennen, und man braucht manchmal ein ungewöhnlich großes Messgerät wie den Forschungsreaktor München II (FRM II), um die physikalischen Geheimnisse der emergenten Eigenschaften mikroskopisch zu entschlüsseln.

Es beginnt schon mit der richtigen Auswahl der Materialien und der Herstellung hochreiner Einkristalle – eine Kunst für sich. Nicht jedes Metall ist geeignet, aber es sind keineswegs nur neue Substanzen, die man sich anschaut. „Wir betrachten auch viele Materialien, die man seit Jahrzehnten kennt, aber eben unter neuen Gesichtspunkten“, sagt Pfeleiderer. Er interessiert sich dafür, seit er an der britischen Uni-



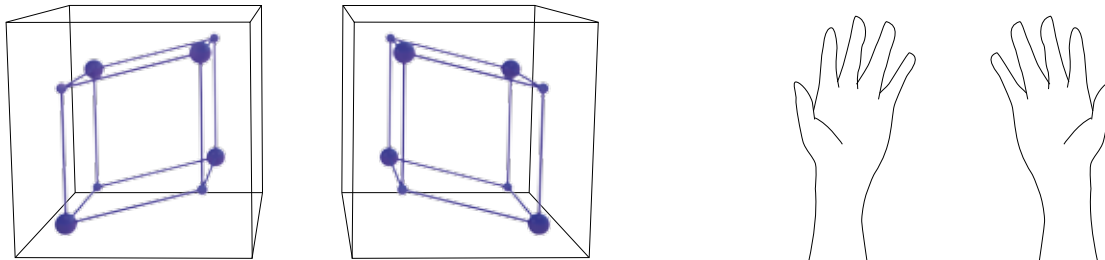
Sechs verräterische Punkte: Dieses Muster kam durch die Neutronenstreuung am Forschungsreaktor zustande. Es deutet auf eine regelmäßige magnetische Struktur hin, die zunächst einmal niemand erklären konnte

versität Cambridge promovierte und dort in Pionierarbeiten zum ersten Mal magnetische Phasenübergänge bei extrem tiefen Temperaturen als Funktion eines Drucks oder Magnetfelds untersuchte. „Wir stellten in unseren Experimenten fest, dass derartige Übergänge auch bei höheren Temperaturen starke Auswirkungen haben“, so der Physiker. Er entschloss sich deshalb, diese Richtung weiter zu verfolgen, auch später, als er an der TUM eine neue Arbeitsgruppe aufbaute, die sich mit magnetischen Materialien beschäftigte.

Völlig unerwartete Eigenschaften

Die theoretische Erklärung der neu entdeckten Vorgänge ist kompliziert, weil die Theorie der Metalle äußerst anspruchsvoll ist. Denn das einfache Bild, das man normalerweise von Stromleitern hat, beschreibt die Wirklichkeit nur unzureichend. Sicherlich ist richtig, dass Leitungselektronen sich im Kristallgitter bewegen können und beim Anlegen einer Spannung verschoben werden. Hinzu kommt aber, dass sich diese Elementarteilchen aufgrund ihrer Ladung und ihres Spins (einer Art quantenmechanischem Drall) so stark gegenseitig beeinflussen, dass man sie häufig gar nicht mehr voneinander unterscheiden kann. „Es müssen mehrere theoretische Konzepte ineinandergreifen,

um ein Vielteilchensystem wie das der Elektronen in einem Festkörper zu beschreiben“, sagt Pfeleiderer. „So kommt es eben häufig vor, dass die Elektronen am Schluss als Kollektiv völlig neue, unerwartete Eigenschaften entwickeln.“ Alles in allem ein relativ aufwendiges Theoriegebäude, in dem Konzepte aus der Elementarteilchenphysik und der Physik von Polymeren oder Flüssigkristallen zusammenspielen. Noch komplizierter wird es, wenn man mit Materialien arbeitet, die zwar ein regelmäßiges Kristallgitter besitzen, aber gleichzeitig eine händische Symmetrie. Das heißt, es gibt zwei Arten von Gitteraufbau, die sich nicht durch Drehen oder Verschieben ineinander überführen lassen, ebenso wie die beiden Hände des Menschen. Schon 1905 hat der britische Physiker Lord Kelvin solche Systeme als chiral bezeichnet. Mangan-Silizium ist so eine Substanz, eine Legierung, bei der die Mangan- und Siliziumatome entweder in einer rechtshändigen oder linkshändigen Struktur auskristallisieren. „An sich ist dieses Material sehr gut verstanden. Es wird ja schließlich seit vielen Jahrzehnten intensiv untersucht“, sagt Pfeleiderer. Dennoch entdeckten er und sein Team bei Experimenten massive Unregelmäßigkeiten, die auf ein anomales Metall hinweisen, bei dessen Beschreibung alle traditionellen Vorstellungen versagen. ▷



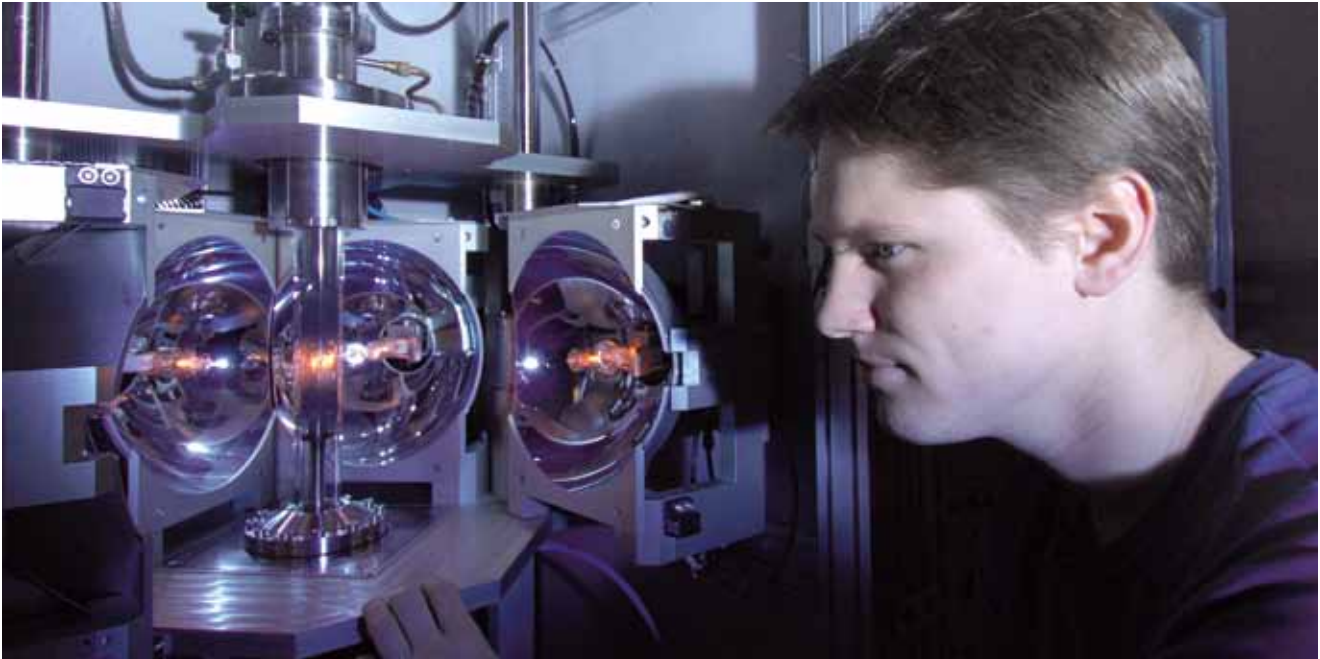
Chirale Materialien haben eine händische Symmetrie. Das heißt, sie kommen in zwei Arten vor, deren Gitteraufbau sich nicht durch Drehen oder Verschieben ineinander überführen lässt, ebenso wie die beiden Hände des Menschen

Eine völlig andere Fragestellung verfolgten die Physiker im Jahr 2008 im gleichen Material. Hier ging es darum, einen Vorschlag des theoretischen Physikers Prof. Achim Rosch von der Universität zu Köln zu untersuchen, nämlich ob man die magnetische Ordnung in einem Metall durch einen elektrischen Strom verändern kann. Etwas Derartiges war bisher noch nie beobachtet worden. Ihre Untersuchungen zu dieser Frage machten Pfeleiderer und sein Team im Garching Forschungsreaktor mit Neutronen. Diese elektrisch neutralen Teilchen eignen sich gut, um magnetische Eigenschaften zu untersuchen, denn sie besitzen einen Spin, werden also durch Magnetfelder beeinflusst. Pfeleiderer schätzt die Möglichkeiten am FRM II, der nur wenige Meter von seinem Büro in der Fakultät für Physik entfernt ist: „Das ist ein toller Zugang zu einer weltweit führenden Großforschungsanlage. Wir können mit den Materialien, die wir in unseren Kristallzüchtungslabors herstellen, direkt hinübermarschieren und mit Neutronen die Kristallstruktur, die magnetische Struktur, deren Dynamik und viele andere Eigenschaften schneller als irgendeine andere Gruppe weltweit untersuchen.“

Eine unerwartete Wendung nahm die Suche nach strominduzierten Veränderungen einer magnetischen Ordnung,

als die beteiligten Doktoranden Sebastian Mühlbauer und Florian Jonietz das Neutronenstreuexperiment anders als geplant aufbauten. Sie hatten das Magnetfeld für die Untersuchungen am Instrument MIRA, das von Prof. Peter Böni und Mitarbeitern am FRM II entwickelt wurde, parallel anstatt wie sonst üblich senkrecht zum Neutronenstrahl eingestellt. Und so kam es, dass die Physiker äußerst ungewöhnliche Messergebnisse erhielten. „Auf einmal sahen wir auf dem Bildschirm einen Ring aus sechs Punkten, der bei einem elektrischen Strom um einen kleinen Winkel verkippt wurde“, erzählt der 32-jährige Sebastian Mühlbauer. Zufälligerweise war das am 1. April, sodass Pfeleiderer zunächst an einen Aprilscherz des Doktoranden glaubte. Doch das sechseckige Muster war tatsächlich sichtbar, wie die Wiederholung der Experimente zeigte, genauso wie die Verkipfung bei Stromfluss. Und zwar bei einer Temperatur von $-245,15$ Grad Celsius und einem Magnetfeld von $0,2$ Tesla. Das deutete auf eine regelmäßige magnetische Struktur hin, die zunächst niemand erklären konnte. Und zum ersten Mal hatte ein elektrischer Strom einen sichtbaren Einfluss auf eine magnetische Struktur.

Es folgten weitere Experimente und intensive Diskussionen mit den theoretischen Physikern um Achim Rosch. Bald



Dr. Sebastian Mühlbauer an der Apparatur zur Herstellung von Einkristallen mit dem chiralen Gitteraufbau. Der Physiker hatte in seiner Doktorarbeit deren außergewöhnliche magnetische Eigenschaften untersucht

war klar, dass die Kristallstruktur zu chiralen magnetischen Wechselwirkungen führte, die für die seltsamen Phänomene verantwortlich sein mussten. Allmählich kristallisierte sich die Vermutung heraus, dass die Leitungselektronen die magnetische Struktur deshalb beeinflussen konnten, weil diese aus regelmäßig angeordneten kleinen Wirbeln bestand, ein Phänomen, das man vorher noch nicht gesehen hatte. Diese Wirbel sind sehr stabil und verlaufen parallel zum äußeren Magnetfeld durch die gesamte Probe hindurch. Dreht man das Material im Magnetfeld, verändert sich die Richtung der Wirbelfäden – sie bleiben immer parallel dazu. Die Kölner rechneten diese Hypothese durch, und tatsächlich konnten sie die Experimente der Münchner erklären. „Die Wirbelfäden verhalten sich wie ein magnetischer Kristall, der sich in einem festen Körper nahezu frei bewegen kann“, sagt Sebastian Mühlbauer.

Bessere Datenspeicherung

Besonders wichtig an den magnetischen Wirbelfäden dürfte jedoch sein, dass die Entdeckung von Pfeleiderer und Kollegen große Fortschritte in der Datenverarbeitung verspricht. Bereits 1959 hatte der legendäre Physiker Richard Feynman vorhergesagt, dass man Daten auf sehr winzigen

Strukturen speichern könne. „Es ist noch viel Platz da unten“ war der Titel seiner inzwischen weltberühmten Rede, die er am 29. Dezember 1959 im kalifornischen Pasadena als After-Dinner-Talk vor der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft hielt. Er rechnete darin unter anderem vor, dass es theoretisch möglich ist, die gesamten 24 Bände der Encyclopaedia Britannica auf einen Stecknadelkopf zu schreiben. Für jeden einzelnen Buchstaben stünden dann immer noch rund 1000 Atome zur Verfügung – eine ausreichende Menge, so meinte er. Seither gelang es, Datenspeicher um ein Vielfaches zu verkleinern, sodass man glaubt, in der nahen Zukunft an die physikalischen Grenzen des Machbaren zu stoßen.

Ein wichtiger Durchbruch, der 2007 mit dem Nobelpreis für Peter Grünberg und Albert Fert ausgezeichnet wurde, bestand in der Manipulation von elektrischen Strömen durch die magnetischen Eigenschaften ausgewählter Materialien. Die umgekehrte Vorgehensweise dagegen, nämlich mit elektrischen Strömen magnetische Eigenschaften zu verändern und damit Daten viel schneller als heute zu schreiben und zu verarbeiten, stellt ein bisher ungelöstes Problem dar, dem derzeit weltweit intensive Forschungsaktivitäten gewidmet sind. ▶

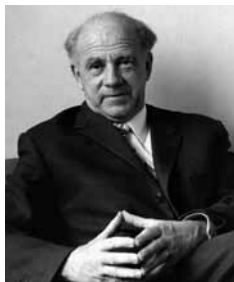


Hier ist ein einzelner Magnetwirbel herausgegriffen. Die Pfeile zeigen die Richtung der magnetischen Momente. Physiker sprechen auch von einem Skyrmion, nach dem britischen Physiker Tony Skyrme (siehe unten)

Die Begründer der Skyrmionen

Werner Karl Heisenberg
Physiker und
Nobelpreisträger

* 5. Dezember 1901
† 1. Februar 1976



Der Münchner theoretische Physiker Werner Heisenberg gilt als einer der Väter der Quantenphysik, für deren Begründung er 1932 den Nobelpreis für Physik erhielt. Bis heute ist er berühmt durch die Formulierung der Heisenbergschen Unschärferelation. Vor allem in seinen späteren Jahren beschäftigte er sich damit, eine Weltformel zu entwickeln, die alle Bausteine des Universums, also sowohl Teilchen wie Kräfte, gleichermaßen umfasst. Dabei verwendete er auch topologische Konzepte, und so erklärte er Teilchen als Knoten in einem Kontinuum. Erst später wurde klar, dass derartige Knoten auch in anderen Gebieten der Physik auftreten, etwa in der Festkörperphysik oder beim Quanten-Hall-Effekt. Bestimmte Knoten erhielten Anfang des 21. Jahrhunderts den Namen Skyrmionen.

Tony Hilton Roy Skyrme
Kernphysiker

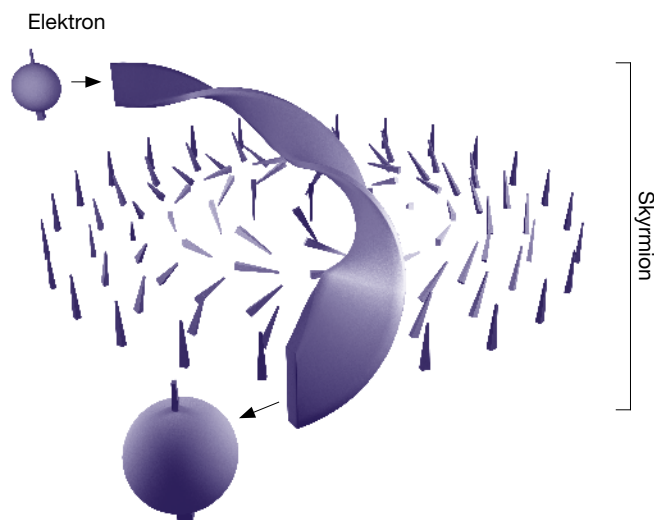
* 5. Dezember 1922
† 25. Juni 1987



Auch der Brite Tony Skyrme arbeitete als theoretischer Physiker. Während des Zweiten Weltkriegs beteiligte er sich am amerikanischen Entwicklungsprogramm für die Atombombe. Nach dem Krieg beschäftigte er sich mit theoretischer Kernphysik, beispielsweise mit Konzepten zum inneren Aufbau von Atomkernen. In den 60er-Jahren griff er die Idee der topologischen Knoten im Kontinuum auf und baute das Konzept weiter aus. Die von ihm vorgeschlagenen Quasiteilchen sind deshalb heute nach ihm benannt.

Behandelt man die magnetischen Eigenschaften eines Festkörpers als eine Art Kontinuum, so sind die magnetischen Wirbel, die Pfeilerer und Kollegen in Festkörpern entdeckt haben, genau solche Skyrmionen.

Bananenflanke: Fliegt ein Elektron über einen solchen Magnetwirbel hinweg, muss dessen Elektronenspin dem Wirbel folgen. Dabei führt es eine charakteristische Torkelbewegung aus, die eine Kraft erzeugt



Pfleiderers Idee dazu ist, die Entstehung der Magnetwirbel zu steuern und mit ihrer Hilfe Informationen zu manipulieren und zu speichern. Einen Fortschritt hat er schon vor Augen: Im Dezember 2010 berichtete seine Forschergruppe in „Science“, was es mit der Verkippung des Rings aus sechs Punkten auf sich hat, den sie bei einem Stromfluss in der Neutronenstreuung beobachtete. Es stellte sich nämlich heraus, dass sich die Wirbelfäden ab einer bestimmten Stromstärke losreißen und dass sie mit den Leitungselektronen mitschwimmen. Weil dafür nur extrem niedrige Stromstärken nötig sind, eröffnen sich ganz neue Möglichkeiten. „Wenn man magnetische Strukturen über Ströme kontrollieren kann, eröffnet sich langfristig eine ganz neue Art der Elektronik“, meint Rosch.

Weltweite Aufmerksamkeit

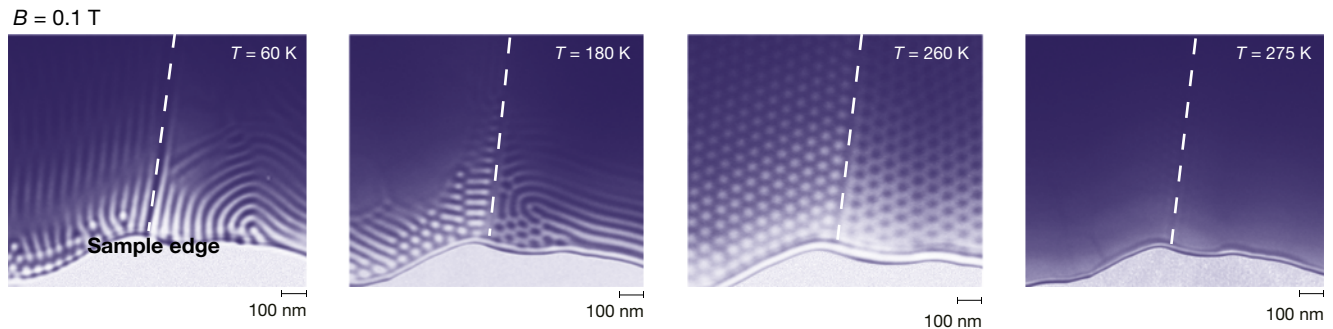
So spannend die neu entdeckten Materialeigenschaften sind: Mangan-Silizium selbst ist nicht für Anwendungen geeignet, da man sehr tiefe Temperaturen benötigt. Aber es ist nicht das einzige Material, das magnetische Wirbelfäden ausbildet. So ist es beispielsweise der Gruppe um Yoshinori Tokura vom Advanced Science Institute RIKEN und der Universität Tokio kürzlich gelungen, diese Er- ▶

Bananenflanke

Die Kräfte, die auf die magnetischen Wirbel wirken und sie losreißen, beruhen auf einem quantenmechanischen Effekt, der zu Gemeinsamkeiten mit einem Phänomen führt, das jedem Fußballspieler bekannt ist:

Schneidet man einen Ball an, sodass er sich im Flug schnell um die eigene Achse dreht, dann wird der Ball durch die sogenannte Magnuskraft von seiner geraden Flugbahn abgelenkt und fliegt als Bananenflanke um die Kurve. Der um seine Achse wirbelnde Ball reißt die Luft mit sich. Die mitgerissene Luft trifft auf die entgegenströmende und erzeugt auf der einen Seite des Balls einen Unterdruck und auf der anderen einen Überdruck, wovon der Ball abgelenkt wird.

Bei den magnetischen Wirbeln ist es ähnlich: Hier übernehmen effektive magnetische Wirbelströme die Rolle der Luftströmung. Sie klingen jedoch auch ohne Energiezufuhr niemals ab, und die Stärke der Wirbel nimmt einen durch die Gesetze der Quantenmechanik genau festgelegten Wert an. Auch die Kopplung der Wirbel an die Bewegung der Elektronen wird durch quantenmechanische Effekte bestimmt. Wenn ein Elektron durch diese Wirbelstruktur durchfliegt, muss der Elektronenspin dem Wirbel folgen. Dabei führt er eine charakteristische Torkelbewegung aus, die diese Kraft erzeugt.



Darstellungen: Y. Tokura, RIKEN

Der Gruppe um Yoshinori Tokura vom Advanced Science Institute RIKEN in Tokio gelang es, ähnliche Magnetwirbel mittels Transmissionselektronenmikroskopie in Eisen-Germanium bei Raumtemperatur nachzuweisen

scheinungen mittels der Transmissionselektronenmikroskopie in Eisen-Germanium, einer Substanz, die Mangan-Silizium stark ähnelt, bei Raumtemperatur nachzuweisen. Es wird sogar daran gearbeitet, durchsichtige Materialien zu finden, in denen man die magnetischen Wirbel mit Licht oder elektrischen Feldern beeinflussen kann, um elektronische Bauteile zu erschaffen, die ganz ohne elektrischen Strom auskommen. Und so suchen die Münchner nun, zusammen mit einer steigenden Anzahl anderer Arbeitsgruppen weltweit, weitere Materialien, die solche Wirbel zeigen. Das Geld vom ERC wird dabei helfen.

Voraussetzung sind bei dieser Suche immer die chiralen magnetischen Eigenschaften. Besonders an Oberflächen können sich – wegen ihrer Asymmetrie – magnetische Wirbel ausbilden. Und tatsächlich hat, motiviert durch die Arbeiten von Pfeleiderer und Kollegen, ein Team von Physikern um Prof. Stefan Heinze von der Universität Kiel und Prof. Roland Wiesendanger von der Universität Hamburg kürzlich die Existenz von Magnetwirbeln in einer Eisenschicht auf einem Iridiumsubstrat nachgewiesen, die nur eine Atomlage dick ist. Eine weitere spannende Frage, die die Münchner und Kölner Physiker nun angehen wollen, ist die, ob man auch einzelne Wirbel verschieben kann.

Selbst hinsichtlich der Aufklärung der anomalen metallischen Eigenschaften, die Pfeleiderer und Kollegen zunächst in Mangan-Silizium entdeckten, bieten die Wirbelfäden eine mögliche Erklärung, sodass sich der Kreis schließt. „Da tun sich ganz neue Welten auf“, sagt Pfeleiderer. „Es ist eine faszinierende Mischung aus Grundlagen- und angewandter Forschung.“

Was aber nach wie vor fehlt, ist ein griffiger Name für die neue Forschungsrichtung. Da der Ausdruck Spintronik nur einen Teil der neuen Erkenntnisse erfasst, wurde von den Herausgebern der englischen Zeitschrift „Nature Materials“ kürzlich der Name Skyrmionik vorgeschlagen. Der Begriff geht auf den britischen Physiker Tony Skyrme zurück. Der theoretische Kernphysiker griff in den 60er-Jahren eine Idee des Münchner Nobelpreisträgers Werner Heisenberg auf, die die Bausteine des Universums als Knoten in einem Kontinuum erklärt, woraufhin diese Teilchen Skyrmionen genannt wurden. Skyrme wurde für seine Arbeit die Hughes Medal der Royal Society verliehen. Behandelt man die magnetischen Eigenschaften eines Festkörpers als eine Art Kontinuum, so sind die magnetischen Wirbel, die Pfeleiderer und Kollegen entdeckt haben, genau solche Skyrmionen.

Brigitte Röthlein

Kann man das Deutsche Patentamt über 130 Jahre auf Trab halten? MAN kann.



Die Damen und Herren vom Deutschen Patentamt müssten unsere Ingenieure mittlerweile beim Vornamen kennen. Kein Wunder, so oft wie wir dort vorstellig werden. Allein für unsere Sparte MAN Truck & Bus melden wir weltweit pro Jahr fast 500 Patente an. Das ist richtig gut. Aber das Beste ist, dass 90 % davon sogar erfolgreich patentiert werden. Das ist mehr als gut. Das ist sogar Spitzenklasse. Nur zum Vergleich: Der Wettbewerb kommt nur auf 30–40 % erfolgreich angemeldete Patente. Wer technologisch gesehen ganz vorne fahren will, der muss eben auch ein bisschen mehr machen als die anderen. Wir fahren übrigens sehr gut damit. Genau wie Sie, denn Sie profitieren schließlich ökonomisch und ökologisch von unserem Know-how. Was MAN noch alles bewegen kann: www.man-kann.eu

Engineering the Future –
since 1758.
MAN Gruppe



Link
www.exzellenz.tum.de

Erfolgreich in die zweite Runde der Exzellenzinitiative

Die Technische Universität München hat ihren Nimbus als Exzellenzuniversität erfolgreich verteidigt. Das Zukunftskonzept TUM. THE ENTREPRENEURIAL UNIVERSITY mit seinem deutschlandweit einzigartigen Tenure-Track-Karrieresystem für Nachwuchswissenschaftler erhielt Bestnoten. Die TUM erweitert sich um eigene Zentren für Diversity-Forschung und für die Erforschung der gesellschaftlichen Dimension der Technikwissenschaften. Ausgezeichnet wurden auch die International Graduate School of Science and Engineering sowie vier Exzellenzcluster gemeinsam mit der LMU München. Von 2012 bis 2017 erhält die TUM mindestens 165 Millionen Euro. Für Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann bedeutet der neuerliche Erfolg eine große Verantwortung: Die TUM muss den vor Jahren eingeschlagenen Modernisierungskurs mit den Zielen Wissenschaftlichkeit, Internationalität und Unternehmertum konsequent fortsetzen.

Das Zukunftskonzept

TUM. THE ENTREPRENEURIAL UNIVERSITY

TUM Tenure Track, der neue durchgängige Karriereweg für Nachwuchswissenschaftler, stellt einen Paradigmenwechsel im deutschen Berufungssystem dar. Das Programm bietet jungen Talenten mit Auslandserfahrung eine Perspektive, wie sie vom Assistant über den Associate zum Full Professor aufsteigen können. Zugelassen werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die sich in einem Evaluierungswettbewerb mit harten Qualitätskriterien durchsetzen. Bis 2020 wird die TUM – teilweise gemeinsam mit der Max-Planck-Gesellschaft – 100 neue Professuren einrichten. Die TUM flankiert das Programm mit aufeinander

der abgestimmten Rekrutierungsinstrumenten, vom professionellen Headhunting bis hin zum Netzwerk Munich Welcome!, das den Familien der Wissenschaftler bei ihrem Start in München zur Seite steht. Das offizielle Statut des neuen Karrieresystems tritt am 1. Juli 2012 in Kraft.

Neuartige Forschungszentren sind das Instrument, mit dem die TUM globale Herausforderungen angeht, deren Bewältigung die Leistungskraft und das fachliche Spektrum einzelner Fakultäten übersteigt – wie zum Beispiel die Themen Energie oder Ernährung. Ihr in der Summe einmalig breites Fächerspektrum eröffnet der TUM die Chance, Wissenschaftler aus den Fakultäten in sogenannten Integrative Research Centers zusammenzuführen. Fast alle Zentren bieten auch eigene Masterstudiengänge sowie Promotionen an. Das MUNICH CENTER FOR TECHNOLOGY IN SOCIETY (MCST) verbindet Soziologen und Ethiker, Philosophen und Historiker, Politik-, Wirtschafts- und Medienwissenschaftler mit Ingenieur- und Naturwissenschaftlern. Hier wird untersucht, wie sich Technikwissenschaften und Gesellschaft gegenseitig beeinflussen. Mit der Vielfalt der Menschen und wie Gesellschaften davon profitieren können, beschäftigt sich das ANNA BOYKSEN DIVERSITY RESEARCH CENTER. Im Zentrum der Forschung steht hier die Frage, wie die gemeinsame Teilhabe unterschiedlich geprägter Menschen die Natur-, Ingenieur- und Lebenswissenschaften befruchten kann. Aus der bereits 2010 gegründeten MUNICH SCHOOL OF ENGINEERING (MSE) wird nun ein Zentrum für Grüne Technologien. Die School koordiniert TUM.Energy, den künftig stärksten Forschungsschwerpunkt der TU München, in dem Wissenschaftler aus nahezu allen Fakultäten nachhaltige Energieversorgung und Mobilität erforschen. Das Zentrum



bezieht auch Doktoranden mit exzellenten Studienabschlüssen der Hochschulen für angewandte Wissenschaften mit ein (Deggendorf, München, Weihenstephan, Rosenheim und Ingolstadt). Weiter ausgebaut wird das TUM INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY, das ein nachhaltiges Ergebnis des ersten Exzellenzwettbewerbs war. Das TUM-IAS ermöglicht herausragenden Persönlichkeiten aus Universitäten und der Industrie, gemeinsam über mehrere Jahre visionäre Ideen in neuen Forschungsfeldern zu verwirklichen.

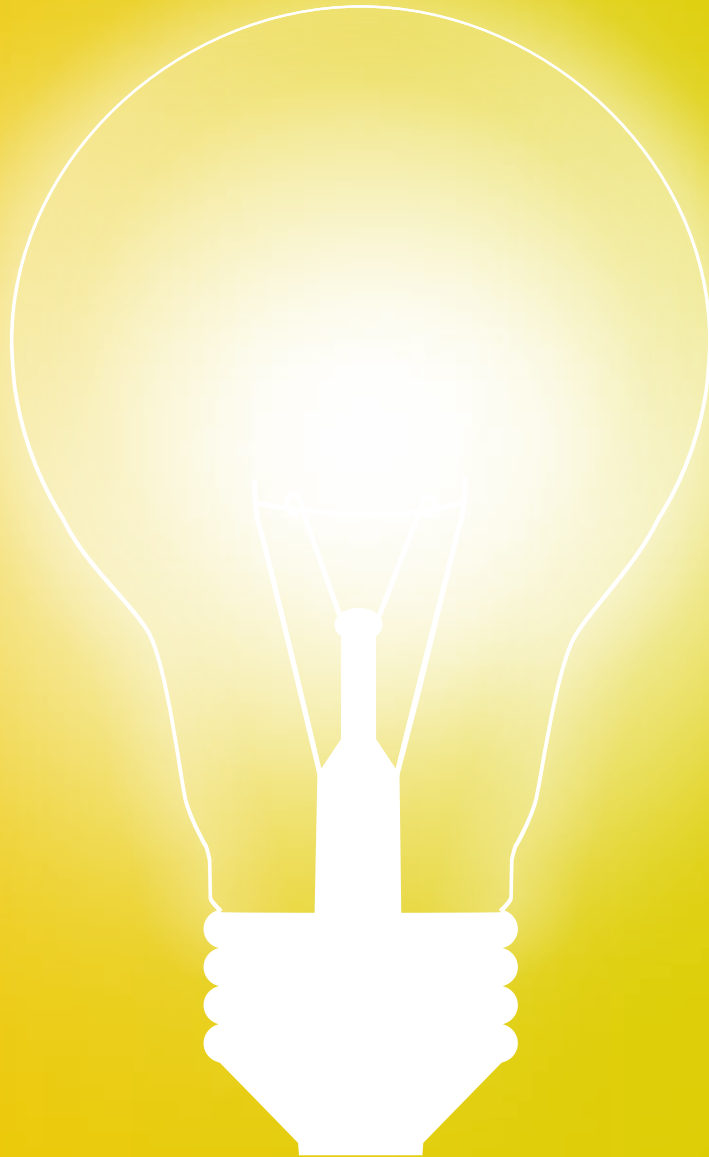
Zum Zukunftskonzept der TUM gehört ferner TUM.Global, ein Programm zum Ausbau der internationalen Präsenz der TU München an wichtigen Weltstandorten. Neben den existierenden Standorten in Singapur, Peking und São Paulo werden TUM Büros in Brüssel, Mumbai, Kairo, Boston und Tokio öffnen, um exzellente Wissenschaftler zu gewinnen und Kooperationen mit dortigen Forschungseinrichtungen zu schließen. Das Brüsseler Büro wird die Interessenvertretung der EuroTech Universities Alliance der TU München und der Universitäten von Eindhoven, Kopenhagen und Lausanne. Zur Stärkung der TUM Gemeinschaft wirken das Netzwerk Munich Welcome!, das neuen Wissenschaftlern den Einstieg in München erleichtert, und TUM.Family, das vom Schüler bis zum Ehemaligen alle Generationen in Forschung und Lehre einbezieht. Die Initiative TUM Emeriti of Excellence nutzt die Lebenserfahrung und Expertise exzellenter Emeriti.

Weitere Gewinner

Die Exzellenzinitiative fördert auch weiterhin die International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE), die seit 2006 Doktoranden aus den Natur- und Ingenieur-

wissenschaften miteinander verbindet. Künftig wird sie Projektteams in thematischen Kernbereichen oder Focus Areas zusammenführen – beispielsweise zum Thema Wasser oder zu Fragen der Bionik, also der Anwendung biologischer Prinzipien in der Technik.

Vier Exzellenzcluster waren bei der Exzellenzinitiative erfolgreich: Neu ist der Munich Cluster for Systems Neurology – SyNergy, ein gemeinsamer Antrag von TUM und LMU. Der Cluster erschließt mit der Systemneurologie ein neues Wissenschaftsfeld, das den Mechanismen bei der Entstehung neurologischer Erkrankungen auf der Spur ist. Fortgeführt wird der bestehende Exzellenzcluster Origin and Structure of the Universe (Sprecher Prof. Stephan Paul, TUM), der sich dem Ursprung und Aufbau des Universums widmet. Neu entsteht in diesem Rahmen in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Rechenzentrum das Computational Center for Particle and Astrophysics, das die gewonnenen Daten aufbereitet. Ebenfalls zum zweiten Mal ausgezeichnet wurde der Exzellenzcluster Munich-Centre for Advanced Photonics (MAP), ein weiteres Gemeinschaftsprojekt der beiden Münchner Landesuniversitäten. Er erforscht Laserlichtquellen und lasergetriebene Teilchenquellen. Zusätzlich zu den aus der Exzellenzinitiative eingeworbenen Mitteln finanziert die Deutsche Forschungsgemeinschaft dazu mit weiteren 65 Millionen Euro das bereits im Bau befindliche Center for Advanced Laser Applications am Campus Garching. Die Nanosystems Initiative Munich (NIM), ein Zusammenschluss von TUM, LMU und der Universität Augsburg, sowie das Center for Integrated Protein Science Munich (CIPSM) – eine Zusammenarbeit von TUM und LMU – werden ebenfalls weiter gefördert. □



Energiepolitik ist heute geprägt von einer Regulierungsvielfalt, die sich zum Teil mit einzelnen Geräten wie der Glühbirne befasst. Dies sollte durch einen einfachen und eindeutigen politischen Ordnungsrahmen ersetzt werden. Die umfassenden Investitionen, die für die Energiewende nötig sind, brauchen einen klaren und langfristig stabilen Rahmen

Energie und Wirtschaft in Deutschland: Gedanken zur Energiewende

Im letzten Heft diskutierten Prof. Martin Faulstich von der TUM und der Ökonom Prof. Hans-Werner Sinn über die Gestaltung der Energiewende. Die TUM erhielt daraufhin zahlreiche Leserbriefe. Um das Thema weiter zu vertiefen, widmet sich an dieser Stelle Prof. Thomas Hamacher der Frage: „Energieversorgung einer Technokratie: Worauf kommt es an?“

Links

www.ewk.ei.tum.de

Warum haben die Römer nicht massiv die Wasserkraft genutzt? Hat die Dampfmaschine wirklich die industrielle Revolution ausgelöst? Warum hat England am Ende des 19. Jahrhunderts in der Elektrotechnik nicht mit Deutschland und den USA mithalten können? Diese Fragen beschäftigen Technikhistoriker seit vielen Jahren. Was aber haben sie mit der in Deutschland geplanten Energiewende zu tun?

Energie als Voraussetzung des technischen Fortschritts und der wirtschaftlichen Entwicklung

Die Bedeutung der Energie für die wirtschaftliche Entwicklung ist ein kontroverses Thema in der Ökonomie und der Technikgeschichte. Ökonometrische Untersuchungen zeigen klare Korrelationen zwischen Wirtschaftsentwicklung und Energie- bzw. Stromnachfrage. In Entwicklungs- und Schwellenländern sehen wir eine Kopplung an die Primärenergienachfrage, in Industrieländern an die Stromnachfrage. Während der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 ging weltweit die Stromnachfrage zurück und stieg erst wieder mit anziehender Wirtschaftskraft. In Deutschland waren diese Veränderungen fast ausschließlich im Industriesektor zu beobachten.

Im Zusammenhang mit der Energiewende stellt sich die Frage, was eine Verknappung bzw. Verteuerung des Gutes Strom für diesen Sektor bedeutet, auf den knapp die Hälfte des deutschen Stromverbrauchs entfällt. Aus der stetigen Verbesserung der Energieeffizienz leitet sich die Hoffnung ab, dass sich langfristig die Energie- und insbesondere die Stromnachfrage von der wirtschaftlichen Entwicklung entkoppelt. Ob diese Hoffnung realistisch ist, darf vorerst bezweifelt werden. Auch moderne Wirtschaftszweige wie die Informationstechnologie kommen nicht ohne Strom aus. Neue Materialien wie kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe sind in der Herstellung ebenfalls sehr energieintensiv.

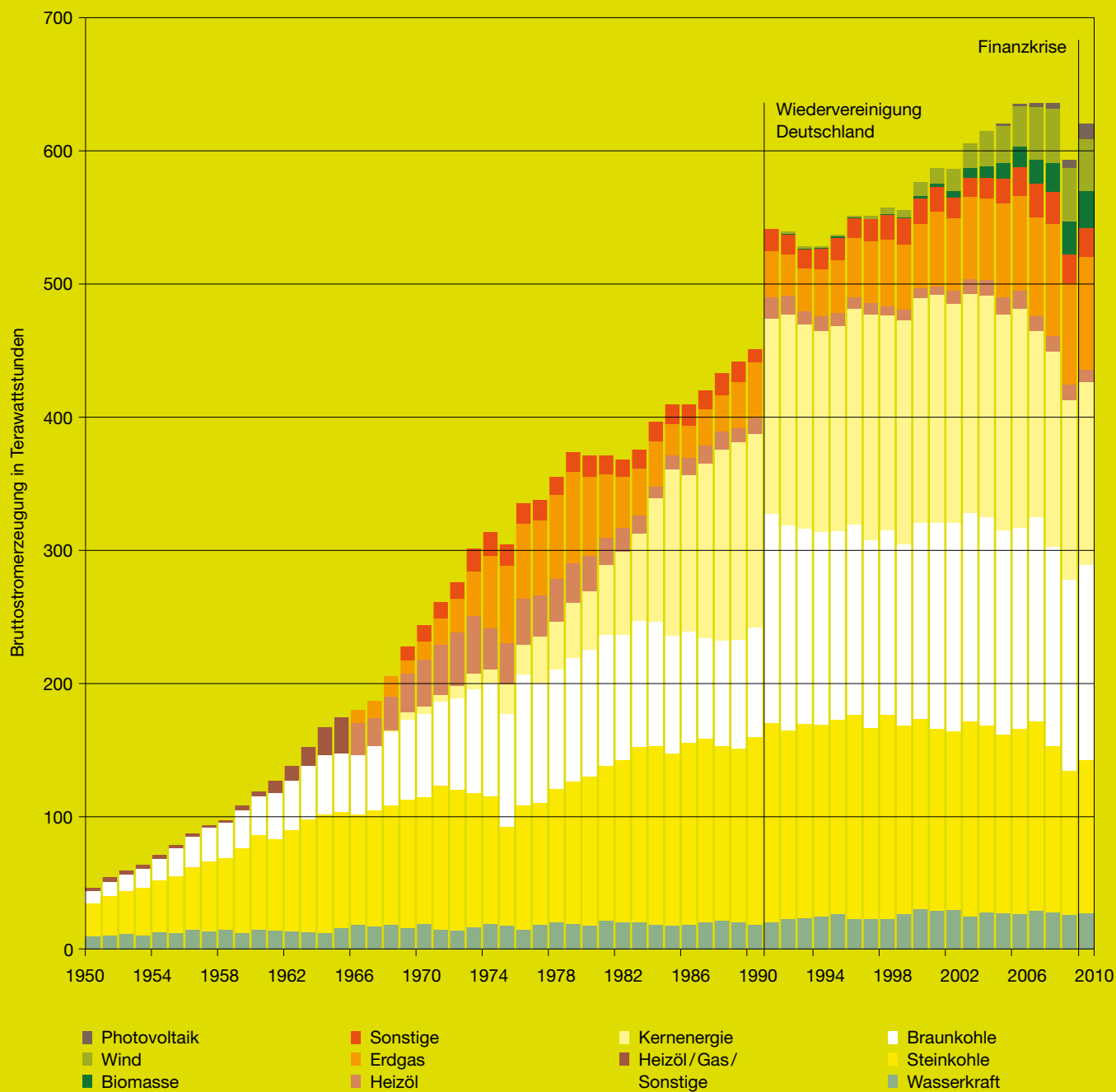
Energie ist eben kein Gut wie alle anderen. Energie ist und bleibt die Voraussetzung dafür, dass menschliche Arbeit durch Maschinen ersetzt werden kann. Dadurch wurden in den letzten 200 Jahren dramatische Produktionssteigerungen erreicht. Es konnten auch wesentliche Grundstoffe wie Ammoniak, und damit Dünger, durch Energieeinsatz überall in der Welt hergestellt werden. Die gewonnene freie Lebenszeit, die sich in reduzierten Arbeitsstunden und mehr Zeit für Ausbildung und Ruhestand niederschlägt, wäre ohne den massiven Einsatz von Energie undenkbar.

Bisher hat sich die Energietechnik, vereinfachend gesprochen, in zwei großen Schüben entwickelt: mit der Erfindung der Dampfmaschine am Anfang der ersten industriellen Revolution und mit der Ausbreitung der Elektrizität zu Beginn der zweiten industriellen Revolution. Beide haben das Produktions- und Transportsystem dramatisch verändert und deren Möglichkeiten ausgeweitet.

Ist die Energiewende eine industrielle Revolution?

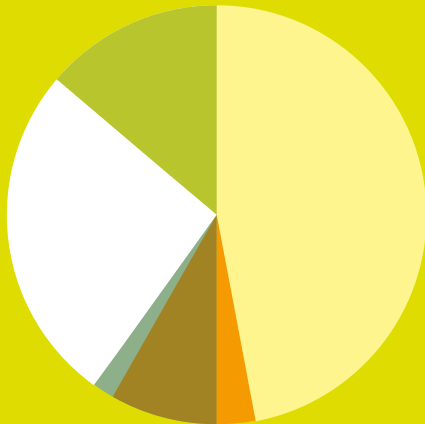
Gerne wird angeführt, dass wir uns nun am Vorabend einer weiteren industriellen Revolution befinden, an deren Ende die Versorgung mit erneuerbaren Energien stünde. Das neue Zeitalter wird dabei oft als Solarzeitalter bezeichnet. Hier muss aber ganz nüchtern gefragt werden, welchen Vorteil wir uns daraus erhoffen dürfen. Im Gegensatz zu den früheren industriellen Revolutionen ist eine direkte Verbesserung des Produktionssystems nicht zu erwarten. Ob der Strom in einem Kohlekraftwerk oder einer Windturbine erzeugt wird, spielt für die nachfolgenden Prozesse schließlich keine Rolle. Indirekte positive wirtschaftliche Effekte können aber sehr wohl dadurch entstehen, dass die Wertschöpfungskette im Land bleibt. Dies setzt jedoch voraus, dass Solarmodule und Windturbinen weiter in Deutschland produziert werden. Zusätzliche Vorteile ergäben sich für den Fall, dass erneuerbare Energien weltweit Verbreitung finden. Dann würden sich negative Auswirkungen der fossilen Energieträger wie zum Beispiel Klimaveränderungen und geopolitische Spannungen reduzieren.

Bei einem zweiten, genaueren Blick zeigt sich jedoch, dass eine verstärkte Einführung der erneuerbaren Energien die Produktionsprozesse und Anwendungen in Gewerbe, Verkehr und Haushalten verändern wird. Es ist zu befürchten, dass die Qualität der Stromversorgung zunächst schlechter wird und die Kosten steigen. Von den Verbrauchern wird mehr Flexibilität in ihrer Stromnachfrage gefordert oder die Anpassungsfähigkeit ist wirtschaftlich zu honorieren. Dies ist zunächst als Nachteil zu deuten. Ein Vorteil kann nur daraus werden, wenn Energie in jedem Entwurf und in jedem Entwicklungsschritt eines Produkts zum Thema wird, wenn jeder Betrieb, jedes Büro oder Kaufhaus zu jedem Zeitpunkt die Leistungsflüsse misst und kontrolliert und Leistungsprognosen zur täglichen Routine werden. Dann hat Energie eine ganz andere Bedeutung, als ihr heute zugesprochen wird. Damit ist die Hoffnung verbunden, dass eben nicht nur Flexibilität, sondern auch mehr Energieproduktivität entsteht. Dies ist aber zunächst nur eine Hoffnung. ▶



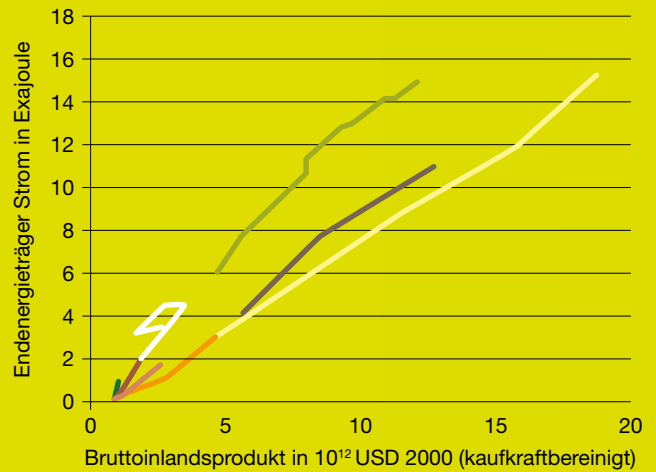
Graphik: edlundsepp nach TUM; Daten: VIK, BMWi

Die Menge an erzeugtem Strom ist in Deutschland stetig gestiegen. Zeiten wirtschaftlicher Schwierigkeiten waren mit einem kurzen Rückgang verbunden, Zeiten des Aufschwungs mit einem Anstieg. Seit Beginn des neuen Jahrhunderts wächst der Anteil der erneuerbaren Energien



- Industrie
- Verkehr
- Öffentliche Einrichtungen
- Landwirtschaft
- Haushalte
- Handel und Gewerbe

Die Stromnachfrage der einzelnen Nachfragesektoren für Deutschland im Jahr 2009. Die Industrie verbraucht knapp die Hälfte des in Deutschland erzeugten Stroms



- Asien
- Afrika
- Europa
- GUS und Baltikum
- Lateinamerika und Karibik
- Naher Osten
- Nordamerika
- Ozeanien

In allen Teilen der Welt geht wirtschaftliche Entwicklung mit steigender Stromnachfrage einher. Ebenso sank beim Zusammenbruch der Sowjetunion (weiße Kurve) der Stromverbrauch

Grafik links: edlundsepp nach TUM, Daten: BMWI
Grafik rechts: edlundsepp nach TUM, Daten: IEA

Notwendige technische Voraussetzungen für die Energiewende: Netze, Speicher und Effizienz

Szenarien

Die Diskussion um die Energiewende konzentriert sich noch immer viel zu stark auf die Erzeugungstechnologien. Das zeigt sich auch in den meisten Studien, die den Nachfragesektor eher nebenbei erwähnen und die zum Teil von optimistischen Annahmen für die Entwicklung des Energieverbrauchs ausgehen. Die vielen Studien und Analysen folgen dabei in etwa immer der gleichen Dramatik. Meist unterstellen sie pauschal eine deutliche Reduktion der Nachfrage nach Primärenergie, damit die Latte nicht zu hoch hängt. So geht zum Beispiel das Energiekonzept des Bundesumweltministeriums (BMU) davon aus, dass in Deutschland im Jahr 2020 ein Fünftel weniger, im Jahr 2050 sogar nur mehr halb so viel Primärenergie verbraucht

wird. Diese Reduktion soll vornehmlich aus dem Wärme- und Verkehrssektor resultieren, beispielsweise durch die umfassende energetische Sanierung von Gebäuden oder die Einführung von verbrauchsarmen Autos. Die Nachfrage nach Strom bleibt in den Studien konstant oder sinkt nur marginal. So prognostiziert das BMU für das Jahr 2020 einen gegenüber 2008 um zehn Prozent geringeren Stromverbrauch, im Jahr 2050 soll die Nachfrage um 25 Prozent gesunken sein. Zusätzlich unterstellen die Studien Stromimporte aus Ländern mit einem größeren Potenzial für erneuerbare Energien.

Windenergie und Strom aus Photovoltaik-Anlagen bilden in den Szenarien das neue Rückgrat der Stromversorgung und müssen mehr als die Hälfte der deutschen Stromerzeugung leisten. Das führt zu einem zeitlich stark variierenden Stromangebot. Die Solarenergie gehorcht dem Sonnenstand und dem wetterbedingten Bewölkungsgrad. Die

Windenergie zeigt saisonale Schwankungen, ist aber noch stärker vom allgemeinen Wettergeschehen abhängig. Obwohl die Summe der Wind- und Solarkapazitäten die Spitzenlast schon bald übersteigen wird, steht ihre Leistung mal im Überfluss und mal gar nicht zur Verfügung – unabhängig von der aktuellen Nachfrage. Zudem fällt die Produktion nicht am Ort des Verbrauchs an – vor allem Windenergie wird überwiegend vor der Nord- und Ostseeküste erzeugt. Waren die Kernkraftwerke in den 70er-Jahren verhältnismäßig nahe an den Verbrauchszentren errichtet worden, so gelten für die Erneuerbaren jetzt andere geografische Bedingungen für den Stromtransport.

Investitionen

Daraus ergibt sich eine Reihe großer Probleme, die in diesen Studien nur beiläufig diskutiert werden. So müssen beispielsweise neue Stromverteil- und Transportnetze sowie Stromspeicher entwickelt und gebaut werden. Das Stromnetz braucht zusätzliche Steuerungsinstrumente, damit die Verbraucher ihre Nachfrage an dem variierenden Angebot und den daraus resultierenden Preisschwankungen ausrichten können. Auch die Anbindung der Erzeugungsanlagen wird sich fundamental ändern. Heute wird Strom überwiegend in Synchrongeneratoren erzeugt. Diese erlauben eine elegante Spannungs- und Leistungsregelung. In Zukunft gelangt der Strom immer häufiger durch Wechselrichter in das System. Deshalb müssen die Regelstrategien völlig neu entwickelt werden, und es muss eine neue Generation an Wechselrichtern und Leistungselektronik aufgebaut werden, die diesen veränderten Anforderungen genügt.

Der Umbau der Stromnetze muss auf zwei Ebenen erfolgen. Zunächst steht der Ausbau der Übertragungsleitungen an, um zum Beispiel den Strom aus Off-Shore-Windkraftwerken im Norden Deutschlands in die Verbrauchszentren im Westen und Süden zu transportieren. Ideal wäre der Ausbau des europäischen Stromnetzes zu einem sogenannten Supergrid – vielleicht auf der Basis von Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ). Ein solches Netz würde die Integration der erneuerbaren Energien deutlich vereinfachen und helfen, Schwankungen auszugleichen. Zweitens müssen die lokalen Verteilnetze deutlich ertüchtigt werden, damit der Strom aus dezentralen Erzeugungsanlagen – insbesondere aus Photovoltaik – von den verbrauchsschwachen Regionen abgeleitet werden kann. All dies verlangt die Entwicklung neuer, effizienterer Komponenten und auch neuer Systemphilosophien.

Schließlich diskutieren die Szenarien selten die Auswirkungen alternativer Strategien in den Nachbarländern, wie zum Beispiel durch den Ausbau der Kernenergie in Tschechien, Polen und Frankreich.

Die kopernikanische Wende der Energiepolitik

Wie sollen der Umbau des Energie- und insbesondere des Stromsystems und die dafür nötigen erheblichen Investitionen organisiert werden? Welcher Ordnungsrahmen ist der geeignete? Diese Fragen können an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Trotzdem soll der Versuch unternommen werden, die Möglichkeiten auf zwei Alternativen zu reduzieren, um die Diskussion zu ordnen.

Zum einen kann der Staat den Umstieg organisieren, was einer Rückkehr zur staatlichen Energiewirtschaft gleichkäme. Die deutsche Tendenz geht in diese Richtung. Der Staat gibt mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vor, welche Technologien gefördert werden sollen. Andere Anreize, beispielsweise für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), gehen in die gleiche Richtung. Nur geschieht dies in einem halb staatlichen, halb privaten Raum. Der Staat setzt auf die Photovoltaik, die Mehrheit der Verbraucher bezahlt diese Förderung über den Strompreis, während Hausbesitzer und andere Investoren mit erheblichen Renditen profitieren. Dadurch entstand im Bereich der Solarenergie ein neuer Industrie- und Dienstleistungssektor. Leider zeigt sich heute, dass insbesondere die Industrie am Anfang der Produktionskette – Hersteller von Solarmodulen zum Beispiel – nicht gegen die Konkurrenz aus Asien bestehen kann. Ob dies nur an Dumpingpreisen liegt oder ob die Subventionen nicht genügend Anreize für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten geschaffen haben, sei dahingestellt. Grundsätzlich setzt eine solche staatliche Organisation des Umstiegs die Abkehr von Liberalisierung und Privatisierung voraus. Nationale, regionale und städtische Energieversorger in öffentlicher Hand würden gemeinsam die Energiewende umsetzen, angeleitet durch eine Expertenakademie. Mit geltendem europäischem Recht wäre dieser Weg sicher nicht vereinbar.

Eine andere Möglichkeit wäre, den Umstieg marktwirtschaftlich zu organisieren. Europa schreitet teilweise in diese Richtung. Mit dem europäischen Emissionshandel für Klimagase wurde ein marktwirtschaftliches Werkzeug entwickelt, um die Kräfte des Marktes zu befreien und Kohlendioxid dort einzusparen, wo es am günstigsten möglich ist. Auch dieses Werkzeug kann nicht gerade als Erfolg ▶

bezeichnet werden, aus vielerlei Gründen: Statt alle Sektoren in den Emissionshandel einzubeziehen, beschränkte man sich auf Feuerungsanlagen ab einer Größe von 20 Megawatt Leistung. Welche Last der Emissionsreduktion dieser Bereich übernehmen muss, ist aber Gegenstand vieler Verhandlungen. Auch konterkarieren Maßnahmen wie das EEG den Emissionshandel, da ja emissionsfreie Erzeugungsanlagen dadurch zusätzlich gefördert werden. Ungeachtet dieser Schwierigkeiten bietet diese marktwirtschaftliche Alternative den besonderen Reiz der Besinnung auf ganz wenige Werkzeuge. Zum Beispiel könnte eine einzige Energiesteuer die heutige Vielzahl an Instrumenten wie Mineralölsteuer, Stromsteuer, EEG, KWK-Bonus usw. ersetzen. Ende der 80er-Jahre wurde diese Alternative intensiv diskutiert, damals unter dem Namen einer ökologischen Steuerreform. Durch die Verteuerung der Energie und die Entlastung der Lohnkosten sollten Arbeitsplätze geschaffen werden. Ob wir dieses Ziel auch heute in einer alternativen Gesellschaft langfristig unterstützen wollen, sei hier als Frage aufgeworfen. In jedem Fall würden so Maßnahmen zu mehr Effizienz entlang der gesamten Energiekette gleichermaßen gefördert und die einzelnen Energiesektoren träten in Konkurrenz zueinander.

Unabhängig davon, zu welchem Weg die Politik tendiert, kann die geplante erhebliche Umgestaltung des gesamten Energiesektors sicher nicht mit herkömmlichen politischen Maßnahmen erreicht werden. Der Mut der Politik, nach den Unfällen im japanischen Fukushima eine Energiewende auszurufen, muss sich in einer neuen, mindestens ebenso mutigen und vor allem standhaften Ordnungspolitik äußern, die Planungssicherheit bietet.

Die derzeit zu beobachtende Regulierungsvielfalt, die sich mit einzelnen Geräten wie der Glühbirne befasst, sollte durch einen einfachen und umfassenden politischen Ordnungsrahmen ersetzt werden.

Hier sei an eine der Eingangsfragen erinnert:

Warum fiel England bei der Einführung der Elektrotechnik zurück? Das politische London des 19. Jahrhunderts war nicht in der Lage, die richtigen Rahmenbedingungen für eine rapide Entwicklung der Stromversorgung in London zu schaffen. Der Technikhistoriker Thomas P. Hughes schildert in seiner Analyse „Networks of Power“ eindrücklich, wie Partikularinteressen und zerstückelte Entscheidungsprozesse einer effizienten Entwicklung entgegenstanden. Die Energiewende ist sicher eine große politische, wirtschaftliche und nicht zuletzt auch technische Herausforderung. Die ordnungspolitischen Maßnahmen müssen durch eine langfristig ausgerichtete Forschungspolitik begleitet werden. Die Entwicklung der Infrastruktur, der Speicher und effizienter und flexibler Nachfragetechnologien muss neben die weitere Entwicklung der Erzeugungsanlagen treten. Auf lange Sicht wird sich eine Hinwendung zu neuen Energiequellen auch wirtschaftlich auszahlen, doch davor steht eine lange Durststrecke mit hohen Investitionen. Nur wenn dies bewerkstelligt wird, können in Zukunft beträchtliche Gewinne eingefahren werden. Ein klares Bekenntnis zu einem einfachen und langfristig sicheren Ordnungsrahmen ist deshalb jetzt die vordringliche Aufgabe der Politik. Die mutige Ankündigung der Energiewende muss durch den Mut zu einem neuen Ordnungsrahmen gestärkt werden. Die Lorbeeren gibt es aber leider erst in ferner Zukunft. □



Prof. Thomas Hamacher

Thomas Hamacher forscht auf dem Gebiet der Energie- und Systemanalyse. Seine Forschung konzentriert sich auf städtische Energiesysteme, die Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz und auf innovative nukleare Systeme, insbesondere die Kernfusion. Weitere Schwerpunkte seiner Arbeit sind Methoden und Grundlagen von Energiemodellen.

Nach seinem Studium der Physik in Bonn, Aachen und an der Columbia University in New York promovierte Hamacher zum Thema „Baryonische B-Zerfälle“ an der Universität Hamburg. Seit 1996 arbeitet er am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, zuletzt als Leiter der Gruppe für Energie- und Systemstudien. Seit April 2010 ist Thomas Hamacher kommissarischer Leiter des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik für den Zeitraum der Abwesenheit von Prof. Ulrich Wagner. Er ist Mitglied des Wissenschaftszentrums Umwelt (WZU) der Universität Augsburg sowie der Energiearbeitsgruppe der European Physical Society (EPS).

Der Moment, in dem Sie merken: Ihre Meinung ist gefragt.
Weil Sie Carl Zeiss aus vielen verschiedenen Perspektiven kennen.
Für diesen Moment arbeiten wir.



// ERFOLG UND
VERANTWORTUNG
MADE BY CARL ZEISS

Carl Zeiss ist ein weltweit führendes Unternehmen der Optik und Optoelektronik mit rund 24.000 Mitarbeitern. Zusammen mit den Besten ihres Fachs arbeiten Sie hier in einem kollegialen Klima für technologisch bahnbrechende Produkte. Mitarbeiter von Carl Zeiss stehen leidenschaftlich dafür ein, immer wieder etwas zu schaffen, das die Welt ein bisschen besser macht.

Starten Sie Ihre Karriere bei uns: www.zeiss.de/karriere



We make it visible.



Link

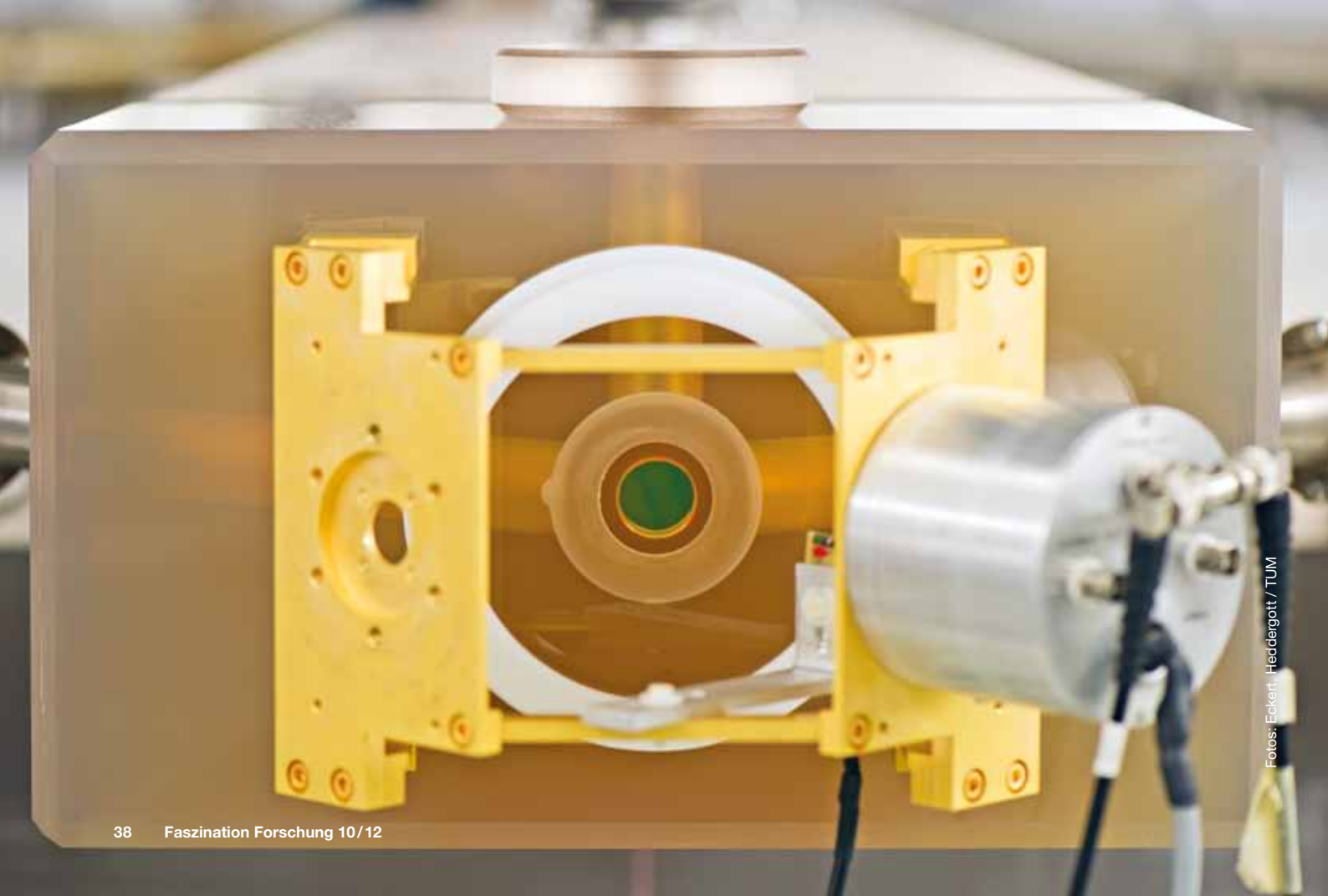
www.fs.wetzell.de

Der Ringlaser, der eigentlich eckig ist, bei der Revision: Auf einer neun Tonnen schweren, runden Platte aus Zerodur sind die Vakuumröhren montiert, in denen der Laserstrahl verläuft. Spiegel an den vier Ecken führen ihn auf einer geschlossenen Bahn

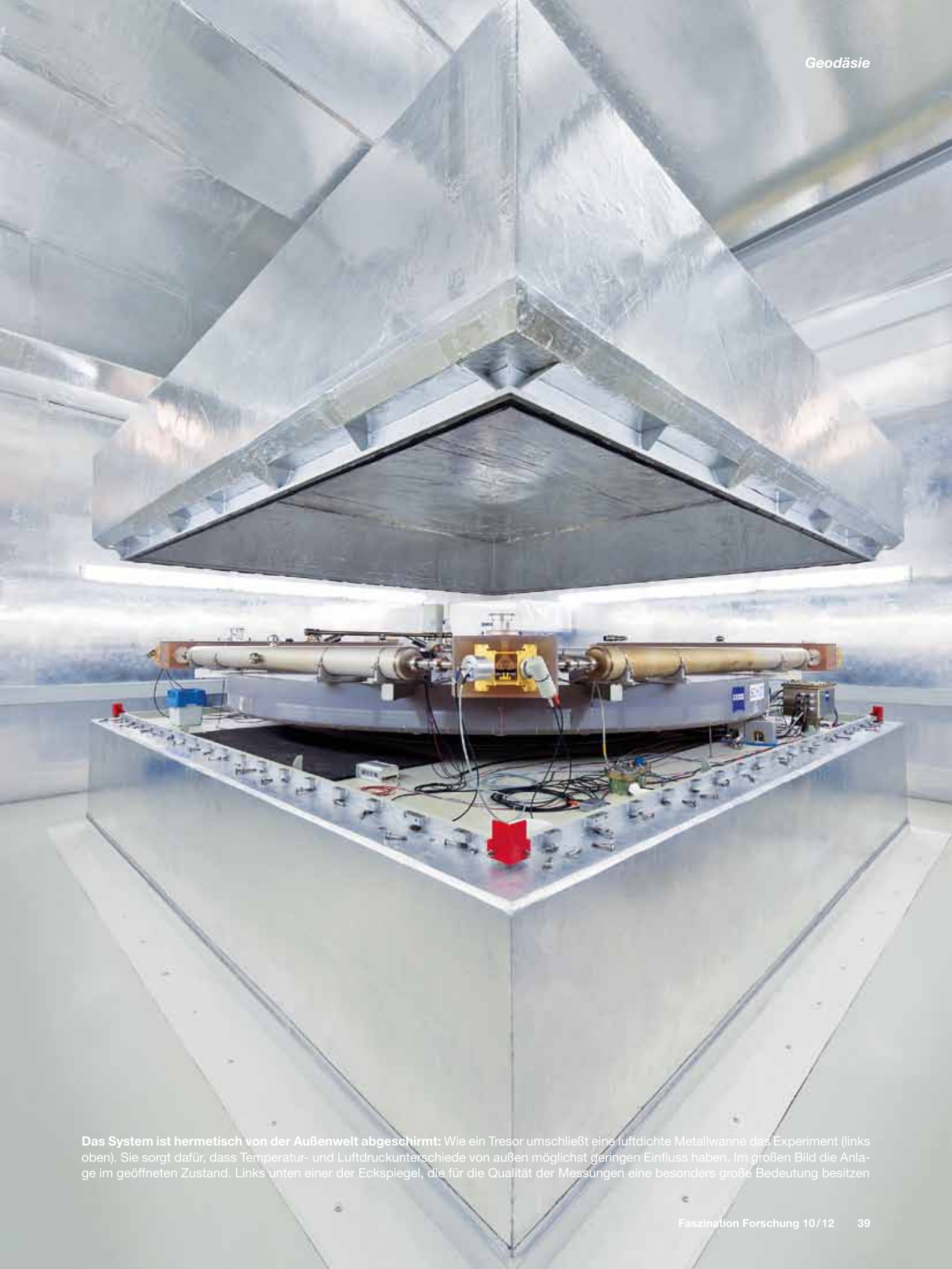


Ringlaser für exakte Navigation

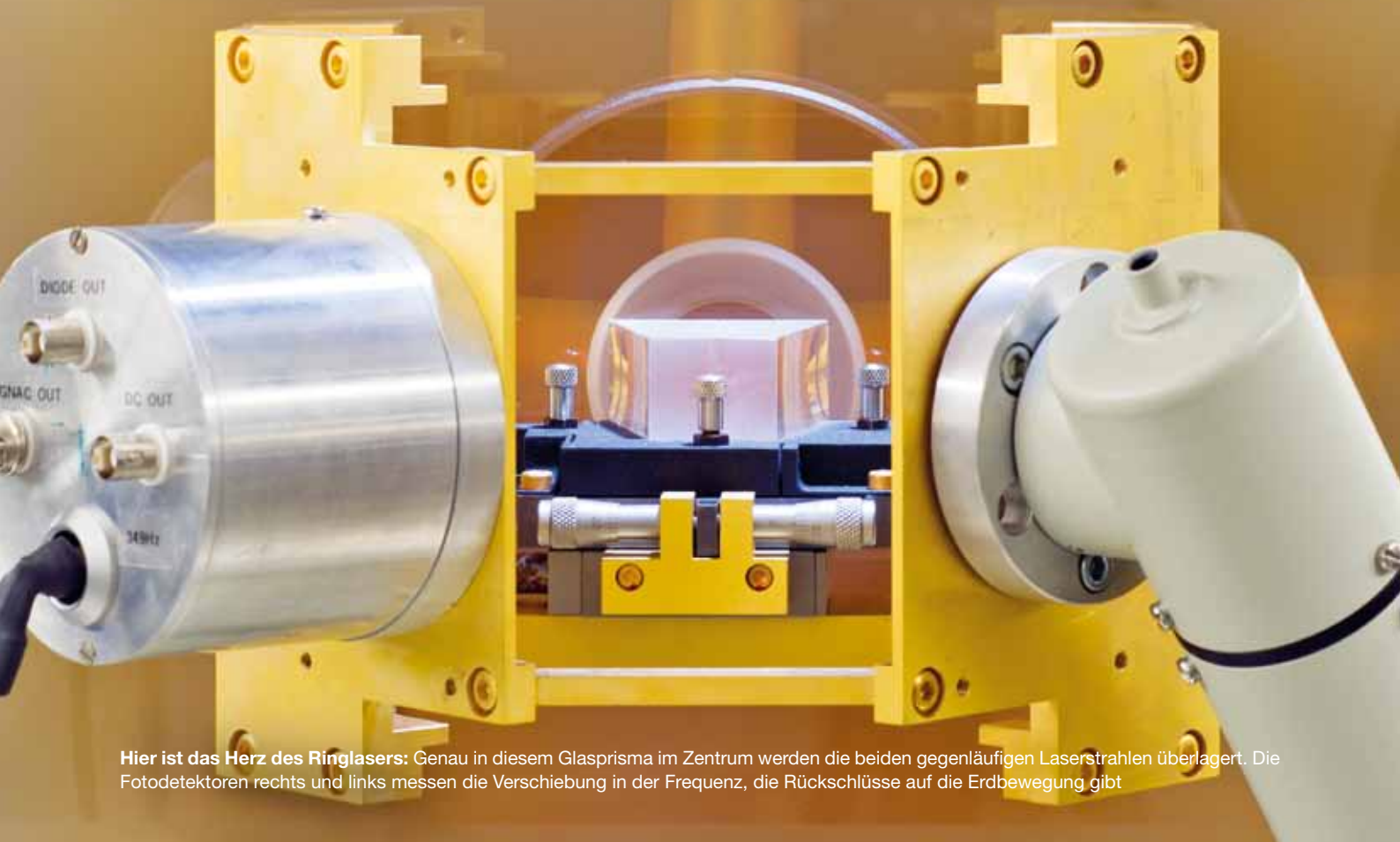
Unglaublich, aber wahr: Eine Gruppe von TUM Forschern schaut nicht ins All hinaus, wenn die Wissenschaftler die exakte Position und Neigung der Erde bestimmen wollen, sondern sie gehen in ein Labor, fünf Meter tief unter der Erde. Der Ringlaser, mit dem sie dort die nötigen Daten ermitteln, ist in seiner Art einmalig auf der Welt



Fotos: Eckert, Heddergott / TUM

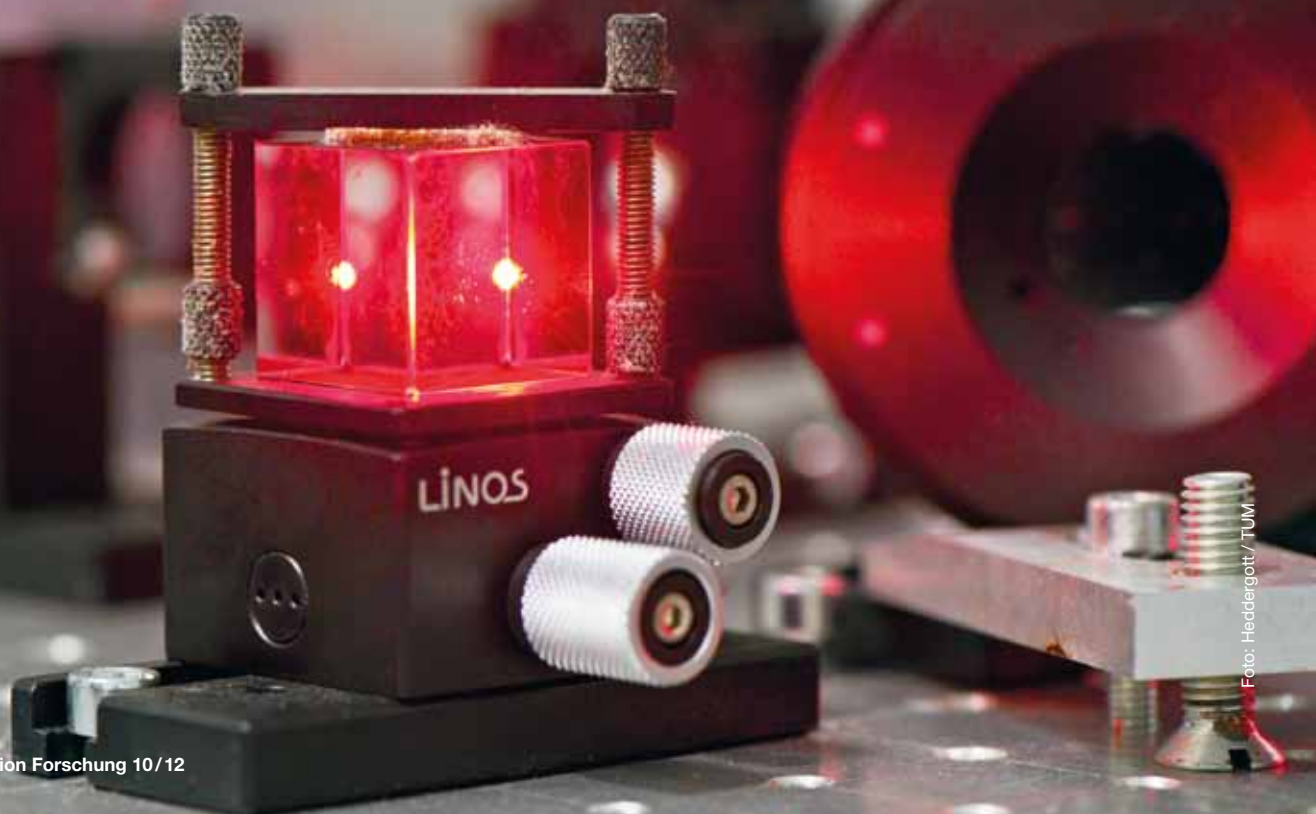


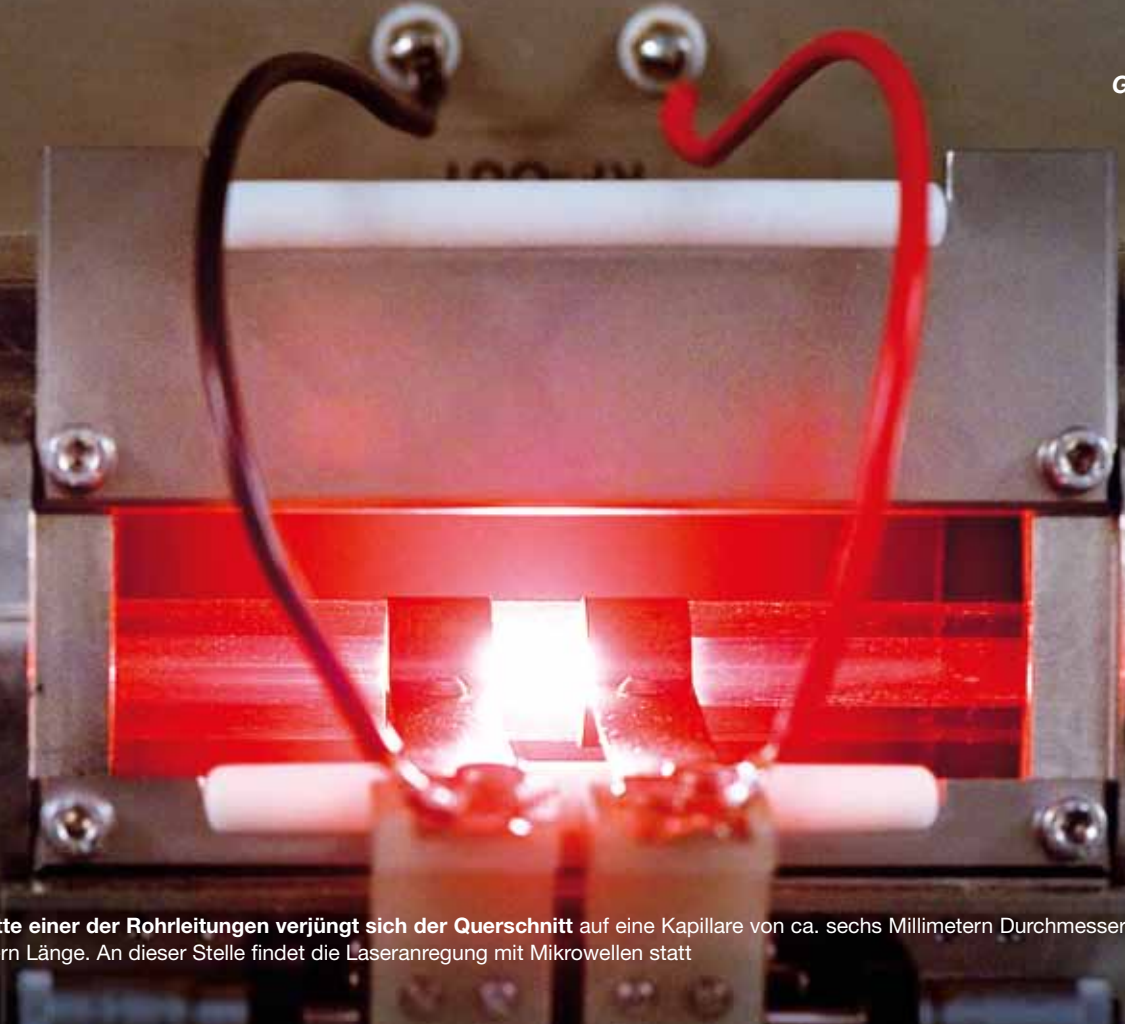
Das System ist hermetisch von der Außenwelt abgeschirmt: Wie ein Tresor umschließt eine luftdichte Metallwanne das Experiment (links oben). Sie sorgt dafür, dass Temperatur- und Luftdruckunterschiede von außen möglichst geringen Einfluss haben. Im großen Bild die Anlage im geöffneten Zustand. Links unten einer der Eckspiegel, die für die Qualität der Messungen eine besonders große Bedeutung besitzen



Hier ist das Herz des Ringlasers: Genau in diesem Glasprisma im Zentrum werden die beiden gegenläufigen Laserstrahlen überlagert. Die Fotodetektoren rechts und links messen die Verschiebung in der Frequenz, die Rückschlüsse auf die Erdbewegung gibt

Ein Detail aus der optischen Strahl-Stabilisierung des Ringlasers. Sie überwacht die Justierung des Laserstrahls und regelt ihn bei Bedarf so nach, dass er auch über lange Zeiten stabil bleibt





In der Mitte einer der Rohrleitungen verjüngt sich der Querschnitt auf eine Kapillare von ca. sechs Millimetern Durchmesser und zehn Zentimetern Länge. An dieser Stelle findet die Laseranregung mit Mikrowellen statt

Die Super-Umlenkspiegel sind ein Kernelement des Ringlasers und haben letztlich seinen Erfolg ermöglicht. Sie besitzen eine Beschichtung aus mehreren Lagen, die genau die Laserfrequenz besonders gut und verlustarm reflektiert



Dieses Regelungssystem sorgt dafür, dass die Frequenz des Laserstrahls stabil gehalten wird. Unten: Prof. Karl Ulrich Schreiber, der Leiter des Projekts, justiert hier einen der Hochleistungsspiegel



Foto: Eckert, Haddergott / TUM

Wetzell im Bayerischen Wald ist ein sehr ruhiges Fleckchen Erde. Keine Großstadt in der Nähe, keine Autobahn, kein Flughafen. Das Dorf liegt eingebettet zwischen sanften Hügeln, die nach Osten zu allmählich ansteigen und schließlich – gerade noch in Sichtweite – im Großen Arber gipfeln. Aber hier, wo sich nichts zu rühren scheint außer vielleicht die Wipfel der Tannen, gerade hier beweisen Forscher tagtäglich, dass sich der Boden unter unseren Füßen nicht nur rasend schnell bewegt, sondern dabei auch noch ständig kippt und schaukelt.

Eigentlich sollte man davon ausgehen, dass sich die Erde gleichmäßig dreht, denn ein Tag ist so lang wie der andere. „Wenn man aber genau hinschaut, stellt man fest, dass das nicht hundertprozentig stimmt“, sagt Prof. Karl Ulrich Schreiber vom Geodätischen Observatorium in Wetzell. Denn die Erde ist nicht perfekt rund, ihre Gestalt ändert sich ständig, einerseits weil sich Massen in ihrem Inneren verschieben und andererseits weil große Gewichte von außen auf sie drücken: Ebbe und Flut, Eisplatten, Windstaus und vor allem Hochdruckgebiete. Hinzu kommen noch die Einflüsse von Sonne, Mond und anderen Planeten. Wie bei einem Brummkreisel, den man antippt, schlingert deshalb die Rotationsachse der Erde ständig ein wenig. Man könnte auch sagen, Nord- und Südpol, also die beiden Enden der Erdachse, wandern etwas um den Idealpunkt herum.

Im Vergleich zu der ungeheuer großen Masse des Erdkreises sind die Störungen winzig klein: „Sie bewegen sich im ppb-Bereich“, sagt Schreiber. Das bedeutet „parts per billion“, also einen Teil auf eine Milliarde, unspürbar im Alltag. Wichtig werden diese Abweichungen von der idealen Rotation jedoch, sobald man die exakte Position von Satelliten wissen will. Denn ein Satellit richtet sich nur nach dem

Geozentrum der Erde, also ihrem Schwerpunkt. Was außen herum wackelt oder schlingert, ist ihm egal. Das gilt auch für die 32 GPS-Satelliten, die wir heutzutage zur Navigation auf der Erde benutzen. Jeder von ihnen sendet ständig seine aktuelle Position und die genaue Uhrzeit aus. Hat man Kontakt mit drei GPS-Sendern, kann man über die Laufzeiten der Signale die eigene Lage auf der Erde ausrechnen. In der Praxis sind aber die Uhren in den GPS-Empfängern nicht genau genug, um Laufzeiten korrekt messen zu können. Deshalb wird das Signal eines vierten Satelliten benötigt, mit dem dann auch noch die exakte Zeit im Empfänger bestimmt wird.

Quasare als Fixpunkte am Himmel

Die Ermittlung der Laufzeit gelingt jedoch nur dann, wenn man den Abstand von der Erdoberfläche zum Satelliten genau kennt. Und wenn die Erde eiert, verändert der sich laufend. „Einen Punkt für die GPS-Ortung zentimetergenau zu bestimmen, ist ein hochdynamischer Vorgang – schließlich bewegen wir uns in unseren Breiten pro Sekunde um circa 350 Meter nach Osten“, sagt Karl Ulrich Schreiber. „Zusätzlich gilt: Wenn man die leichten Abweichungen der Erdachse nicht mit einberechnet, driftet die Ortung mit der Zeit weg.“ Wie aber kann man ein Schlingern der Erde messen, wenn man keine festen Punkte hat, an denen man sich orientieren kann? Zu Hilfe kommen den Wissenschaftlern sogenannte Quasare. Das sind extrem hell leuchtende Objekte im Weltall, die so weit von uns entfernt sind, dass sie ihre Position am Himmel nie ändern.

Mindestens zweimal pro Woche richten Schreiber und seine Kollegen am Geodätischen Observatorium ihr Radioteleskop auf diese Fixpunkte aus und messen die Richtung. ▶

Zusammen mit insgesamt 29 anderen Teleskopen, die über die ganze Erde verteilt sind, ermitteln sie so die jeweils exakte Erdposition. Die Daten werden anschließend zentral ausgewertet und bilden die Grundlage für den International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), für den das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Frankfurt verantwortlich ist. Diese Organisation verbreitet jederzeit die aktuellen Daten, die dann in die GPS-Berechnungen einfließen und dafür sorgen, dass die Navis in unseren Autos auf wenige Meter genau funktionieren.

Die Erde als Flugzeug

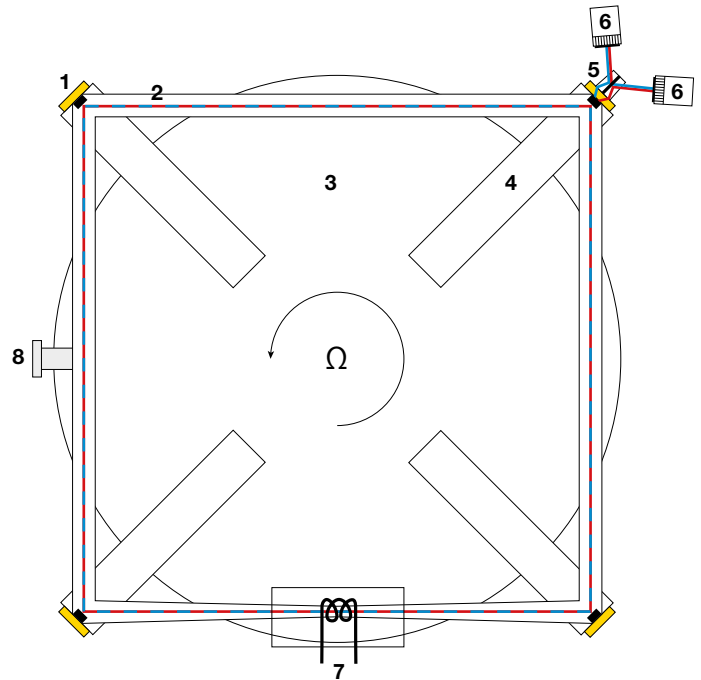
Das System ist gut eingespielt, aber besonders elegant ist es nicht. Um wie viel angenehmer wäre ein Gerät, das die Rotationsgeschwindigkeit und die Neigung der Drehachse direkt und selbstständig messen und per Online-Dienst verbreiten könnte! Hinzu kommt, dass man die Daten der Radioteleskope durch ein zweites, unabhängiges Messverfahren besser absichern könnte. „Was wäre beispielsweise, wenn die Positionen der Quasare nicht stabil sind?“, fragt der Physiker Schreiber.

Schon als er 1989 als Postdoc an das Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der TU München kam, begann er sich mit dem Thema zu beschäftigen. Sein damaliger Professor Manfred Schneider hatte vorgeschlagen, einen Laserkreisel – auch Gyroskop genannt – zu benutzen, um die Geschwindigkeit der Erdrotation unabhängig von äußeren Fixpunkten zu messen. Derartige Geräte befinden sich heute in jedem Schiff und Flugzeug und sorgen dort zusammen mit Beschleunigungssensoren für die Navigation. Sie beruhen darauf, dass zwei Laserstrahlen in entgegengesetzten Richtungen einen Ring durchlaufen.

Dreht sich die Anordnung, hat einer der beiden Strahlen einen geringfügig längeren Weg als der andere. Wenn man die beiden Lichtstrahlen am Ende wieder überlagert, sind ihre Wellen etwas gegeneinander verschoben, Fachleute sprechen von einer Verschiebung der optischen Frequenz. Sie erzeugt ein Interferenzmuster, das die Verschiebung anzeigt. Moderne Laserkreisel verwenden meist aufgerollte – teilweise kilometerlange – Glasfaserkabel, in denen der Laserstrahl läuft. Ursprünglich hatte der französische Physiker Georges Sagnac 1913 diesen nun nach ihm benannten Effekt demonstriert, dabei aber eine Anordnung mit mehreren Spiegeln verwendet.

„Man kann sozusagen die Erde als Flugzeug betrachten und sie mit einem Laserkreisel verbinden, der anzeigt, wie sie sich dreht“, sagt Karl Ulrich Schreiber. Er beschloss, seine Habilitationsarbeit der Aufgabe zu widmen und zusammen mit Kollegen der neuseeländischen University of Canterbury ein solches Instrument zu entwerfen. Von Anfang an war klar, dass man eine mindestens eine Million Mal größere Genauigkeit erzielen musste, als sie ein handelsübliches Laser-Gyroskop aufweist. „Damals sind wir beinahe ausgelacht worden, weil dies kaum jemand für möglich hielt“, erzählt Schreiber.

Die Formeln zur Berechnung der Frequenzverschiebung ergeben, dass der Ringlaser umso genauer arbeitet, je größer er ist. Das Ziel war also klar: Ein möglichst großes Gerät musste her. Praktische Überlegungen standen dem jedoch entgegen: „Je größer ein Ringlaser ist, desto wackeliger wird er, das macht ihn instabil“, sagt Schreiber. Schließlich ermittelte er ein Optimum zwischen beiden Anforderungen und landete bei einer umschlossenen Fläche von 16 Quadratmetern.



Betonpfeiler auf massivem Fels

Damit er die Drehbewegung der Erde messen kann, muss der Ringlaser fest mit dem Untergrund verbunden sein. So baute man in Wettzell dafür ein sogenanntes Monument, einen massiven Betonpfeiler, der in rund sechs Metern Tiefe auf massiven Fels der Erdkruste gegründet ist, damit ausschließlich die Erdrotation auf die Laserstrahlen wirkt. Darauf liegt im Untergrundlabor, das von dicken Styrodur-, Ton- und Erdschichten bedeckt ist, die eigentliche Konstruktion, eine neun Tonnen schwere Platte aus Zerodur, so auf, dass sie sich nicht durchbiegt. Dieses Material hat den Vorteil, dass es sich bei Erwärmung so gut wie nicht ausdehnt, deshalb wird es auch für die handelsüblichen Ceran-Kochfelder im Haushalt benutzt. Bei den hier nötigen Ausmaßen musste die Herstellerfirma Schott allerdings an die Grenzen ihrer technischen Möglichkeiten gehen: Die kreisrunde, polierte Platte hat einen Durchmesser von vier Metern. Darauf wurden zusätzlich noch vier Zerodur-Balken montiert, die nun die Eckpunkte mit den Laserspiegeln tragen. So gelang es, die anvisierte Größe von 16 Quadratmetern zu erreichen.

Mikrowellen regen den Laser an

Als Laser wählten die Forscher einen Helium/Neon-Gaslaser, dessen Strahl zwischen den vier Spiegeln im Kreis umläuft, der eigentlich ein Quadrat ist. Das Licht wird geführt in luftleer gepumpten Röhren, die von der Umgebung abgeschlossen sind. In der Mitte einer der Rohrleitungen verjüngt sich der Querschnitt auf eine Kapillare von ca. sechs Millimetern Durchmesser und zehn Zentimetern Länge. An dieser Stelle findet die Laseranregung mit Mikrowellen statt. Der eine Strahl durchläuft das Rohrsystem im

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1 Spiegel und Spiegelhalter | 5 Strahlenteilerprisma |
| 2 Mantelrohr | 6 Detektor |
| 3 Zerodur-Grundplatte | 7 Laseranregung |
| 4 Zerodur-Strahl | 8 UHV-Interface |

Das Grundprinzip des Ringlasers: Es beruht darauf, dass zwei Laserstrahlen in entgegengesetzter Richtung eine Strecke durchlaufen. Dreht sich die Anordnung, hat einer der beiden Strahlen einen geringfügig längeren Weg als der andere. Wenn man die beiden Lichtstrahlen am Ende wieder überlagert, sind ihre Wellen etwas gegeneinander verschoben. So lassen sich Neigungen der Erdachse nachweisen

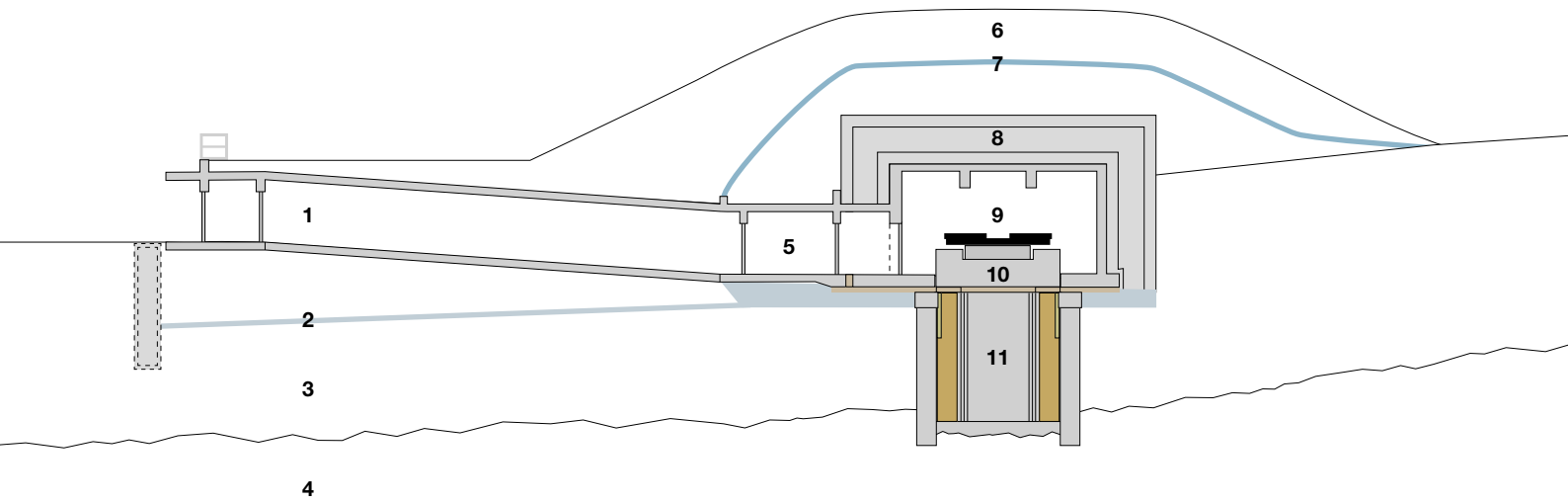
Uhrzeigersinn, der andere in entgegengesetzter Richtung. „Das Prinzip eines Ringlasers ist relativ einfach“, sagt Schreibers Kollege, der Geophysiker Dr. André Gebauer. „Die große Schwierigkeit bestand jedoch darin, den Laser so stabil zu halten, dass wir ein sehr schwaches geophysikalisches Signal störungsfrei messen können – und das über Monate hinweg.“ Das heißt, die Wissenschaftler mussten Änderungen in den Laserfrequenzen ausschließen, die nicht von der Drehbewegung der Erde, sondern von Umwelteinflüssen wie Variationen im Luftdruck, mechanischen Schwingungen oder Temperatur herrühren. „Wie schwierig das werden würde, haben wir anfangs nicht geahnt, sonst wären wir das Wagnis wahrscheinlich gar nicht eingegangen“, sagt Karl Ulrich Schreiber heute im Rückblick. „Manchmal war es zum Verzweifeln. Aber das ist normal in der Wissenschaft. Solange man einen Weg nach vorne sehen kann, geht man voran. Alles braucht eben seine Zeit.“

In mühsamer Feinarbeit verminderten die Forscher im Lauf der Jahre die Fehlerquellen. So wurde über das Instrument eine Druckkabine gebaut, die das Experiment von der Außenwelt abschirmt, Änderungen des Luftdrucks und der Temperatur registriert und automatisch gegensteuert. Ohnehin gelangt man in das Untergrundlabor nur durch einen 20 Meter langen Tunnel mit fünf Kühlraumtüren und einer Schleuse. Außerdem wurde der Laser optimiert, störende Oberschwingungen hat man unterdrückt und die Stabilität wurde verbessert. Am meisten brachte aber die Verbesserung der Spiegel. Den Forschern halfen da die Entwicklungen, die eigentlich den Detektoren für Gravitationswellen galten. Auch dort muss man Laserstrahlen stabil halten und braucht Spiegel, die möglichst geringe Streuverluste zei-

gen. Nachdem Schreiber und seine Kollegen im Jahr 2009 erneut bessere Spiegel eingesetzt hatten, gelang ihnen endlich der Durchbruch: Der Ringlaser lief im darauf folgenden Jahr 80 Tage am Stück und lieferte solide Ergebnisse. Deren Auswertung bewies, dass die Wettzeller Forscher die mit konventionellen Mitteln erzielten Daten ihrer Kollegen mit den Radioteleskopen genau bestätigen konnten. Die Diagramme, die 2011 in den *Physical Review Letters* veröffentlicht wurden, zeigen deutlich den sogenannten Chandler Wobble. Es handelt sich dabei um eine Rotation der Erdachse, die rund 435 Tage dauert und nach ihrem Entdecker, dem amerikanischen Astronomen Seth Carlo Chandler, benannt ist. Diese Bewegung ist überlagert vom jährlichen Annual Wobble, der durch die elliptische Bahn um die Sonne verursacht wird. Die beiden Effekte zusammen ergeben eine unregelmäßige Wanderung der Erdachse auf einer kreisähnlichen Linie mit einem Radius von maximal sechs Metern.

Erdbebenwellen aus Japan

Wie genau der Wettzeller Ringlaser arbeitet, konnten die Forscher am 11. März 2011 erleben: Als an diesem Tag im japanischen Tohoku-Oki die Erde bebte und unter anderem die Katastrophe von Fukushima verursachte, zeigte der Ringlaser einen Ausschlag an. Eigentlich dürfte er auf Erdbebenwellen nicht ansprechen, wenn diese quer durch den Globus laufen und die Erdoberfläche nur heben und senken. In diesem Fall konnten die Wissenschaftler aber eine Komponente der seismischen Erregung nachweisen, die sich wie Schlangen entlang der Erdoberfläche ausbreitet. Sie bewirkt, dass sich Bereiche der Erdoberfläche hin- und herdrehen. Diese Bewegung kön- ▶

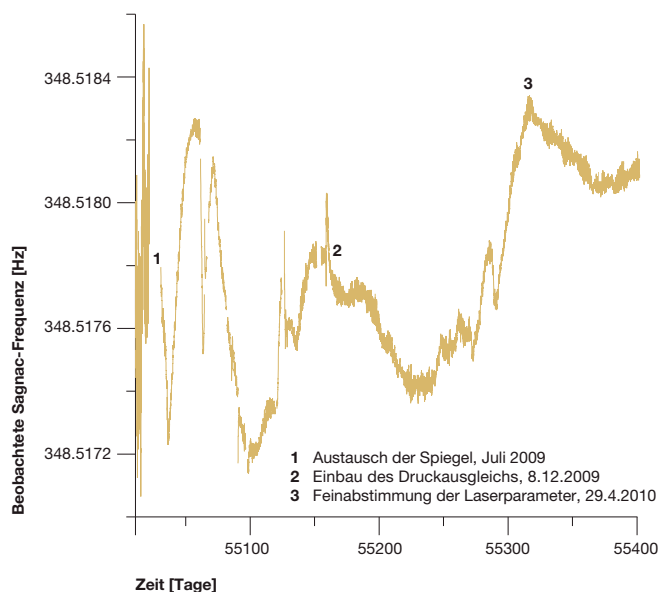
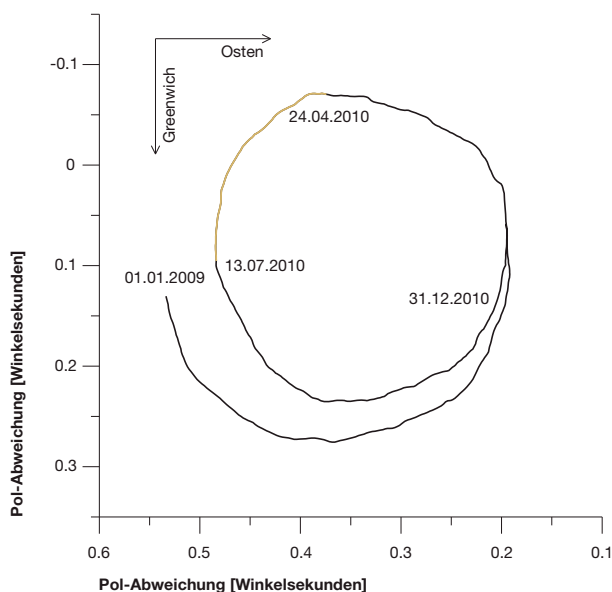


- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1 Eingangstunnel | 7 Wassersiegel |
| 2 Dränage | 8 Thermische Isolation |
| 3 Verwitterter Fels | 9 Ringlaser |
| 4 Felsmassiv | 10 Betonfundament |
| 5 DAQ Kontrolle | 11 Betonpfeiler |
| 6 Erdhügel | |

Aufbau des Untergrundlabors in Wetzell: Der Ringlaser ruht auf einem Betonpfeiler, der in rund sechs Metern Tiefe auf massiven Fels gegründet ist. Über dem Labor, das durch Luft- und Druckschleusen von der Außenwelt getrennt ist, liegen dicke Styrodur-, Ton- und Erdschichten. Unten der Laborhügel von außen



Grafik: edlundsepp nach TUM; Foto: Eckert/TUM



Die Messergebnisse (links): Von Norden aus betrachtet umschreibt der Nordpol im Lauf des Jahres ungefähr einen Kreis mit einem Radius von maximal sechs Metern. Bei diesem Chandler Wobble genannten Effekt handelt es sich um eine Rotation der Erdachse, die rund 435 Tage dauert und nach ihrem Entdecker, dem amerikanischen Astronomen Seth Carlo Chandler, benannt ist. Diese Bewegung ist überlagert vom jährlichen Annual Wobble, der durch die elliptische Bahn um die Sonne verursacht wird. In der Kurve oben ist die mit herkömmlichen Verfahren gemessene Bewegung des Nordpols vom 1.1.2009 bis zum 31.12.2010 eingezeichnet. Das Stück Messkurve vom 24.4.2010 bis zum 13.7.2010 stammt vom Ringlaser und fügt sich perfekt in die Kurve ein

Meilensteine bei der Verbesserung des Ringlasers (rechts): Diese Kurve zeigt, wie sich die Messergebnisse allmählich stabilisierten. Mehrere grundsätzliche Verbesserungen trugen dazu bei: der Austausch der Spiegel (1), der Einbau des Druckausgleichs (2) und die Feinabstimmung der Laserparameter (3). Jedes Mal wurde die Stabilität der Messwerte besser

nen normale Seismografen so nicht sehen, da sie Translationen von Rotationen nicht unterscheiden können. Die mühselige Entwicklungsarbeit in Wettzell hat sich offenbar gelohnt, man hat alle Konkurrenten abgehängt. Ein anderer Ringlaser wie beispielsweise der UG-2 in Neuseeland mit beachtlichen 832 Quadratmetern war aufgrund seiner Größe und heterogenen Struktur zu „klapprig“, um ernsthaft ein Ergebnis zu liefern. Der GEOsensor, ein Ringlaser für seismische Beobachtungen, steht in Piñon Flat, ca. 200 Kilometer nordöstlich von San Diego in Kalifornien. Er spielt im Moment keine große Rolle, da er Probleme mit dem Betrieb hat.

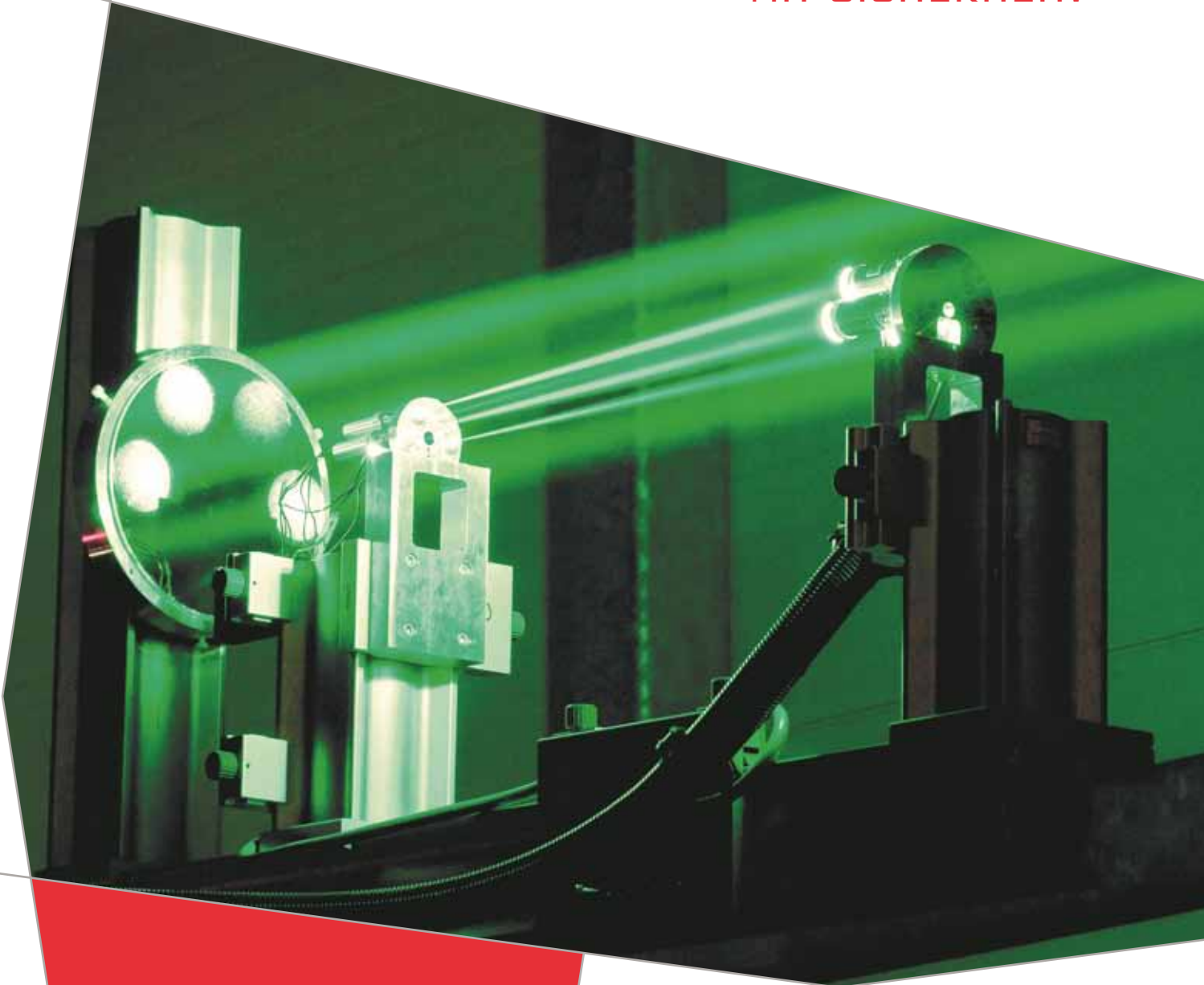
Zum Messen in den Keller gehen

So ist der Ringlaser in Wettzell das einzige wirklich produktive Messgerät dieser Art und zeigt obendrein die größte Genauigkeit und Stabilität. „In der Vergangenheit hat es mehrere Versuche gegeben, große Ringlaser zu bauen, aber nur unser System hat ‚abgeliefert‘, freut sich Schreiber. „Dazu war aus meiner Sicht die neue Spiegeltechnik im Windschatten der Gravitationswellenantennen die entscheidende Technologie.“

Das nächste Ziel seiner Forschergruppe ist nun zum einen, die Genauigkeit der Konstruktion so zu erhöhen, dass sie Veränderungen der Erdrotationsgeschwindigkeit eines einzelnen Tages erfassen kann. Zum anderen wollen die Wissenschaftler den Ringlaser für einen dauerhaften Betrieb rüsten, bei dem die Apparatur auch über Jahre keine Abweichungen produziert. Karl Ulrich Schreiber: „Salopp gesagt: Wir wollen künftig mal eben in den Keller gehen können und nachschauen, wie schnell sich die Erde gerade dreht.“

Brigitte Röthlein

WISSEN SCHAFFT ZUKUNFT.
MIT SICHERHEIT.



Als High-Tech-Unternehmen der Verteidigungsindustrie entwickeln, produzieren und warten wir Lenkflugkörper-systeme, Komponenten und Subsysteme für Luftwaffe, Marine und Heer. Wir suchen engagierte, motivierte und erfahrene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mit uns an der Sicherheit der Zukunft arbeiten.

Wir sind Teil der europäischen und global agierenden MBDA mit einer Konzernzugehörigkeit zur EADS und bieten Ihnen ein stabiles Umfeld, langfristige Perspektiven sowie nationale und internationale Entwicklungsmöglichkeiten.

Bei uns erwarten Sie herausfordernde Aufgaben, ein modernes Arbeitsumfeld, ein ausgezeichnetes Betriebsklima, umfangreiche Sozialleistungen, flexible Arbeitszeitmodelle sowie eine leistungsorientierte Vergütung.

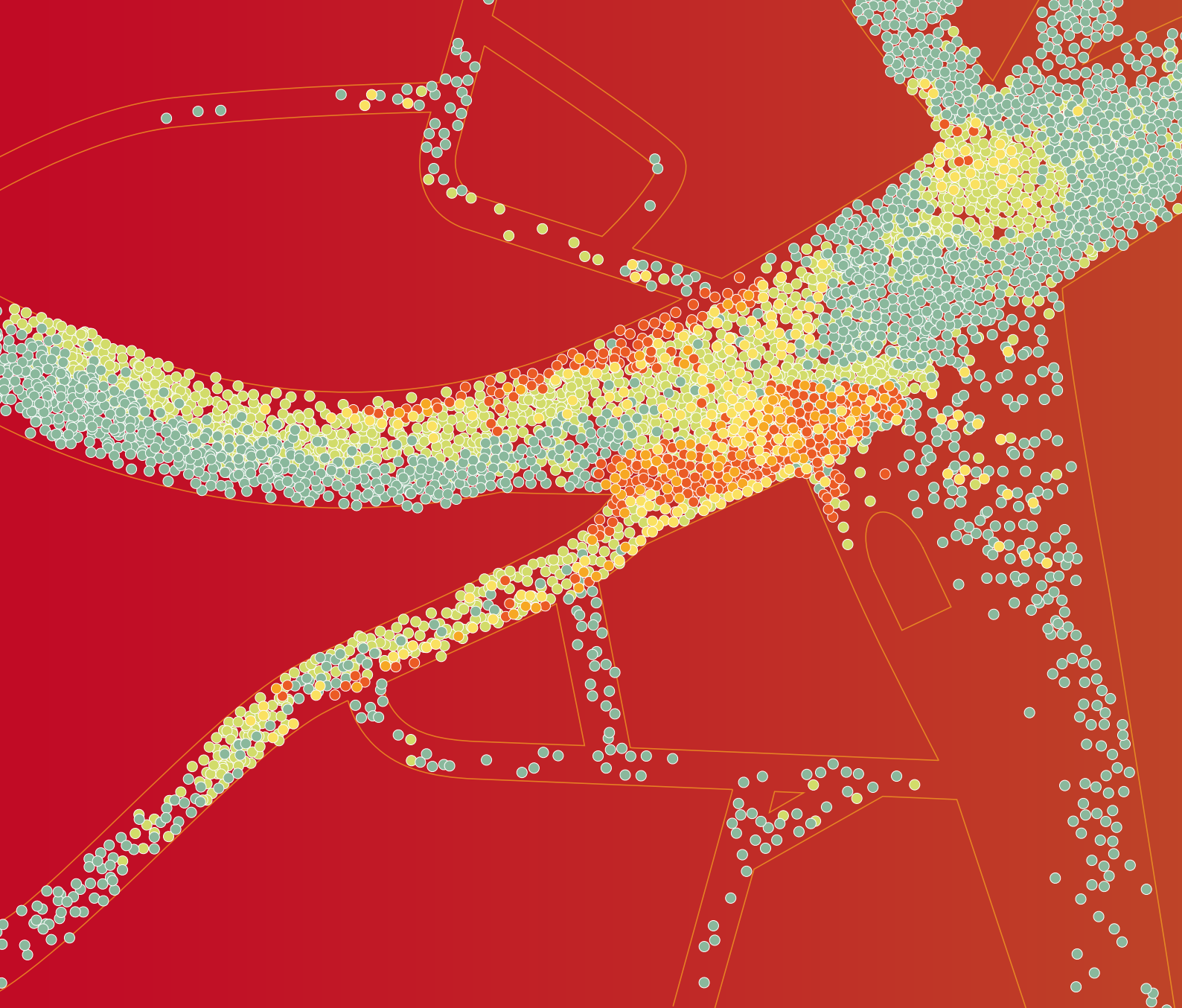
Unsere aktuellen Stellenangebote finden Sie unter www.mbda-careers.de

MBDA Deutschland
Recruiting
Hagenauer Forst 27
86529 Schrobenhausen

bewerbung@mbda-careers.de
www.mbda-careers.de



MBDA
MISSILE SYSTEMS



Simuliertes Gewimmel

Eine Forschergruppe der TUM hat ein Programm entwickelt, das Polizei und Rettungskräften die Notfallplanung erleichtert. Es berechnet für einen konkreten Ort, wie sich Besucher einer Großveranstaltung im Evakuierungsfall verhalten. Der Simulator spielt verschiedene Szenarien durch – beispielsweise wie Blockaden die Menschenmenge beeinflussen. Bisher ist dies trotz aller Erfahrungswerte nur schwer vorhersehbar

Gedränge am Ausgang des Fußballstadions: Bei den roten Punkten ist es besonders eng, in grünen Bereichen ist die Personendichte weniger hoch

Links

www.cms.bv.tum.de
www.repka-evakuierung.de

Samstagnachmittag auf dem Betzenberg in Kaiserslautern: 40.000 Fußballfans strömen nach dem Abpfiff des Bundesligaspiels aus dem Fritz-Walter-Stadion zu Parkplätzen und Bahnhöfen – schon ohne besondere Zwischenfälle eine schwierige Situation für Polizei und Ordnungsdienste. In Not- und Katastrophenfällen kann die Steuerung der Besucher aber über Menschenleben entscheiden. Die Planer von Großveranstaltungen müssen deshalb möglichst genau vorausberechnen: Wohin bewegen sich die Menschen? Was geschieht, wenn einzelne Wege blockiert sind? Wie kann man das Gelände möglichst schnell evakuieren?

Antworten auf diese Fragen sind auch bei regelmäßig stattfindenden Veranstaltungen schwierig zu geben. „Schon vermeintlich kleine Hindernisse können die Besucherströme entscheidend beeinflussen“, sagt Angelika Kneidl vom Fachgebiet Computergestützte Modellierung und Simulation der TUM. Der von Ingenieuren und Informatikern entwickelte Simulator soll helfen, solche Unwägbarkeiten im Voraus zu erkennen. „Mit dem Programm können wir beliebig viele ‚Was-wäre-wenn?‘-Szenarien durchspielen“, erklärt Kneidl.

Forscher mehrerer Hochschulen und Unternehmen haben den Simulator zusammen mit Behörden und Sicherheitskräften in Kaiserslautern entwickelt. Die Wissenschaftler konnten dabei nicht nur auf die Topografie des Areals rund um das Fritz-Walter-Stadion und auf Daten über die Fans zurückgreifen, sondern auch auf Forschungsergebnisse zum Bewegungsverhalten in größeren Gruppen. „Man weiß zum Beispiel, dass sich Fußgänger an Engpässen in unterschiedlichen Formationen stauen, je nachdem wie breit der Durchgang und der Weg sind“, erklärt Kneidl. „Oder dass sie dazu neigen, in Bahnen anderen Menschen hinterherzulaufen.“ Um besser zu verstehen, wie Fußgänger Ziele in einer Stadt erreichen, die sie nur ungefähr kennen, schickten die Wissenschaftler 150 Erstsemester vom TUM Hauptgebäude zum Hofbräuhaus. „Die Bandbreite der protokollierten Routen war groß“, erzählt Kneidl. „Aber es gibt Muster, die wir nutzen konnten: Zum Beispiel bevorzugten die meisten lange Geraden und orientierten sich an prominenten Plätzen.“

Die Programmierung der Simulation beruht auf einem Kräftemodell, bei dem die jeweiligen Ziele sowie Hindernisse und andere Personen Kräfte auf jeden einzelnen Fußgänger ausüben. „Eine der Herausforderungen war es, diese Kräfte so zu modellieren, dass das Programm auf alle möglichen Szenarien und Verhaltensweisen anwendbar ist“, sagt Fachgebietsleiter Prof. André Borrmann. Zum Beispiel bewegen sich Besucher, die den Weg bereits kennen, anders als solche, die sich erst orientieren müssen.

Das Programm ist so gestaltet, dass es Anwender als Trainingssimulator selbst bedienen können. Die sogenannte mikroskopische Simulation bildet von den Zehntausenden Besuchern jeden einzelnen ab, sodass Sicherheits- und Rettungskräfte detailliert nachvollziehen können, welche Auswirkungen eine bestimmte Entscheidung im Ernstfall hätte. Die unterschiedliche Dichte der Menge wird zudem farblich dargestellt. Das Programm ist besonders bedienungsfreundlich, weil es alle Simulationen in Echtzeit anzeigt – üblicherweise sind dafür lange Rechenzeiten nötig. Ein solcher Simulator könnte künftig für jede Großveranstaltung programmiert werden, solange die Topografie des Areals sowie die ungefähre Größe und Zusammensetzung der Personenmenge bekannt sind und die Personen feste Ziele haben. Nicht geeignet ist das Modell für Orte wie Freizeitparks, wo Besucher ohne Ziel flanieren. Auch Paniksituationen, in denen Menschen nicht mehr rational handeln, können nicht simuliert werden. „Aber unser Ziel ist ja“, sagt Kneidl, „durch vorausschauende Planung Panik gar nicht erst aufkommen zu lassen.“ □

Das Projekt REPKA

Der Simulator für Evakuierungen wurde im Rahmen des Projekts REPKA – Regionale Evakuierung: Planung, Kontrolle und Anpassung – entwickelt. REPKA wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Neben der TU München sind die Technische Universität Kaiserslautern, Siemens, das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, IT2media sowie die Hochschule München beteiligt. In einem nächsten Schritt wollen die Partner den Simulator zur Marktreife entwickeln.

Link

<http://www.med3.med.tum.de/forschung/Grundlagenforschung/apoptosis/indexjost.html>

XIAP: Die letzte Instanz vor dem Tod einer Zelle

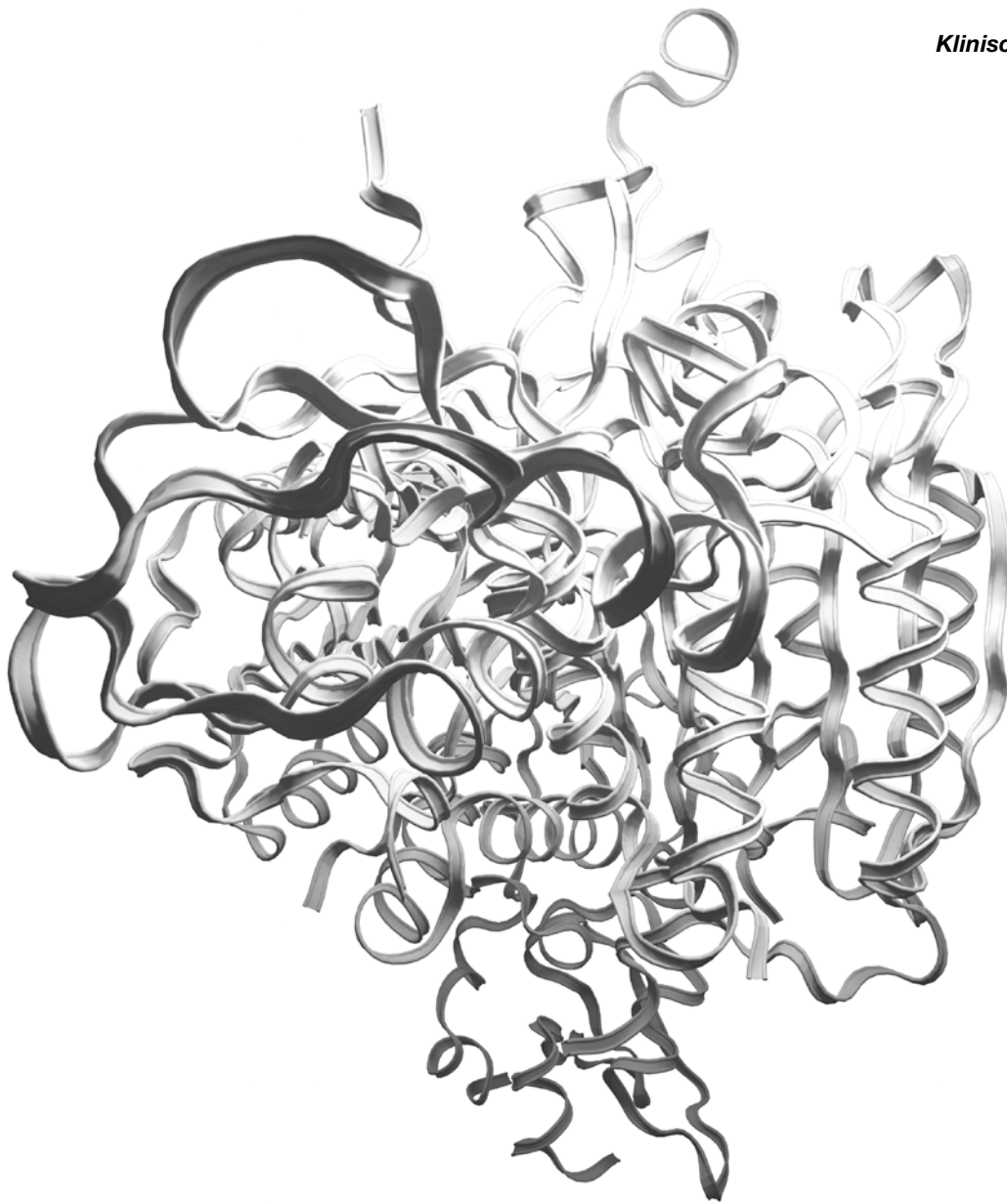
Der Forscher und Arzt PD Dr. Philipp Jost erklärt, wie er die Funktion eines wichtigen Regulators des programmierten Zelltods aufklären konnte. Und warum das bei der Suche nach neuen Medikamenten gegen Krebs helfen könnte

Wenn der Mann spricht, dann gerne so schnell, dass man konzentriert zuhören muss: Philipp Jost, geboren 1973 in Oxford, aufgewachsen in Heidelberg, Studium der Medizin in London, Berlin und München, ist heute nicht nur Familienmensch, alias Vater von drei kleinen Kindern, sondern auch Leiter einer fünfköpfigen Forschergruppe und – Arzt. Jost sitzt in seinem Büro in der Hämatologischen Tagesklinik der III. Medizinischen Klinik der TU München und gleich mehrfach wird das Gespräch die kommende Stunde von Anrufen unterbrochen. „Deutlich kleiner geworden?“, freut sich Jost einmal. „Sehr gut, dann spricht die Chemotherapie an, wir können weitermachen.“ Gemeint ist, dass ein stark vergrößerter Lymphknoten bei einem Patienten mit Lymphdrüsenkrebs wieder fast auf Normalmaße geschrumpft ist. Zumindest vorerst.

Das Immunsystem hatte es Jost schon früh angetan. Jene irrwitzige Kaskade von Zellen, Proteinen, Botenstoffen, die uns zum Glück fast immer noch von jedem Schnupfen geheilt hat, in der aber auch einige besonders gefürchtete Krebsformen, vor allem Lymphdrüsenkrebs und Leukämien, entstehen können. Der Umsatz an Zellen im Immunsystem ist enorm: Allein von den Lymphozyten, einer Sorte weißer Blutkörperchen, bildet unser Körper jeden Tag 20 Milliarden. „Und ebenso viele bringt er auch gleich wieder zur Strecke“, erklärt Jost. Doch wehe, wenn nicht.

Programmierter Zelltod

Das Abräumen überflüssiger Zellen besorgt ein hochkomplexes Selbsttötungsprogramm, die Apoptose. Das Signal für „Zerlege dich selbst“ erhalten viele Immunzel-



Das Protein XIAP im Komplex mit dem Enzym Caspase 3 (Röntgenstrukturanalyse)

len von außen, oft über einen speziellen Rezeptor an ihrer Oberfläche, den FAS-Rezeptor. Meistens aktivieren ihn andere regulatorische Immunzellen, die eine Struktur auf ihrer Oberfläche tragen, die wie Schlüssel und Schloss zum Rezeptor passt – den sogenannten FAS-Liganden. Sie verabreichen ihren Kollegen den „Todeskuss“, wenn sie damit am FAS-Rezeptor andocken. Von ihm trägt eine Signalkaskade den Auftrag weiter in das Zellinnere. Einmal in Gang gesetzt, dauert es nur eine Stunde, bis sich ein T-Lymphozyt in nichts aufgelöst hat.

Fatal, wenn nicht. Fehler im Programm haben mit manchen Autoimmunkrankheiten zu tun und vor allem mit Krebs. Eigentlich sind Krebszellen für eine Apoptose prädestiniert, meint Jost. „Sie leiden unter anderem chronisch an Nährstoff- und Sauerstoffmangel – beides Signale, die bei ge-

sunden Zellen Apoptose auslösen.“ Doch die vielen noch unbekanntesten Fehler im Programm sorgen bei Krebs für eine Blockade. Diese fehlerhafte Blockade der Apoptose gilt heute als ein Charakteristikum von Krebserkrankungen schlechthin. „Bei vielen Arten von Lymphdrüsenkrebs oder hochaggressiven akuten Leukämien, bei denen sich Leukozyten unkontrolliert innerhalb von kurzer Zeit verdoppeln können“, erklärt Jost, „zeigt sich die dramatische Folge mangelnder Apoptose.“

Etablierte Strahlen- oder Chemotherapien wirken oft, indem sie eine blockierte Apoptose in Krebszellen doch noch anwerfen. Sie attackieren vor allem die Erbsubstanz, die DNA, und zwar gerade dann, wenn sich eine Zelle teilt. Damit schädigen sie eben besonders teilungsaktive Krebszellen. Diese irreparablen Schäden an der DNA sind ein ▶

Glossar	
Apoptose	Auch „Selbstmordprogramm“ genannt. Eine Form des programmierten Zelltods, mit dem Zellen planmäßig, ohne Entzündung und auf kontrollierte Weise entfernt werden. Am Ende einer komplexen Signalkaskade wird die DNA im Zellkern in Bruchstücke zerlegt und die Zelle stirbt. Bei unkontrolliert wuchernden Krebszellen ist die Apoptose sehr oft gestört.
BID	Die Abkürzung steht für den englischen Namen BH3 Interacting-Domain Death Agonist. BID ist ein Protein, das in manchen Zellen wichtig ist, damit Todessignale von außen auch tatsächlich zur Apoptose führen. BID leitet das Signal auf den sogenannten Pfad 2 der Apoptose. Tieferer Sinn ist ein Schutz besonders wichtiger Zellen wie Leberzellen vor eventuell vorschneller Apoptose. Diese besonders wertvollen Zellen gehen normalerweise – wenn überhaupt – nur über Pfad 2 in den Untergang. Schalten Forscher BID aus, ist Apoptose bei diesen Zellen über Signale von außen kaum noch möglich.
Caspase	Großgruppe an Enzymen, die in der Zelle Proteine abbauen. Wichtige Vertreter bei der Apoptose sind: Caspase 8, die gleich zu Beginn aktiviert wird. Caspase 3 und 7 sind entscheidend für den späteren Abbau der Erbsubstanz, DNA.
DNA	Träger der Erbsubstanz einer Zelle. Am Ende einer Apoptose wird sie auf jeden Fall zerstört.
FAS-Ligand	Ein Protein, das vor allem auf bestimmten Zellen des Immunsystems sitzt, die meist wieder andere Zellen des Immunsystems in die Apoptose schicken. FAS-Ligand dockt dafür als „Todessignal“ an FAS-Rezeptoren an, die die Zielzellen tragen. FAS-Ligand lässt sich heute für Versuchszwecke bei Firmen bestellen.
FAS-Rezeptor	Ein „Todesrezeptor“ auf der Zellmembran. Nach dem Andocken von FAS-Ligand lagern sich drei dieser Rezeptoren zusammen und leiten so den Startschuss für das Apoptose-Programm in das Innere der Zelle.
SMAC-Mimetika	Kandidaten für neue Krebsmedikamente, die einen Bremsfaktor der Apoptose, genannt XIAP, deaktivieren. Dadurch, so die Hoffnung, können Krebszellen, in denen das Protein XIAP überaktiv ist, wieder in den Zelltod gehen. Derzeit sind sie in klinischer Erprobung.
Typ-1-Zellen	Zellen, bei denen der Befehl zum Zelltod vom FAS-Rezeptor auf einem vergleichsweise kurzen, direkten Weg, dem Pfad 1, zur Zerstörung der DNA führt.
Typ-2-Zellen	Zellen, bei denen der Befehl zum Zelltod vom FAS-Rezeptor auf einem vergleichsweise längeren, indirekten Weg, dem Pfad 2, zur Zerstörung der DNA führt. Wichtiger Akteur ist dabei BID.
XIAP	Die Abkürzung steht für X-linked Inhibitor of Apoptosis Protein (X, da das Gen auf dem X-Chromosom liegt). Ein Eiweiß, das in der Apoptose als letzte Bremse vor der Zerstörung der DNA fungiert. XIAP muss deaktiviert werden, bevor eine Zelle ihre eigene Erbsubstanz zerstört und so irreversibel dem Untergang geweiht ist. Bei Krebszellen, die unkontrolliert wuchern, könnte eine übermäßig starke Bremsfunktion von XIAP eine Ursache dafür sein, dass sie nicht in die Apoptose gehen.

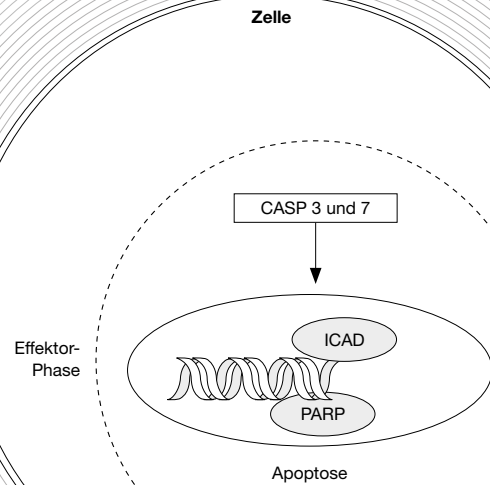
weiterer Auslöser von Apoptose. Allerdings zeigt das oft beträchtliche Nebenwirkungsprofil von Chemotherapien, dass die Breitbandaktivatoren eben auch gesunde Zellen in Mitleidenschaft ziehen. Die Hoffnung auf neue Krebsmedikamente, die gezielt an den molekularen Stellschrauben der Apoptose ansetzen, hat sich bislang noch nicht erfüllt. Immerhin sind Wirkstoffkandidaten in der klinischen Erprobung, darunter einige, die den FAS-Todesrezeptor auf Krebszellen aktivieren sollen. Jost bleibt dennoch optimistisch: „Ich glaube allerdings, dass wir weniger oben, beim Startpunkt des Zelltods, sondern eher weiter unten, bei nachgeschalteten Stellschrauben im Apoptose-Programm, die größten Chancen haben.“ Sein Optimismus hat mit einem Auslandsaufenthalt in Australien zu tun, mit Mäusen und vor allem mit XIAP.

Wege in den Zelltod

2007 ging Jost für knapp drei Jahre als Postdoc an das Walter and Eliza Hall Institute in Melbourne in das Labor von Prof. Andreas Strasser, einem der Pápste der Apoptose-Forschung. Jost arbeitete mit sogenannten Knock-out-Mäusen – Tiere, bei denen die Experimentatoren mit molekularen Kniffen bestimmte Gene ausschalten. In der Medizinforschung generell ein Verfahren, um Genfunktionen aufzuklären. Motto: Man schaue, was im Organismus passiert, wenn das Gen fehlt, der Organismus mithin auch das verschlüsselte Eiweiß nicht mehr bilden kann, und schließe darüber zurück auf seine Funktion. Eine Strategie, die bei Geduld und schlauer Planung von Experimenten auch noch so versteckte Akteure der Apoptose aufspüren hilft.

Programmierter Zelltod: Apoptose

Apoptose taufte ein Forschertrio um den australischen Pathologen John Foxton Ross Kerr 1972 den Prozess, bei dem sich Zellen im Körper nach korrekt abgespultem Programm einfach selbst beseitigen. Apoptose ist in der Biologie der unverzichtbare Gegenspieler von Zellteilung und Wachstum, um überschüssige Zellen beiseitezuschaffen. Ohne programmierten Zelltod würde ein 80-Jähriger rund zwei Tonnen Knochenmark und Lymphknoten mit sich herumschleppen; sein Darm wäre 16 Kilometer lang. Der Zelltod wird entweder durch irreparable Schäden in der Zelle selbst in Gang gesetzt oder durch Signale von außen. Fein sauber zersägt am Ende einer langen Signalkaskade das Enzym Caspase 8 unter anderem das Eiweiß ICAD. Damit kann ein weiteres Enzym, eine DNase, die Erbsubstanz DNA zersägen. Zugleich wird das Reparaturenzym PARP stillgelegt und weitere Caspasen räumen Proteine ab, die sich eben noch schützend um die DNA legten. So wie an der Erbsubstanz geht es im ganzen Rest der Zelle zu: Membranen und Organellen werden zu kleinen Häppchen zerlegt. Keine Entzündung, kein Fieber, nichts. Einmal in Gang gesetzt, ist oft bereits nach einer Stunde von einer Zelle im Körper nichts mehr da.

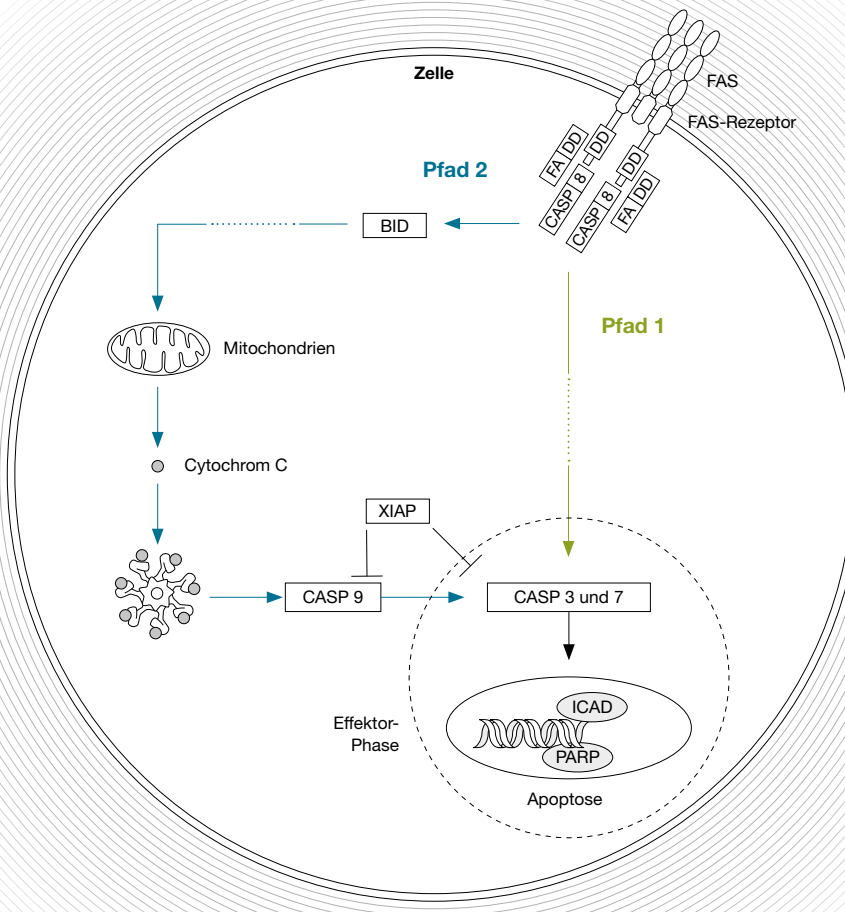


Was Jost 2007 bereits vorfand, war eine BID-Knock-out-Maus. Ihr fehlt das Gen für BID, dessen Rolle für den programmierten Zelltod die Gruppe um Strasser dadurch mit aufklären konnte. Generell, das stand 2007 auch schon fest, gibt es in vielen Zellen nach Aktivierung des FAS-Rezeptors zwei verschiedene Pfade in den Untergang.

Pfad 1 ist der direktere Weg. Immunzellen zum Beispiel schickt der Körper überwiegend über diese Direktleitung in den Tod. In anderen Zellen, beispielsweise Leberzellen, ist Pfad 1 nicht ausreichend potent, um Apoptose zu aktivieren.

Hier kommt Programmpfad 2 zum Einsatz. Er dauert vergleichsweise länger und verfügt über mehr molekulare Bremsen, die eine Zelle notfalls noch betätigen kann. Der Körper überlegt sich, salopp gesagt, lieber zweimal, ob er besonders

wichtige Leberzellen wirklich vernichtet – ohne ihren Stoffwechsel überlebt er nicht lange. Pfad 1, die direkte Rennbahn in den Tod, ist bei ihnen daher blockiert. Der Job von BID: Leber- und einige weitere Zellen, bei denen Pfad 1 blockiert ist, sprechen nur dann überhaupt auf Todessignale via FAS von außen an, wenn BID dieses Signal an die Programmkaskade von Pfad 2 durchreicht. Einen Beleg dafür lieferten jene BID-Knock-out-Mäuse. Normalerweise versterben Mäuse binnen weniger Stunden an Leberschäden, wenn ein Experimentator ihnen den FAS-Liganden injiziert. Nicht aber hier. Mäusen, die kein BID mehr bilden, machte das Todessignal FAS-Ligand kaum etwas aus. „Ohne BID wird auch Pfad 2 in die Apoptose bei einer Leberzelle durch FAS-Ligand nicht in Gang gesetzt“, erklärt Jost. Pfad 1 ist bei ihnen ohnehin blockiert. Jost: „Die Tiere sind und bleiben putzmunter.“ ▶

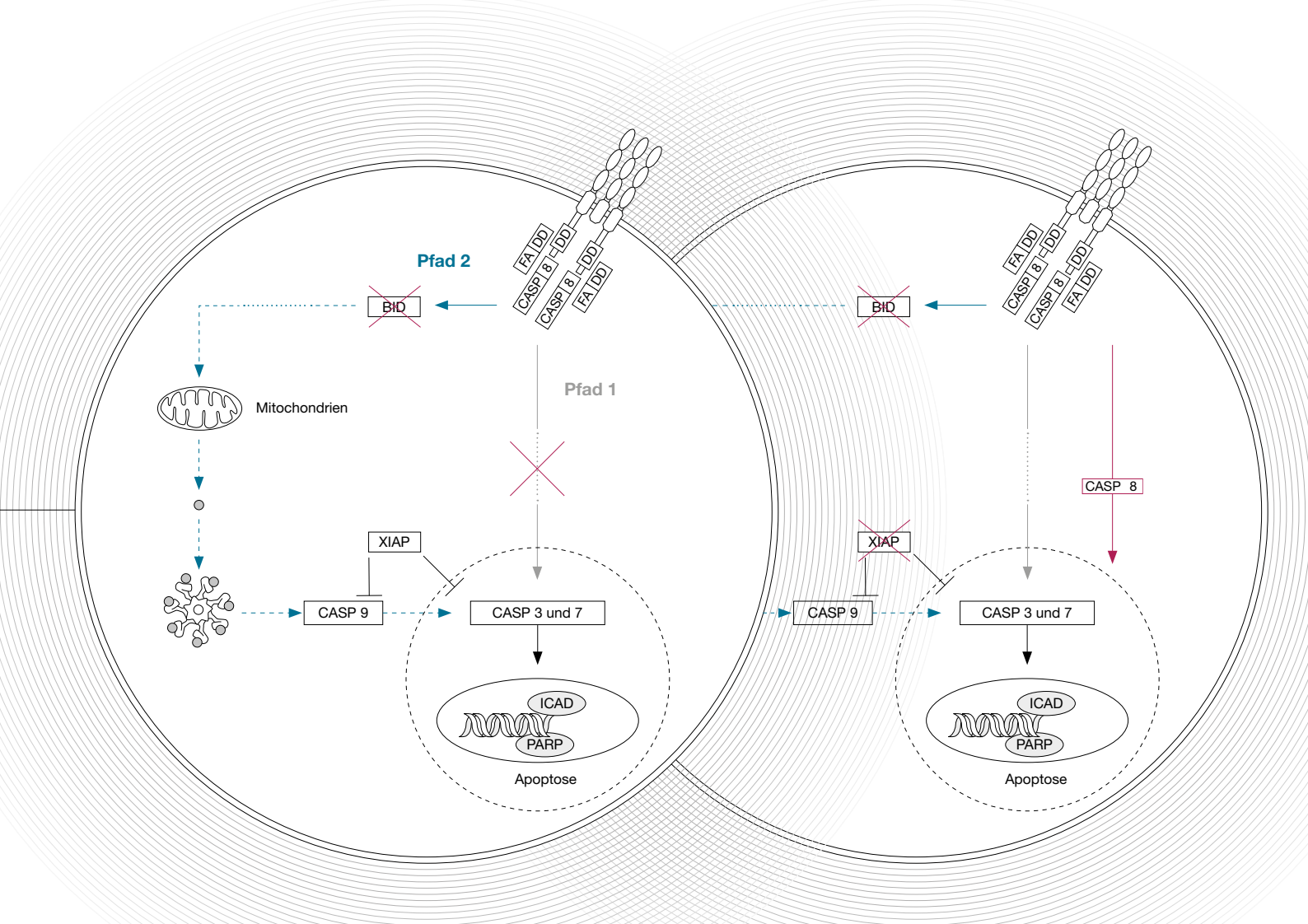


Von außen gesteuerter Zelltod: Botenstoffe docken an der Zellaußenwand an sogenannte Todesrezeptoren an, um den Zelltod anzuwerfen. Es werden Caspasen (CASP) aktiviert, das sind Enzyme, die andere Proteine zerschneiden. Je nach Zelltyp laufen nun unterschiedliche Prozesse ab: Vor allem Zellen des Immunsystems beschreiten den direkten Weg (Pfad 1) zum DNA-Schredder. In anderen Zellen, etwa Leberzellen, dominiert der längere Pfad 2. Typisch ist hier ein Auseinanderbrechen der Membran um die Mitochondrien. Am Ende werden die gleichen DNA-Schredder wie über Pfad 1 in Gang gesetzt

Neuer Ansatz für Krebsmedikamente

Jost nahm sich gleich einen weiteren Kandidaten vor, genannt XIAP. Das Eiweiß gehört zur Familie der Inhibitor-of-Apoptosis-Proteine (IAP), die generell Apoptoseprogramme bremsen, so viel war bereits bekannt. „Die genaue Rolle aber, wo und wie es wirkt, war bei XIAP noch unklar“, erinnert sich Jost. Der Weg, um mehr zu erfahren: wieder Knock-out-Mäuse, und zwar diesmal solche ohne XIAP. Und wieder entsprach das Ergebnis in etwa der Erwartung: Mäuse ohne XIAP, aber mit BID, vertrugen FAS-Liganden sogar noch einen kleinen Tick schlechter als normale Tiere. Die Interpretation: Ohne XIAP, das den Prozess etwas bremst, läuft die Apoptose via Pfad 2 und BID logischerweise noch etwas schneller ab. So weit, so, naja, noch nicht umwerfend spannend.

Eine faustdicke Überraschung bot dann aber der nächste Versuch: bei Mäusen mit Doppel-Knock-out, ohne BID und ohne XIAP. „Wir hatten erwartet, dass auch sie ganz gut vor FAS-Liganden geschützt sind, weil die Apoptose via Pfad 2 in den Leberzellen eben mangels BID erst gar nicht richtig in Gang kommt“, erklärt Jost. Das überlebenswichtige Organ sollte also auch bei ihnen vor Apoptose via FAS-Rezeptor eigentlich komplett geschützt sein. Stattdessen aber reagierten die Tiere fast genauso empfindlich auf FAS-Liganden wie normale Mäuse. Jost: „Wir konnten das zunächst gar nicht glauben, haben gedacht, wir hätten die Käfige verwechselt.“ Etliche Wiederholungen später war klar: XIAP ist keineswegs nur eine Bremse unter mehreren, sondern vielmehr die Bremse schlechthin bei FAS-induzierter Apoptose.

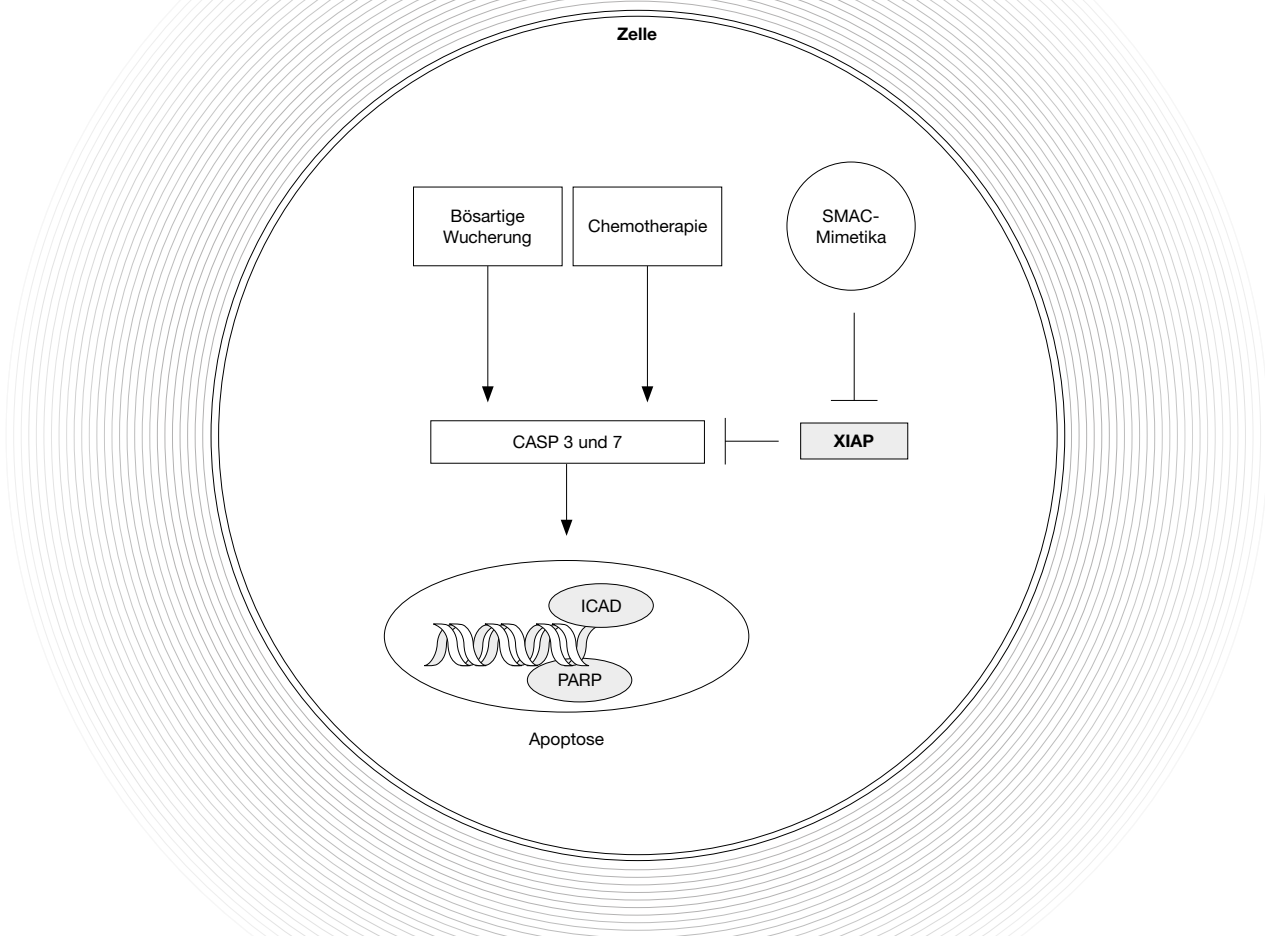


Das Protein XIAP sitzt quasi als letzte Bremse kurz vor dem Ziel der Apoptose, wo auch Pfad 1 und Pfad 2 zusammentreffen. Schalten Forscher bei einer Leberzelle BID aus, blockieren sie so den Pfad 2 in den Zelltod. Diese Zellen gehen über Signale von außen generell nicht mehr in die Apoptose. Wird obendrein noch das Protein XIAP ausgeschaltet, öffnet sich hingegen neu der Pfad 1 in den Untergang und die Zellen sterben doch

Denn XIAP steht unten kurz vor dem Ende von Apoptose-Pfad 1 wie 2 und kann dort die Signalkaskade in die Selbstzerstörung kurz vor dem Ziel stoppen. Gerade noch rechtzeitig, bevor die Erbsubstanz der Zelle irreversibel zerschreddert wird.

Mehr noch: Die Menge und Aktivität von XIAP ist eine zentrale Stellschraube bei der Entscheidung, welchen Weg eine Zelle in den Untergang einschlägt. In Typ(Pfad)-1-Zellen wie T-Lymphozyten ist XIAP beispielsweise per se nicht aktiv genug, um den Pfad 1 in die Apoptose zu blockieren. Die Zellen nehmen deshalb primär diesen Weg. In Leberzellen hingegen bewirkt eine große Aktivität von XIAP, dass sie Pfad 1 in die Apoptose nicht beschreiten können. Nur Programmpfad 2 verfügt über Mechanismen, am Ende XIAP zu inaktivieren. „Indem wir XIAP künstlich ausschalteten,

hatten wir aus den Typ-2-Leberzellen wieder Typ-1-Zellen gemacht“, resümiert Jost seinen dritten Versuch. Die Leberzellen gehen unter, auch wenn Pfad 2 blockiert ist. Intellektuelle Spielerei im Labor? Weit gefehlt. Denn längst ist XIAP das Ziel für neue Krebsmedikamente. XIAP scheint bei vielen Leukämiezellen überaktiv, könnte so mit dafür sorgen, dass sie nicht in die Apoptose gehen. Wie andere Gruppen weltweit erforscht auch die um Jost heute spezielle Substanzen, sogenannte SMAC-Mimetika, die XIAP lahmlegen sollen. Finanzier der Arbeiten ist überwiegend die Deutsche Krebshilfe. Noch laufen die Versuche erst im Labor an Kulturen von Zellen, die von Leukämiepatienten kommen. „Sie stammen aus Proben, die wir für diagnostische Zwecke ohnehin entnehmen müssen“, betont Jost. ▶



XIAP als möglicher Ansatzpunkt für neue Krebsmedikamente: Charakteristisch für Krebszellen ist, dass die Apoptose in ihnen nicht mehr adäquat funktioniert. Diese Zellen überleben und gedeihen unter Bedingungen, bei denen normale Zellen längst ihren eigenen Untergang in Marsch gesetzt hätten. Ein Grund dafür könnte eine fehlerhafte Überaktivierung von XIAP sein. Etliche Gruppen und Pharmafirmen erproben daher zurzeit sogenannte SMAC-Mimetika, die XIAP inaktivieren sollen

Multitalent XIAP

Klar ist: Die neuen Einblicke zu XIAP sind eine Mahnung zur Vorsicht. Wie bei allen Chemotherapie-Medikamenten müssen auch die Entwickler von XIAP-Hemmstoffen ein therapeutisches Fenster äußerst sorgfältig beachten. Jost: „Wir brauchen eine zeitlich und mengenmäßig ganz fein justierte Dosierung dieser Substanzen. Sie soll Leukämiezellen via XIAP-Blockade in die Apoptose schicken, aber gesunde Zellen verschonen. Wir müssen auf jeden Fall vermeiden, Leberzellen zu Typ-1-Zellen zu machen, weil sie dann ebenfalls angreifbar werden.“

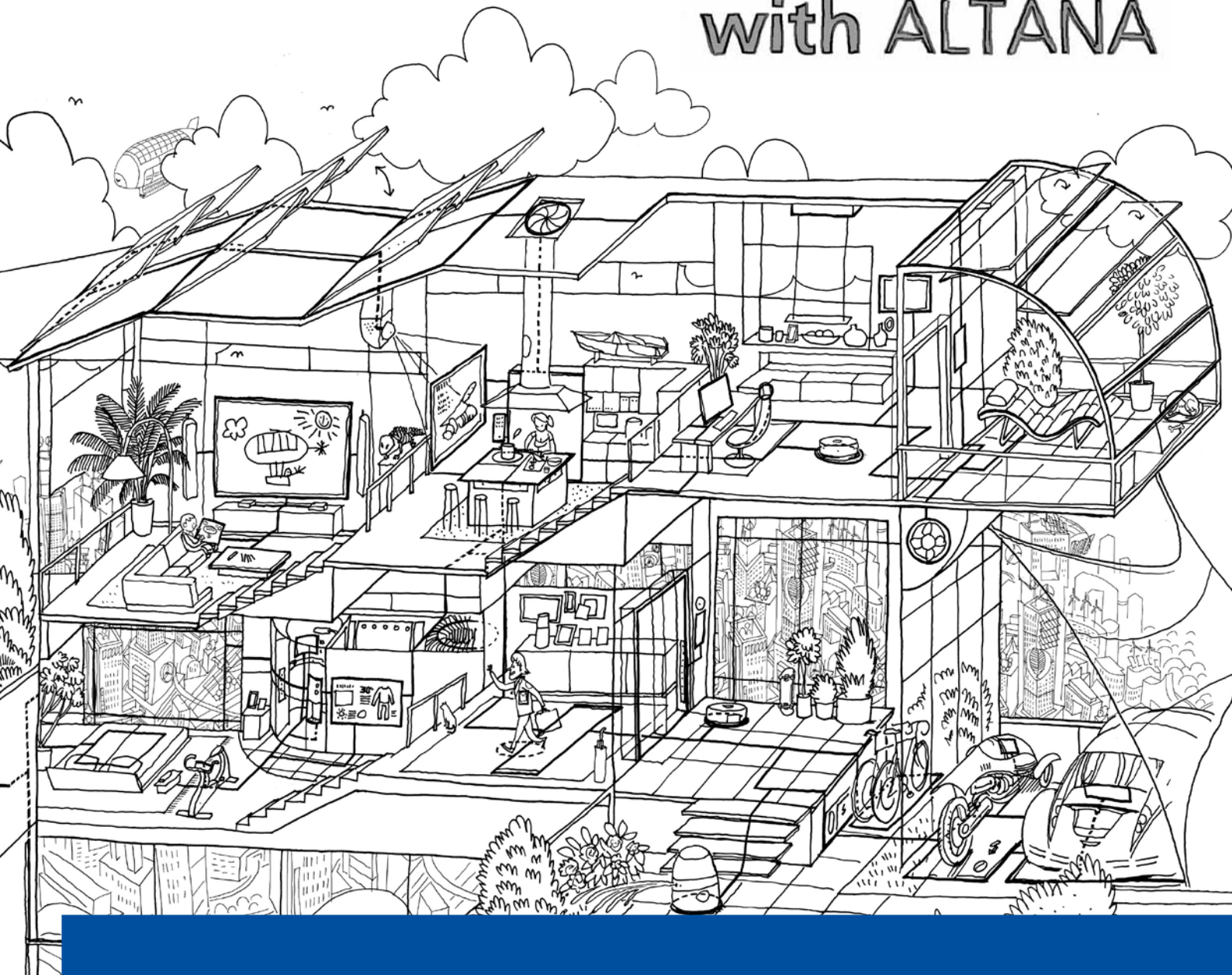
Komplex? In der Tat. Schon ist Josts Gruppe noch einer weiteren Eigenschaft von XIAP auf der Spur. Das Molekül besteht aus zwei Teilen mit unterschiedlicher Funktion. Der eine Abschnitt wirkt als Bremse in der Apoptose-

Kaskade. Ein zweiter Teil (die sogenannte RING-Domäne) spielt obendrein eine weitere Rolle im Immunsystem. Ganz neue Arbeiten von Dr. Monica Yabal, die als Postdoc in der Jost-Gruppe tätig ist, zeigen, dass XIAP auch mit von der Partie ist, sobald wir Fieber im Rahmen einer Immunabwehr entwickeln. Ganz andere Signalkaskaden sind dafür aktiv als bei Apoptose, doch XIAP ist wieder mit dabei. Es ist ein Protein mit vielen Fähigkeiten: „Es scheint so, als schütze XIAP Zellen generell auf mehreren Ebenen“, resümiert Jost.

Für ihn, und jetzt ist er ganz Mediziner und Immunologe, ist das nur eine Herausforderung mehr: „Je besser wir diese Zusammenhänge im Detail ergründen, desto höher sind unsere Chancen, wirklich einmal hochselektive Krebsmedikamente zu entwickeln.“

Bernhard Epping

Connectivity with ALTANA



The world of tomorrow: Jeder Mensch wird künftig grenzenlos mobil, aber dennoch rund um die Uhr vernetzt sein. Unsere Produkte braucht man zur Herstellung von flexiblen Displays und gedruckten elektronischen Schaltungen, die so dünn sind wie Papier. Damit wird Kommunikation allgegenwärtig. Lebensmittel werden per Internet automatisch vom Kühlschrank aus bestellt. Die nötigen Verpackungen dazu, natürlich mit unseren Produkten, sind Ressourcen schonend, halten die Lebensmittel länger frisch und sehen auch noch toll aus. Entdecken Sie mehr: www.altana.com/tomorrow

Links

<http://cvpr.in.tum.de>
www.youtube.com/user/cvprtum

Computervisionen

Am Lehrstuhl für Bildverarbeitung und Mustererkennung der Fakultät für Informatik lernen Maschinen, das menschliche Sehsystem nachzuahmen. Im komplexen Zusammenspiel aus Wahrnehmung und Interpretation gelingt es ihnen immer besser, Bilder zu „verstehen“. Es tun sich verblüffende Möglichkeiten auf. Computer können uns schon heute helfen, in neue Dimensionen vorzustoßen

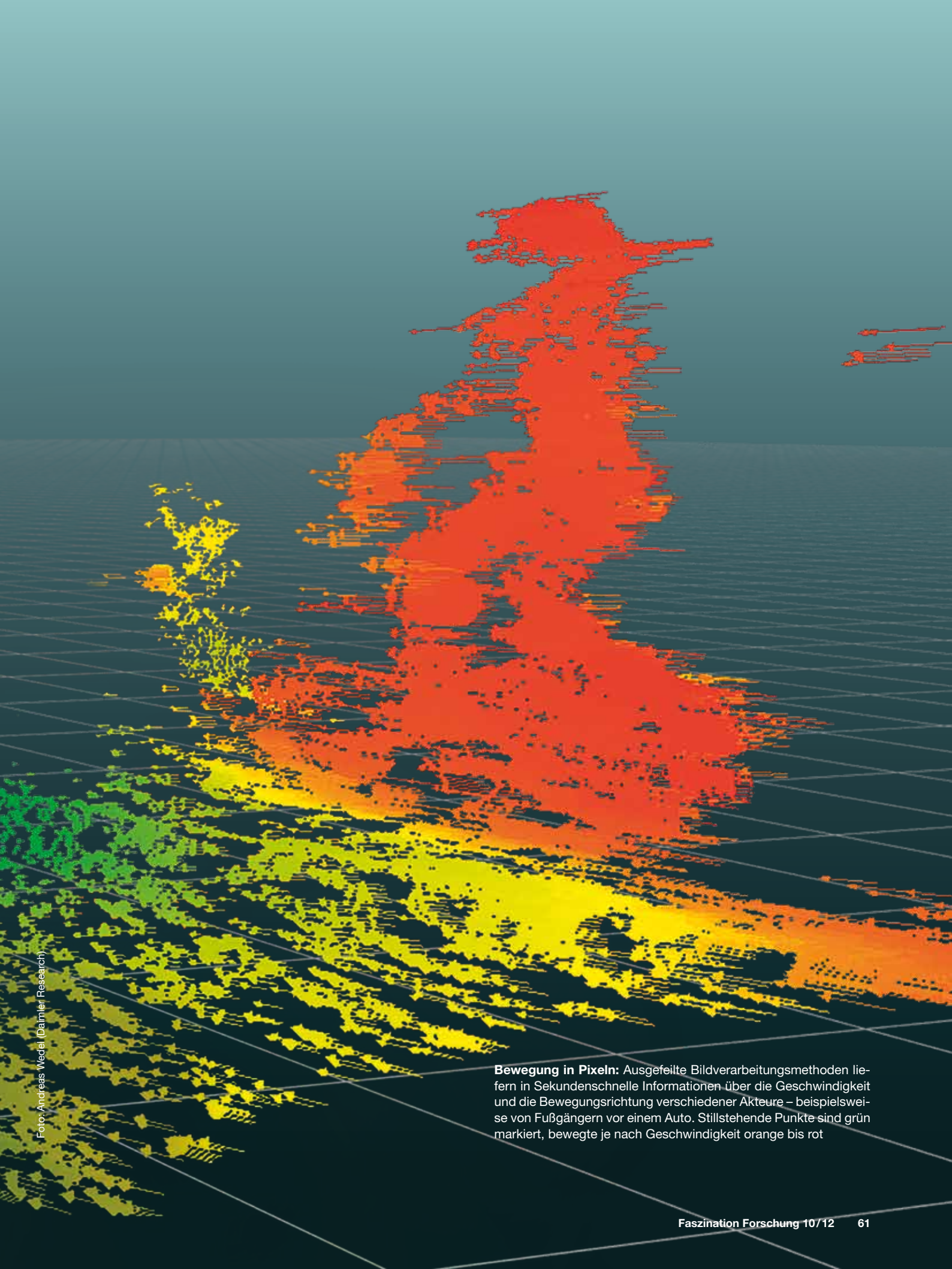


Foto: Andreas Wedel (Damier Research)

Bewegung in Pixeln: Ausgefeilte Bildverarbeitungsmethoden liefern in Sekundenschnelle Informationen über die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung verschiedener Akteure – beispielsweise von Fußgängern vor einem Auto. Stillstehende Punkte sind grün markiert, bewegte je nach Geschwindigkeit orange bis rot

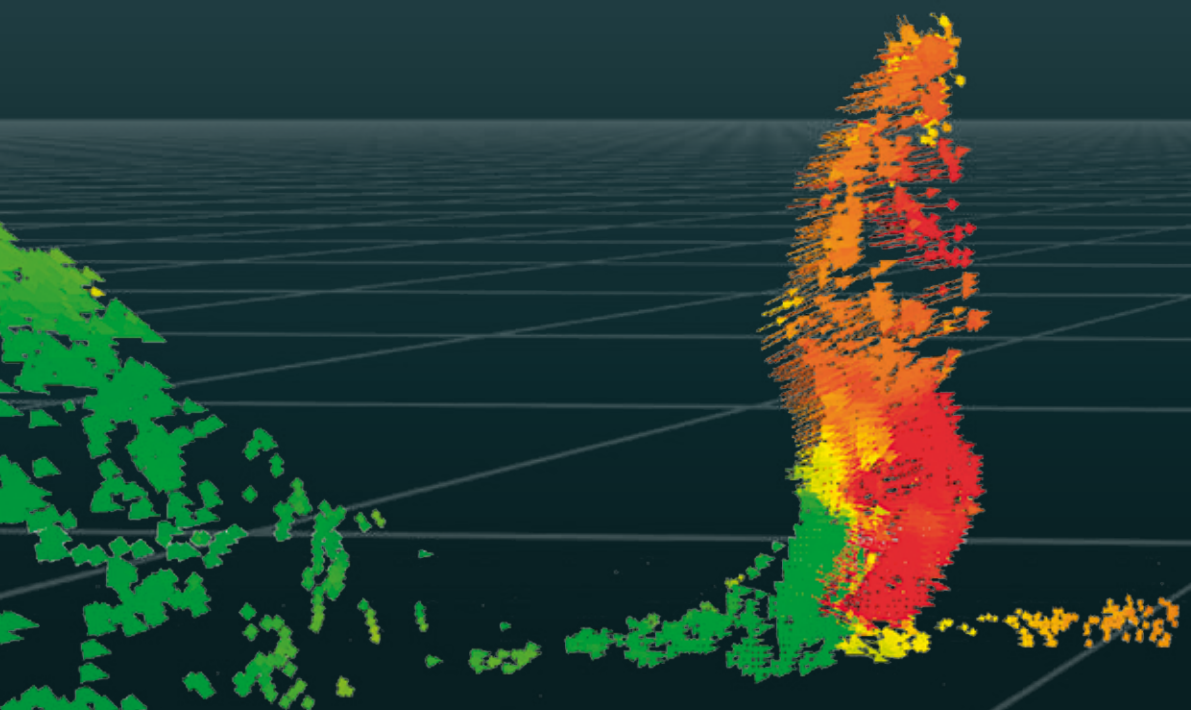
Maschinen, die Sinnesleistungen imitieren oder verbessern können, sind seit geraumer Zeit im Fokus der Wissenschaft. Unsere Computer werden immer schneller und leistungsfähiger. Doch trotz Terabytes an Speicherplatz und Gigahertz an Taktfrequenz können sie sich bis heute kaum mit biologischen Systemen messen. Scheinbar mühelos arbeitet zum Beispiel der menschliche Sehapparat. Aus einer Ansammlung farbiger Lichtquanten auf der Netzhaut stellt er alle Informationen bereit, die man zum Lesen dieses Artikels oder zur Orientierung in einem Raum braucht. Prof. Daniel Cremers, Inhaber des Lehrstuhls für Bildverarbeitung und Mustererkennung an der TUM, weiß, welche Leistung dahinter steckt. Er sagt: „Der Mensch verwendet 50 Prozent

seiner Gehirnkapazität auf die Bildverarbeitung. Daran sieht man, dass es uns nur scheinbar leichtfällt, unsere Umgebung zu verstehen und uns darin zu orientieren. So etwas auch nur in Teilen maschinell nachzumachen, ist aufwendig und kompliziert.“ Mit seiner Forschergruppe hat Cremers diese Herausforderung angenommen.

Gefahren schneller erkennen

Ein wichtiges Anwendungsgebiet des Maschinensehens ist die Entwicklung von Hilfen für den Straßenverkehr. Viele Autofahrer haben es schon erlebt: Wie aus dem Nichts erscheint beim Abbiegen plötzlich ein Radfahrer. Oder ein Kind rennt unvermittelt auf die Fahrbahn. Mit Glück gehen solche Situationen meist ohne Unfall >

Zwei Kameras im oder am Auto erstellen ein dreidimensionales Bild der Umgebung. Jeder Punkt im Umfeld des Autos wird mit einer Bewegungsinformation versehen, bewegte Gegenstände werden rot, stationäre grün markiert. So lässt sich zum Beispiel darstellen, wenn plötzlich ein Kind hinter dem Auto auftaucht





Der Assistent kennt keine Schrecksekunde: Kinder, die vor fahrende Autos laufen, sind eine klassische Gefahrensituation. Der Rechner des Assistenzsystems kann in Echtzeit aus den Bildern der Kameras ermitteln, wie schnell und wohin sich das Kind bewegt. In Zukunft könnte ein solches System eigenständig eine Notbremsung auslösen

aus. Reagiert der Fahrer allerdings nicht schnell genug, kommt es zum Zusammenstoß mit teilweise katastrophalen Folgen. Die Ergebnisse eines Projekts, das Forscher des Lehrstuhls Bildverarbeitung kürzlich zusammen mit Daimler bearbeiteten, werden helfen, die Straßen sicherer zu machen. Das Projekt beschäftigte sich mit der Schätzung von Geometrie und Bewegung der beobachteten Strukturen mit dem Ziel, ein effizientes Frühwarnsystem zu ermöglichen. Die Wissenschaftler der TUM gehören in der Berechnung von Bewegungsprognosen seit Jahren zu den führenden Kräften weltweit. Das Gemeinschaftsprojekt mit dem industriellen Partner war für den Deutschen Zukunftspreis 2011 nominiert.

Um vom Auto aus zu erkennen, dass ein Kind in der nächsten Sekunde auf Kollisionskurs geht, muss ein Rechner an Bord des Pkw in Echtzeit sowohl die Position des Kindes als auch dessen Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung ermitteln. „6D-Vision“, wie Daimler die Technik nennt, verwendet dazu das Prinzip des Stereosehens. Dabei berechnet das System zunächst anhand der Daten zweier Kameras die Position einzelner Bildpunkte im Raum. Diese werden anschließend von Bild zu Bild verfolgt. Da im nächsten Zeitschritt wieder die 3-D-Position ermittelt wird, lässt sich ein Geschwindigkeitsvektor für jedes Pixel ableiten (engl. scene-flow). 3-D-Position und 3-D-Bewegung ergeben zusammen die sechs Dimensionen des Verfahrens. Die vom Computer berechneten Bewegungsfelder werden farblich codiert. Dabei entspricht jede Geschwindigkeit einem bestimmten Farbton. Ändert sich die Bewegung, erkennt der Algorithmus von Daniel Cremers und seinen Mitarbeitern dies sofort und stellt sie in einer anderen Farbe dar. Er kann so abschätzen, wohin sich ein Objekt bewegen wird. Dieses System ermöglicht Prognosen für potenzielle Verkehrshindernisse in Entfernungen von bis zu 50 Metern. Zum Vergleich: Die menschliche Stereowahrnehmung endet bei zehn bis zwölf Metern.

Die neue sechsdimensionale Sicht benötigt nur ca. 0,2 Sekunden, um drohende Kollisionen im gesamten Sichtfeld der Kameras zu erkennen. So kann sie nicht nur Notbremsysteme unterstützen, sondern auch automatische Ausweichmanöver. Cremers betont: „Die Herausforderung an die Bildverarbeitung ist hier, dass alles sehr

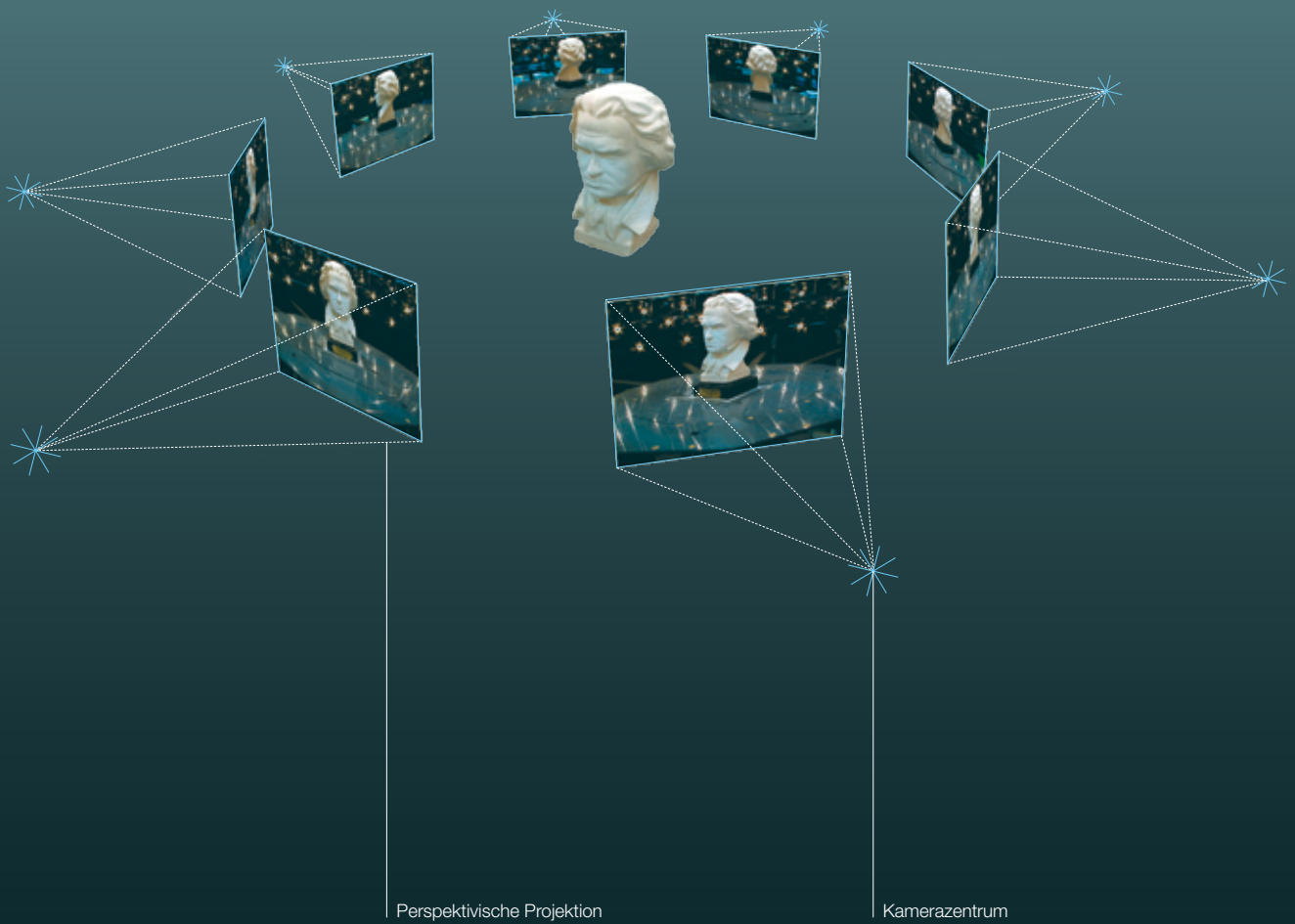


Die 3-D-Rekonstruktion von altrömischen Niobidenstatuen anhand von Fotos soll klären, wie die Figuren im Ensemble ursprünglich zueinander ausgerichtet waren

schnell gehen und auch bei schlechten Sichtverhältnissen und hoher Fahrzeuggeschwindigkeit funktionieren muss. Die Fahrerassistenz erfordert Warnungen in Echtzeit. Es macht keinen Sinn, wenn sie erst eine halbe Stunde später kommen.“

3-D-Rekonstruktionen

Ein weiteres Spezialgebiet des Lehrstuhls Bildverarbeitung ist die Rekonstruktion der dreidimensionalen Welt auf der Grundlage zweidimensionaler Bilder. „Umgekehrt zur grafischen Animation, die die Welt ins Bild setzt, kommen wir von einem Bild auf ein dreidimensionales Modell“, erklärt Cremers. In Kooperation mit dem Akademischen Kunstmuseum der Universität Bonn hat seine Gruppe altrömische Niobidenstatuen anhand von Fotos virtualisiert, um Kunsthistorikern bei der Klärung der Frage zu helfen, wie die Figuren ursprünglich im Ensemble zueinander ausgerichtet waren. Auch hier gehören die Rekonstruktionsverfahren von Cremers und seinen Mitarbeitern nachweislich zu den präzisesten weltweit. Gegenüber Laserscans haben derartige bildbasierte ▶



Visualisierung des 3-D-Rekonstruktionsprozesses für eine Statue: Algorithmen berechnen aus einer Menge von Fotos, wo und in welche Richtung jede Kamera aufgenommen hat und wie die aufgenommene Geometrie aussah



Eines von zwei bei einer 3-D-Rekonstruktion verwendeten Luftbildern der Stadt Graz

Verfahren Vorteile, zum Beispiel dass sie kostengünstig zu realisieren sind und dass sie neben der Geometrie auch die Oberflächenfarbe liefern. Darüber hinaus sind sie auch auf Formen anwendbar, die sich im Zeitverlauf ändern, was die Rekonstruktion ganzer Handlungen in 3-D ermöglicht.

Mit der Rekonstruktion von Geometrie hat auch die Frage zu tun, wie man aus zwei leicht versetzten Luftaufnahmen eine präzise Höhenkarte der beobachteten Welt berechnen kann. Auch darauf haben die jungen Wissenschaftler eine Antwort. Bilder, die mit Algorithmen des Lehrstuhls Bildverarbeitung berechnet wurden, verdeutlichen, dass man auf diesem Wege die Welt bis hin zu den Details der Dachformen und einzelner Laternenpfähle rekonstru- ▶

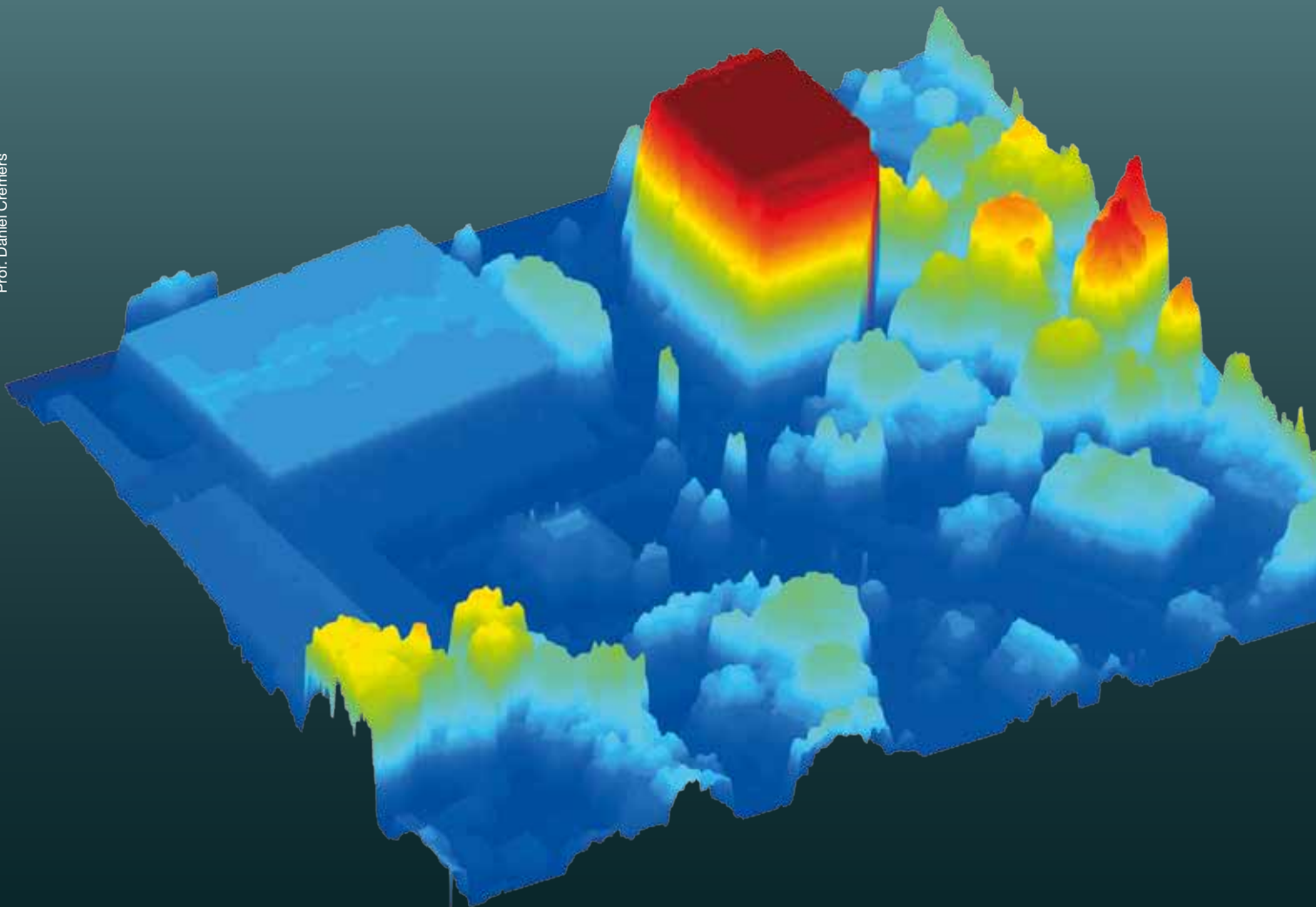
Bild: Dr. Pock, TU Graz

Forscher vieler Fachrichtungen

Daniel Cremers ist seit 2009 Ordinarius für Bildverarbeitung und Mustererkennung an der TUM. Eine Rangliste des Wirtschaftsmagazins „Capital“ zählte ihn im Jahr 2010 zu Deutschlands „Top 40 Forschern unter 40“. In seiner Forschungsgruppe arbeiten derzeit 15 Doktoranden und drei Postdocs. Cremers ist Physiker, seine Mitarbeiter kommen unter anderem aus der Robotik, Mathematik und Informatik. Gemeinsam gehören sie seit Jahren zu den Top-Beiträgern der International Conference on Computer Vision (ICCV), dem renommiertesten Forum ihres Fachgebiets. Den Erfolg der Gruppe erklärt Cremers so: „Unser Rezept besteht darin, dass wir anspruchsvolle mathematische Formalismen entwickeln und auf praxisrelevante Anwendungen zuschneiden.“



Bild: Dr. Thomas Pock (TU Graz) und Prof. Daniel Cremers



Farbcodiertes Höhenprofil rekonstruiert aus Luftbildern (siehe Seite 66). Rote Bereiche sind hoch, blaue Bereiche sind niedrig gelegen

ieren kann. Cremers argumentiert: „Mit derartigen vollautomatischen Verfahren können Projekte wie Google Earth digitale Höhenmodelle der Erde erstellen.“

Die maschinelle Analyse von Bildern macht immer größere Fortschritte und an vielen dieser Entwicklungen ist die TUM beteiligt. Neue Algorithmen erlauben es etwa, die Auflösung unscharfer, beschädigter oder stark gealterter Foto- und Filmaufnahmen zu erhöhen. Wenn sie weiter optimiert werden, könnten die sogenannten Super-Resolution-Verfahren bald in der Filmrestaurierung oder in der Kriminologie, etwa bei der effizienteren Auswertung von Bildmaterial aus Überwachungskameras, breite Anwendung finden. Eine verlockende Aussicht für Filmfans schildert Cremers: „Ich glaube, es dauert nicht mehr allzu lan-

ge, bis wir eine neue Art des 3-D-Fernsehens bekommen. Dann kann der Zuschauer vielleicht in Filmwelten eintauchen und zum Beispiel einmal in „Vom Winde verweht“ wie einst Scarlett O’Hara die Treppe hinunterschreiten.“

Die Zukunft der Bildbearbeitung hat begonnen

Mittlerweile gelingt es bereits, aus einem einzelnen Bild eine dreidimensionale Welt zu formen. Die Wissenschaftler sprechen von Single View Reconstruction. Der Software-Hersteller Microsoft will auf dieser Basis neue Wege der Bildbearbeitung beschreiten und kooperiert bei der Optimierung der Verfahren eng mit den Münchner Pionieren der Bildverarbeitung. Bald soll es möglich sein, am PC aus Bildern einzelne Objekte herauszugreifen, ihre

Das aus einem einzigen Bild einer Teekanne berechnete 3-D-Modell lässt sich vielfach manipulieren. Hier wurden die Reflexionseigenschaften der Oberfläche so geändert, dass das Objekt aussieht, als würde es aus Porzellan oder aus Metall bestehen



Größe zu verändern und sie leicht gedreht in ein anderes Bild einzusetzen. Das am Lehrstuhl Bildverarbeitung entwickelte Verfahren ist denkbar einfach: Der Computer berechnet, wie ein Ballon aussehen würde, der in die Silhouette eines Objekts eingepasst und mit Luft aufgeblasen wird. Der Anwender kann mehr oder weniger Luft in den Ballon pumpen und damit dickere oder dünnere Rekonstruktionen des Objekts erzeugen. „Auch wenn die entstehende Geometrie nicht mit der unbekanntem übereinstimmt“, erklärt Cremers, „so lassen sich dennoch Ansichten des Objekts von neuen Blickwinkeln berechnen, die erstaunlich realistisch aussehen.“

Das von den Forschern der TUM entwickelte Optimierungsverfahren berechnet innerhalb von etwa einer Se-

kunde aus einem einzigen Bild ein plausibles dreidimensionales Modell. Das Objekt, beispielsweise ein Flugzeug, ein Vogel oder eine Teekanne, lässt sich anschließend interaktiv aus völlig neuen Blickwinkeln darstellen. Zudem kann man auf Knopfdruck die Reflexionseigenschaften der Oberfläche derart manipulieren, dass der Eindruck zustande kommt, das Objekt bestehe aus unterschiedlichen Materialien – im Fall der Teekanne etwa Porzellan, Metall oder Aluminium. Mit Sicherheit ein schönes Werkzeug für Designer. Dieses Projekt der Wissenschaftler hat auf der Asian Conference on Computer Vision 2010 einen Preis gewonnen. Es wurde in den USA auf dem diesjährigen Microsoft TechFest am Firmensitz in Redmond, Washington, präsentiert.

Karsten Werth

Beispiel einer Single View Reconstruction: In nur einer Sekunde erstellt ein Rechner aus dem Foto eines auf dem Ast sitzenden Vogels ein manipulierbares 3-D-Modell eines Tieres und generiert daraus weitere räumliche Ansichten



Die Autoren

Dr. Bernhard Epping (Jahrgang 1962) arbeitet freiberuflich als Wissenschaftsjournalist, Buch- und PR-Autor sowie seit Kurzem in der Technologietransferstelle der Universität Tübingen. Zwischen 1984 und 1989 studierte er Biologie in Mainz, Tübingen und São Paulo. 1993 erhielt er seinen Dokortitel für eine Arbeit über Stickstofffixierung bei Leguminosen. Thematische Schwerpunkte sind heute Forschung in Medizin und Biologie sowie Gesundheitspolitik.

Dr. Brigitte Röthlein arbeitet seit 1973 als Wissenschaftsautorin bei verschiedenen Zeitschriften, bei Fernsehen, Rundfunk und für Zeitungen. Sie ist Diplom-Physikerin und promovierte in Kommunikationswissenschaft, Pädagogik und Geschichte der Naturwissenschaften. Von 1993 bis 1996 leitete sie neben ihrer freien publizistischen Tätigkeit das Geschichtsmagazin „Damals“, 2004/2005 das Forschungs- und Technologiema­gazin „Innovate“. Sie veröffentlichte Sachbücher unter anderem über Hirnforschung, Atomphysik und Quantenphysik. 2008 erschien ihr Buch „Der Mond“.

Gitta Rohling, M. A., ist mit der Marke Auftrag Wort als Texterin, Redakteurin und PR-Beraterin selbstständig und unterstützt Unternehmen vorwiegend aus dem Technik- und Wissenschaftsumfeld mit PR-Beratung, Pressearbeit und vielfältigen Textleistungen. Zu ihrem Leistungsportfolio gehören Kunden- und Mitarbeiterzeitungen, Broschüren und Webauftritte. Gitta Rohling studierte in Tübingen und Braunschweig Geschichte, Politologie und Germanistik. Nach ihrem Abschluss sammelte sie in verschiedenen PR-Agenturen Erfahrung und machte sich Anfang 2003 selbstständig.

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 Fernseh­nachrichten Agentur in Düsseldorf und beim „Schwäbischen Tagblatt“ in Tübingen. Als Textchef war er für die Stuttgarter Agentur WortFreunde Kommunikation tätig.

Undine Ziller hat Sozialwissenschaften in Stuttgart und Bordeaux studiert. Mit ihrem deutsch-französi­schen Doppeldiplom spezialisierte sie sich auf Risiko- und Innovationsforschung, unter anderem im Bereich Energietechnologien. Anschließend übernahm sie fünf Jahre lang die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit für die Agentur für Erneuerbare Energien, die von Verbänden und Bundesministerien gegründet wurde. Nebenberuflich war sie als Autorin für Fachmagazine und Unternehmenspublikationen tätig. Seit 2011 arbeitet sie als Pressereferentin der TU München.



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

Chefredaktion:

Dr. Christine RÜth, Tina Heun-Rattei, Technische Universität München, Corporate Communications Center

Lektorat: Angela Obermaier

Gestaltung: ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Autoren dieser Ausgabe: Dr. Bernhard Epping, Dr. Brigitte Röthlein, Gitta Rohling, Dr. Karsten Werth, Udine Ziller

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: 43.000

ISSN: 1865-3022

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Dr. Christine RÜth, Tina Heun-Rattei

Verantwortlich für die Anzeigen:

Tina Heun-Rattei, Dr. Christine RÜth

Titelbild: Heddergott/TUM

© 2012 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.



Dr. Klaus Engel
Vorsitzender des Vorstandes
Evonik Industries AG



**Dr.-Ing. E. h.
Martin Herrenknecht**
Vorsitzender des Vorstandes
Herrenknecht AG



**Dr.-Ing. E. h.
Hans Georg Huber**
TUM-Alumnus 1967
Vorsitzender des Aufsichtsrates
Huber SE



Dr. Hariolf Kottmann
CEO
CLARIANT



Peter Löscher
Vorsitzender des Vorstandes
Siemens AG



**Dr.-Ing. Dr. E. h.
Norbert Reithofer**
TUM-Alumnus 1987
Vorsitzender des Vorstandes
BMW AG



**Prof. Dr.-Ing.
Wolfgang Reitzle**
TUM-Alumnus 1974
Vorsitzender des Vorstandes
Linde AG



**Dr. Matthias L.
Wolfgruber**
TUM-Alumnus 1983
Vorsitzender des Vorstandes
ALTANA AG



Wir gratulieren.

Technische Universität München

Exzellenzinitiative

Die **TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN** (TUM) hat sich in der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder glänzend bewährt. Erneut war Deutschlands unternehmerische Universität mit einem überzeugenden Zukunftskonzept, ihrer interdisziplinären Graduate School und der Spitzenforschung erfolgreich.

Von König Ludwig II. im Jahre 1868 als „Kgl.-bayerische Polytechnische Schule zu München“ gegründet, sollte die heutige TUM der „industriellen Welt den zündenden Funken der Wissenschaft bringen“. Heute gehört sie zu Europas führenden Universitäten. Aus ihrer Erfolgsbilanz ragen zahlreiche naturwissenschaftlich-technische Durchbrüche und

medizinische Pionierleistungen heraus - von der Erfindung des Kühlschranks und der Luftverflüssigung (1895) bis zur ersten Doppel-Arm-Transplantation (2008). Zahlreiche Erfindingenieure und 13 Nobelpreisträger haben an der TUM studiert, gelehrt und geforscht. Ungezählte Alumni haben hier eine wissenschaftliche Ausbildung erhalten, die sie für das Berufsleben wetterfest gemacht hat.

Als Alumni und Partner sind wir stolz auf unsere TUM. Wir unterstützen sie, damit sie im harten internationalen Wettbewerb ihre Führungsposition festigen und ausbauen kann. Die TUM geht mit dem Bekenntnis zu **Wissenschaftlichkeit • Internationalität • Unternehmertum** den richtigen Weg.

Sie liegt richtig, wenn sie ihre Technikführerschaft jetzt mit dem Ausbau der Human- und Sozialwissenschaften in eine gesellschaftliche Dimension bringt. Sie handelt unternehmerisch, wenn sie die Vielfalt der Talente in das Zentrum ihrer Entwicklungspolitik stellt. Sie beweist Mut und Selbstvertrauen, wenn sie das herkömmliche Berufungssystem flächendeckend auf ein Tenure-Track-Karrieresystem umstellt und damit für Spitzenkräfte aus aller Welt nachhaltig attraktiv wird.

Wir wissen, dass wir uns auf die TUM als exzellente Ausbildungsstätte für die Gestalter von morgen verlassen können. Die TUM kann sich aber auch auf uns verlassen – ihre Alumni und Partner.

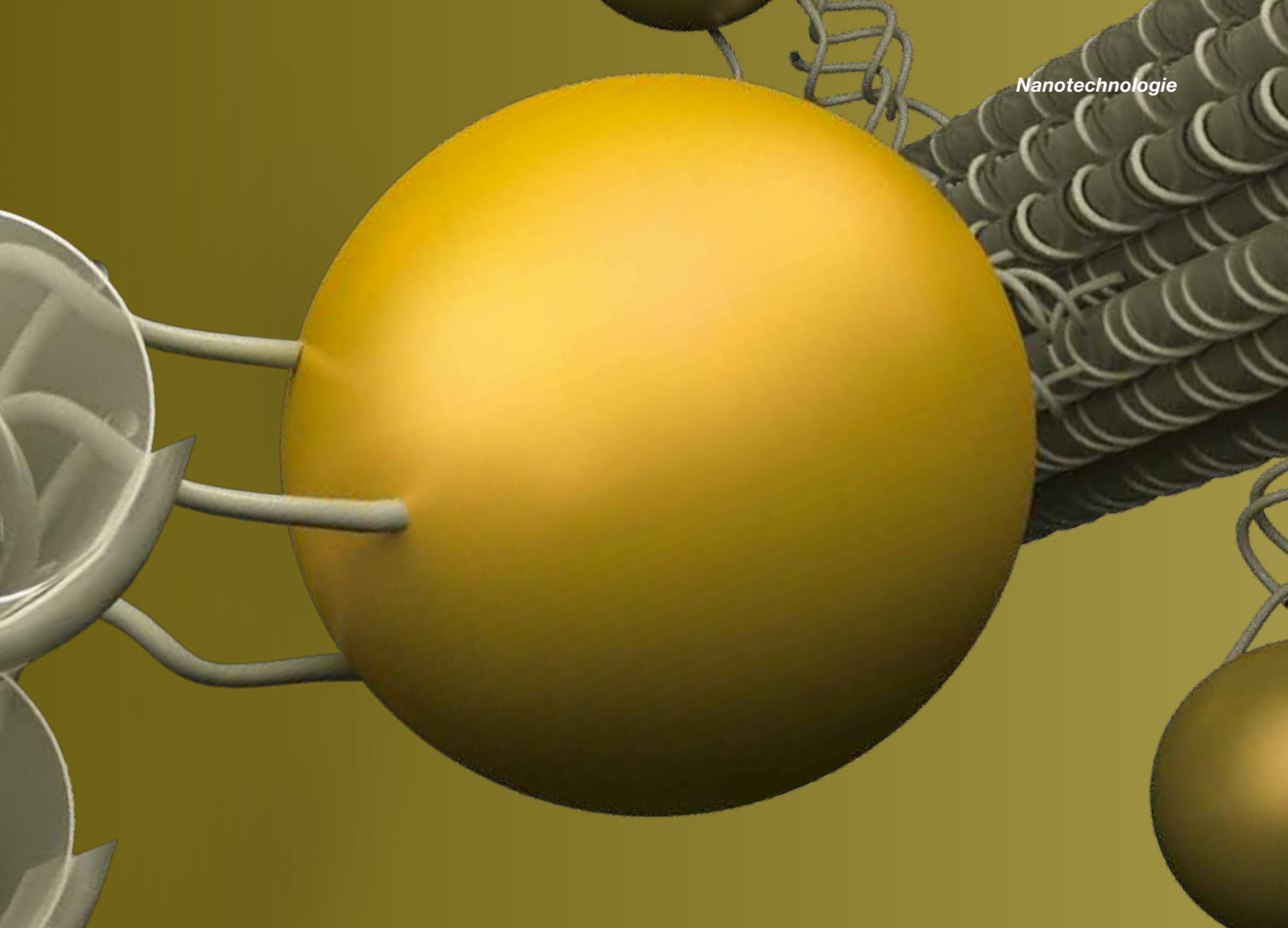


Nanoteilchen als optische Werkzeuge

Im menschlichen Körper trägt ein Doppelstrang aus Desoxyribonukleinsäure-Bausteinen, die sogenannte DNA, die Erbinformation. Aus künstlichen DNA-Molekülen hat nun ein von Wissenschaftlern des Exzellenzclusters Nanosystems Initiative Munich geleitetes internationales Team nanostrukturierte Materialien hergestellt, mit denen die Forscher maßgeschneidert sichtbares Licht modifizieren können

Link

www.e14.ph.tum.de



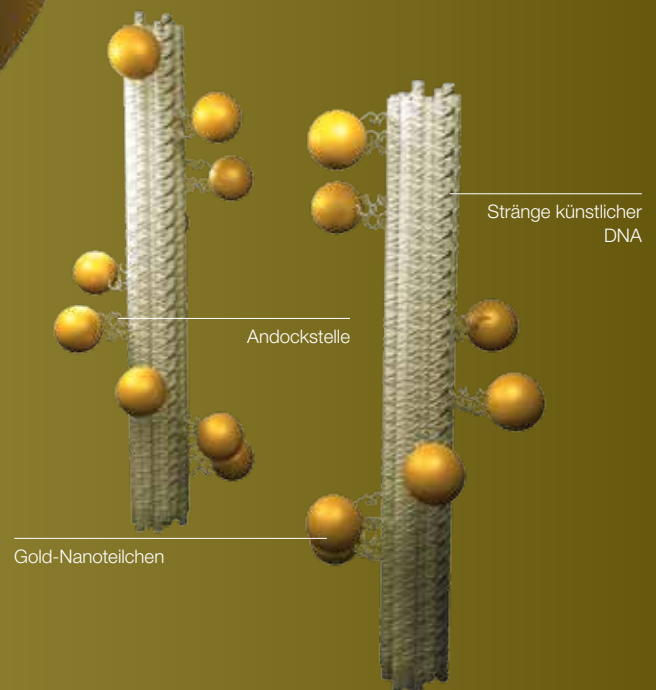
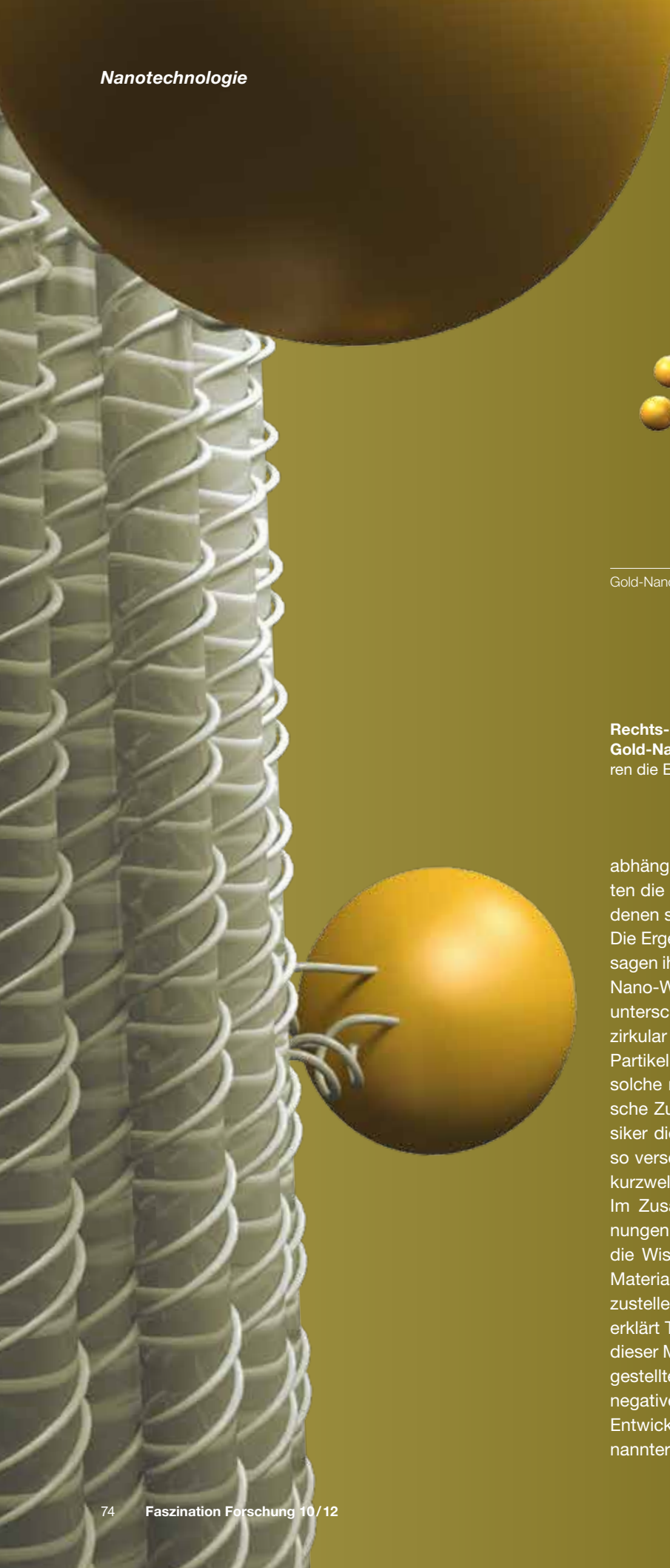
Als vor einigen Jahren die Technik des DNA-Origami erfunden wurde, war die Begeisterung groß. Die Wissenschaftler konnten einzelne Stränge künstlicher DNA kontrolliert falten und so gezielt Nanoteilchen mit definierter Form und Größe bauen. Es entstanden verschiedenste millionstel Millimeter kleine Formen – Boxen, Landkarten oder auch Smileys. In Zukunft soll die Technik den Bau winzigster Werkzeuge und miniaturisierter Maschinen ermöglichen. Bisher jedoch schienen echte Anwendungsmöglichkeiten, wie etwa Nanopinzetten, in weiter Ferne zu liegen. Einem internationalen Team unter der Führung von Prof. Tim Liedl, Ludwig-Maximilians-Universität München, und Prof. Friedrich Simmel, Technische Universität München, gelang es nun, aus DNA-Bausteinen optisch aktive Nanoteilchen zu schaffen, die für die gezielte Veränderung von Licht genutzt werden könnten.

Die Kopplung von Licht und Nanostrukturen könnte helfen, optische Sensoren für Medizin und Umwelttechnik um ein Vielfaches kleiner und empfindlicher zu machen. Im Vergleich zu den nur wenige Nanometer großen Nanostrukturen ist eine Lichtwelle mit ihrer Wellenlänge zwischen 400 und 800 Nanometern jedoch geradezu riesig. Wirken kleinste Strukturen aber in einer ganz bestimmten Art und Weise zusammen, können theoretisch auch so kleine Objekte sehr gut mit Licht in Wechselwirkung treten. Mit her-

kömmlichen Methoden war es aber bisher nicht möglich, solche dreidimensionalen Strukturen mit Nanometer-Präzision in genügender Menge und Reinheit herzustellen.

„Mit dem DNA-Origami haben wir nun eine Methode gefunden, die alle diese Anforderungen erfüllt. Sie erlaubt es uns, die dreidimensionale Form des entstehenden Objekts auf den Nanometer genau vorherzubestimmen“, sagt Friedrich Simmel, Inhaber des Lehrstuhls für Biomolekulare Systeme und Bionanotechnologie an der TUM. „Nur programmiert durch die Abfolge der Grundbausteine, falten sich die winzigen NanoBausteine von allein zu den gewünschten Strukturen.“

Dem Team um Friedrich Simmel gelang es, Nano-Wendeltreppen mit einer Stockwerkshöhe von 57 Nanometern und einem Durchmesser von 34 Nanometern herzustellen. Daran sind in regelmäßigen Abständen Goldpartikel mit einem Durchmesser von zehn Nanometern angehängt. An der Oberfläche der Goldpartikel reagieren die Elektronen mit dem elektromagnetischen Feld des Lichts. Der geringe Abstand der Partikel sorgt dabei dafür, dass die Goldpartikel eines DNA-Strangs zusammenwirken und die Wechselwirkungen um ein Vielfaches verstärken. Prof. Alexander O. Govorov, theoretischer Physiker an der Ohio University in Athens, USA, hatte vorausgesagt, dass der Effekt von Abstand, Größe und Beschaffenheit der Metallpartikel ▷



Grafik: edlundsepp nach TUM

Rechts- und linksgewundene Nano-Wendeltreppe mit je neun Gold-Nanopartikeln. An der Oberfläche der Goldpartikel reagieren die Elektronen mit dem elektromagnetischen Feld des Lichts

abhängen sollte. Mithilfe der DNA-Origami-Methode bauten die Münchener Physiker daher Nanostrukturen auf, bei denen sie diese Parameter variierten.

Die Ergebnisse dieser Experimente bestätigten die Voraussagen ihrer Kollegen voll und ganz: Wässrige Lösungen von Nano-Wendeltreppen mit Rechts- und mit Linksgewinde unterscheiden sich sichtbar in ihrer Wechselwirkung mit zirkular polarisiertem Licht. Wendeltreppen mit größeren Partikeln zeigen eine deutlich stärkere optische Antwort als solche mit kleineren. Großen Einfluss hat auch die chemische Zusammensetzung der Partikel: Überzogen die Physiker die Goldpartikel mit einer zusätzlichen Silberschicht, so verschob sich die optische Resonanz vom roten in den kurzwelligeren blauen Bereich.

Im Zusammenspiel zwischen den theoretischen Berechnungen und den Möglichkeiten des DNA-Origami sind die Wissenschaftler nunmehr in der Lage, nano-optische Materialien mit genau spezifizierbaren Eigenschaften herzustellen. Wohin ihre Forschung in Zukunft führen könnte, erklärt Tim Liedl: „Wir werden jetzt untersuchen, ob wir mit dieser Methode auch den Brechungsindex der von uns hergestellten Materialien beeinflussen können. Materialien mit negativem Brechungsindex könnten zum Beispiel für die Entwicklung neuartiger optischer Linsensysteme, sogenannter Superlinsen, genutzt werden.“ □

Wissen freisetzen. Mit Energie.



Talent verdient das passende Umfeld.

Vielfältige Herausforderungen. Partnerschaftliche Unternehmenskultur. Leistungsstarke Teams. Das ist die EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Als Deutschlands drittgrößtes Energieversorgungsunternehmen stehen wir mit rund 20.000 Mitarbeitern für Strom, Gas sowie innovative Energie- und Umweltdienstleistungen. Als engagiertes Unternehmen bieten wir Studenten berufliche Perspektiven von außergewöhnlicher Bandbreite.

Ob **Praktikum**, **Werkstudententätigkeit** oder **Abschlussarbeit** – bringen auch Sie Ihr Wissen ein, und arbeiten Sie gemeinsam mit uns an der Energie der Zukunft!

Überzeugen Sie sich von der Vielfalt der EnBW unter
www.enbw.com/karriere



— EnBW

Energie
braucht Impulse

Das Fahrzeug der Zukunft: **Vorausschauend, mitdenkend und verständnisvoll**

Am Institute for Advanced Study (IAS) der Technischen Universität München erforschen Prof. Gernot Spiegelberg und sein Team innovative Technologien für die Elektromobilität. Ihr wissenschaftliches Spielzeug ist der Innotruck

Links
www.tum-ias.de/institute-for-advanced-study.html www.innotruck.de

Wie werden wir uns künftig fortbewegen? Was müssen Elektrofahrzeuge leisten? Antworten darauf gibt der Innotruck





Futuristisches Design für die Mobilität der Zukunft: Mit dem Innotruck erforschen Wissenschaftler der Technischen Universität München neue Technologien für die Elektromobilität

Foto: Mercedes/TUM

Beindruckende 25 Meter ist es lang – das Testfahrzeug, das Spiegelberg und seine Mitarbeiter entwickelt haben. Mit seiner spitz zulaufenden Nase ist der Innotruck aerodynamisch optimiert, sein futuristisches Design stammt von dem weltweit erfolgreichen Designer Luigi Colani. Das Hybridfahrzeug wird durch einen Elektromotor angetrieben, die Energie dafür entnimmt es einer Batterie. Mit einer einzigen Batterieladung kann der Innotruck bis zu 100 Kilometer rein elektrisch fahren. Damit er weitere Strecken bewältigen kann, haben ihm die Forscher zusätzlich einen Biodieselmotor eingebaut. Der Hybridantrieb ist seriell angeordnet. Das bedeutet, dass der Verbrennungsmotor keine mechanische Verbindung zur Antriebsachse hat, sondern lediglich einen elektrischen Generator antreibt, der die Elektromaschinen mit Strom versorgt oder die Trakti-

onsakkus lädt. Zum Vergleich: Beim parallelen Hybridantrieb dagegen wirkt der Verbrennungsmotor gemeinsam mit dem Elektromotor auf die Antriebsachse.

Dank des seriellen Hybridantriebs hängt die Drehzahl des Verbrennungsmotors nicht von der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit ab, sondern lässt sich frei wählen und somit optimal für den Verbrauch einstellen. Energie, die dabei nicht direkt für den Antrieb benötigt wird, lässt sich in den Akkus zur späteren Verwendung speichern.

All das aber ist gar nicht die Innovation an dem Riesenzug. Die liegt vielmehr darin, dass die IAS-Ingenieure anhand des Innotrucks die komplexen Interaktionen zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und dem Verhalten der Nutzer erforschen. „Der Innotruck dient uns sozusagen als wissenschaftliches Spielzeug, mit dem wir ganzheitliche



Lösungen finden, wie die Systeme im Fahrzeug besser miteinander kommunizieren – und die wir im Truck selbst live präsentieren können“, erklärt Gernot Spiegelberg. Bei der zentralen Siemens-Forschung ist der Ingenieur für die Konzeptentwicklung im Bereich Elektromobilität zuständig, seit 2011 ist er zudem am IAS tätig. Im Rahmen der Rudolf Diesel Senior Fellowship hat er hier die Möglichkeit, neuartige Mobilitätskonzepte zu erforschen. Die Vorteile: Der Spitzenforscher aus der Industrie kennt die Bedürfnisse der Wirtschaft und die daraus resultierenden Anforderungen an die Wissenschaft; gleichzeitig kann er neue Ideen mit Blick auf eine potenzielle Anwendung prüfen. Ausgewählte Doktoranden von der International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) der TU München unterstützen ihn bei drei interdisziplinären Forschungsthemen.

Forschungsthema 1: Vorausschauendes Energiemanagement

Wie sich die Wandlung und Verteilung der Energie innerhalb des Innotrucks steuern lässt – damit beschäftigt sich Dipl.-Ing. Claudia Buitkamp. Eine Besonderheit von Elektro- sowie Plug-in-Hybridfahrzeugen wie eben dem Innotruck ist schließlich, dass sie sich in sogenannte Smart Grids – also intelligente Stromnetze – einbinden lassen. Sie speichern nicht nur Energie für den Eigenverbrauch, sondern nehmen bei Leistungsspitzen im Netz Energie auf und geben sie später bei Bedarf wieder ab. Elektrofahrzeuge sind also sowohl Verbraucher wie auch Stromspeicher. Damit lassen sich regenerative Energiequellen überhaupt erst optimal nutzen, denn Sonne und Wind liefern nur selten genau die zum Verbrauchszeitpunkt benötigte Menge ▶

- 1 Batterien
- 2 Fahrerarbeitsplatz
- 3 VIP-Lounge (mit Küchenzeile)
- 4 Nasszelle
- 5 Ladestation
- 6 Wasser- und Abwassertanks sowie Batterien
- 7 Präsentationsbereich
- 8 Ladestation
- 9 Werkstatt

Der Innotruck ist als „Miniatur-Smart-Grid“ ausgelegt. Damit untersuchen die Forscher das Zusammenspiel zwischen einem intelligenten Stromnetz und den Elektroautos



Strom. Um also das komplexe Zusammenspiel zwischen Energieversorgungsnetz und Elektrofahrzeugen zu steuern, haben die TUM Forscher den Innotruck als sogenanntes Minigrad ausgelegt. Das bedeutet, dass sich, wenn das Fahrzeug stillsteht, mehrere Energielieferanten und -konsumenten gegenüberstehen. Konkret sieht das so aus, dass sich bis zu acht Elektroautos an den Truck anschließen lassen, der sie einerseits auflädt, andererseits aber auch Energie über sie beziehen kann. Zusätzlich kann der Truck an eine externe Stromversorgung angeschlossen und aufgeladen werden beziehungsweise elektrische Energie in das Stromnetz zurückspeisen. In Zukunft sollen zudem Solarzellen und eine ausklappbare Windanlage auf dem Dach des Fahrzeugs Energie bereitstellen, die im Gesamtsystem verteilt wird. „Unser Ziel ist es, zentral die Energieflüsse zu

steuern und eine kostenoptimale Betriebsstrategie zu entwickeln“, so Claudia Buitkamp. Um das zu erreichen, kann der Innotruck zukünftige Fahrsituationen vorhersehen und darauf reagieren. Deswegen arbeiten die Elektronik und ein Navigationssystem Hand in Hand. Steht zum Beispiel ein langgezogenes Gefälle an, sorgt die Elektronik dafür, dass der Innotruck direkt davor möglichst viel elektrisch fährt, damit der Akku fast leer ist. Das Bremsen auf dem Gefälle gewinnt elektrische Energie zurück und lädt den Akku wieder auf. Die Elektronik „achtet“ auch darauf, dass der Akku in einer Stadt voll genug ist, um den Innotruck rein elektrisch fahren zu lassen und die Luft nicht zusätzlich durch Abgase zu belasten. Die Prognose des zukünftigen Leistungsbedarfs macht so ein vorausschauendes, umfassendes Energiemanagement möglich.



Bild: Kiefermedia

**Forschungsthema 2:
Elektronisch denkendes Zentralnervensystem**

Eine zentralisierte Systemarchitektur zu schaffen, die die Informationsflüsse optimiert und damit sowohl die Sicherheit als auch den Komfort erhöht, ist das Ziel der Forschungen von Dipl.-Ing. Hauke Stähle. „Immer neue Steuergeräte machen das Informationsmanagement innerhalb eines Fahrzeugs äußerst komplex. Statt viele einzelne Geräte zu vernetzen, wollen wir mit einer ganz neuen Architektur einen Zentralrechner im Auto etablieren – quasi das Gehirn eines intelligenten Fahrzeugs“, so der Doktorand. Durch die damit einhergehende Komplexitätsreduktion lassen sich einzelne Funktionen wie die Einparkautomatisierung oder Fahrspurassistenten auch nachträglich einfach in ein Fahrzeug integrieren, da sich das System als Ganzes dar-

auf einstellen kann. „Vergleichen lässt sich das mit einem Personalcomputer: Drucker, Maus, Bildschirm, Kamera etc. lassen sich problemlos anschließen. Eventuell muss noch ein Stück Software installiert werden, um auf den vollen Funktionsumfang zugreifen zu können. Ähnliches wollen wir mit dem Zentralrechner erreichen, an den – je nach Kundenwunsch und Geldbeutel – verschiedene Geräte angeschlossen und somit Funktionen angeboten werden können“, so Hauke Stähle. Ein weiteres Beispiel ist Drive-by-Wire – also die Steuerung komplett ohne mechanische Verbindung zwischen Fahrer und Rädern. Statt über eine Lenksäule, die die Drehbewegungen vom Lenkrad auf die Achse überträgt, werden diese Daten zukünftig über einen Sensor elektronisch übermittelt und durch Stellmotoren an den Rädern ausgeführt. Der Vorteil liegt insbesondere ▶

Nationaler Entwicklungsplan zur Elektromobilität der Bundesregierung Deutschland

2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren – das ist das Ziel der Bundesregierung. Nach den Zahlen des Kraftfahrt-Bundesamts waren in Deutschland 2011 gerade mal 40.000 Elektroautos und Hybridautos unterwegs – 25 Mal so viele sollen es also in weniger als einer Dekade sein.

Um das zu erreichen, hat das Bundeskabinett im August 2009 einen Entwicklungsplan zur Elektromobilität verabschiedet. Er sieht vor, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und -einführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen sowie die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu behaupten und zu stärken. Eine Vielzahl an politischen, regulatorischen, technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen muss dafür geschaffen werden. Die Bundesregierung stellt für das Vorhaben 500 Millionen Euro zur Verfügung.

Die Technologien für elektrische Antriebe, Energiespeicher und Netzinfrastruktur sind in ihren Grundlagen entwickelt, aber an zahlreichen Stellen besteht Forschungs-, Optimierungs- und Vernetzungsbedarf. Vor allem in der Schlüsseltechnologie der Batteriespeicher, aber auch in den Bereichen Fahrzeugtechnik, System- und Netzintegration sowie Rohstoffverfügbarkeit muss Entwicklungsarbeit geleistet werden. Für eine breite Markteinführung gilt es insbesondere, die Kostenstrukturen sowie die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge zu verbessern.

Der Entwicklungsplan sieht diverse Maßnahmen vor, die die Akteure aus Politik, Forschung, Industrie und Gesellschaft vernetzen. Unter anderem wurden acht Modellregionen gebildet, in denen – mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten – Hersteller, Nutzer, Dienstleister und Infrastrukturbetreiber Mobilitätskonzepte gemeinsam entwickeln und integrieren. So untersuchen sie das Mobilitätsverhalten der Menschen unter Alltagsbedingungen, weisen die technische Alltagstauglichkeit von elektrischen Autos, Nutzfahrzeugen, öffentlichen Fahrzeugen und Zweirädern nach und positionieren die unterschiedlichen Verkehrsträger in einem gemeinsamen intelligenten Konzept. In der Modellregion München beispielsweise erforschten die Projektpartner Audi, E.ON, Stadtwerke München (SWM) und Technische Universität München (TUM) die Nutzerpräferenzen von Privatpersonen und Flottenbetreibern und erprobten eine Ladeinfrastruktur von öffentlichen und privaten Ladesäulen, betrieben mit Strom aus regenerativen Quellen. Zudem beschäftigen sie sich mit der Datenübertragung zwischen Fahrer, Auto und Stromtankstelle bis hin zum Stromnetz. Sie testen dabei den Einsatz von Smartphones als zentrale Schnittstelle für den Fahrer.

Die Maßnahmen gliedern sich in drei Phasen: Die erste Phase der Marktvorbereitung war 2011 abgeschlossen, bis 2016 soll der Entwicklungsplan nun den Markthochlauf und ab 2017 den Volumenmarkt fördern. Dann soll Deutschland der Leitmarkt für Elektromobilität sein.

darin, dass sich so die Fahrzeugbewegungen durch Elektronik relativ einfach manipulieren lassen. Weil außerdem Elektroautos in Zukunft auch ihren Weg selbstständig erkennen sollen, werden sie mit der Technik automatisch Hindernissen ausweichen können. Kurz: Das Fahrzeug wird immer intelligenter und der Fahrer immer stärker entlastet. Die Drive-by-Wire-Technologie gehört in der Luft- und Schifffahrtindustrie bereits zum Alltag, in der Fahrzeugindustrie ist sie bislang allerdings noch Zukunftsmusik. Denn aktuell sieht der Gesetzgeber in Deutschland und auf EU-Ebene solche Systeme auf den Straßen nicht vor. Deshalb besteht im Auto nach wie vor eine mechanische Verbindung für sicherheitskritische Bereiche wie Lenken oder Bremsen. Darüber hinaus beschäftigt sich Hauke Stähle mit der digitalen Datenverarbeitung. „Wir sehen für den Innotruck eine

Vielzahl neuer Fahrerassistenz- und Komfortsysteme vor und evaluieren sie. Die Systeme greifen gebündelt auf Sensorinformationen zu und fusionieren diese Daten. Damit wollen wir erreichen, dass das Auto sein komplettes Umfeld ‚einschätzen‘ und darauf reagieren kann. Durch die neuartige Architektur wird letztendlich der Weg für unfallvermeidendes und sogar autonomes Fahren geebnet“, so Hauke Stähle.

Forschungsthema 3:

Das Auto als optimaler Mobilitätspartner

Futuristisch wird es im Forschungsfeld von Ljubo Mercep M. Sc. Die Idee: Der Fahrer soll das Auto nicht über Schalter steuern, sondern das Auto kann sich an den Fahrer anpassen. Der Fahrer bedient also nicht mehr einzelne



Prof. Gernot Spiegelberg sieht besonders bei Zweitautos ein hohes Potenzial für Elektromobilität. Von den etwa 13 Millionen Zweitautos in Deutschland fahren 80 Prozent nur auf Kurzstrecken und eignen sich deshalb gut für Elektroantriebe

Komponenten wie Gas, Bremse und Lenkrad. Stattdessen stellt sich das Auto als Gesamtsystem auf seine Wünsche ein. „Was muss das Auto wissen beziehungsweise können, damit es versteht, was ich von ihm will, ohne dass ich mich dafür explizit anstrengen muss?“ So beschreibt Ljubo Mercep die Frage, die im Mittelpunkt seines Forschungsinteresses steht.

Bereits realisiert ist, dass sich der Innotruck wie ein Flugzeug mit Sidesticks statt mit einem Lenkrad steuern lässt. Sidesticks sind joystick-ähnliche Steuerknüppel, die die Bewegungen des Fahrers in digitale Signale umwandeln und so das Fahrzeug lenken. Die Sidesticks sind in den Fahrersitz integriert, sodass die Arme sich immer in einer natürlichen Position befinden, die für den Fahrer auch auf langen Strecken angenehm ist. Zudem ist das Anzeigesystem auf

die Bedürfnisse des Fahrers zugeschnitten. So gibt es statt diverser Leuchtanzeigen einen zentralen Touchscreen, der dem Fahrer jeweils nur die Informationen anzeigt, die er gerade braucht. Der Vorteil liegt darin, dass der Fahrer nicht durch einen Überfluss an Daten abgelenkt wird. Anstelle eines Rückspiegels zeigen zwei kleine Bildschirme in dem zentralen Steuerelement zudem die Bilder von Außenkameras an, sodass der Fahrer stets einen guten Überblick über die unmittelbare Umgebung des Trucks besitzt. „Unser Ziel ist es, dass das Fahrzeug den Fahrer versteht und damit als optimaler Mobilitätspartner agiert“, erklärt Ljubo Mercep. Um das zu untersuchen, arbeitet er auch an der sogenannten Gehirn-Computer-Schnittstelle. Sie ermöglicht eine Verbindung zwischen dem Gehirn und einem Computer, und zwar ohne dass das periphere Nervensystem aktiviert ▶

Neues Mobilitätszeitalter

Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879 gab es eine große Attraktion: eine elektrisch angetriebene Lokomotive (Bild unten links), die drei Wagen hinter sich herzog, auf denen jeweils sechs Personen Platz hatten. So beladen konnte der kleine Zug zwar lediglich im Schrittempo fahren, sorgte aber dennoch für großes Aufsehen, da hier erstmals ein elektrisch angetriebener Motor zum Einsatz kam. Entwickelt hatte ihn Werner von Siemens, nachdem er 1866 das dynamoelektrische Prinzip entdeckt hatte. Es besagt, dass der Elektromagnet im Generator sich seinen Strom selbst erzeugen kann. Werner von Siemens entwickelte nicht nur die erste elektrische Eisenbahn, sondern auch eine Straßenbahn und einen Kutschenwagen mit Oberleitung. 1905 rollten dann die ersten Elektroautos auf Berlins Straßen – unter ihnen die von Siemens gebaute „Elektrische Viktoria“, die bis zu 30 km/h schnell fuhr (Bild unten rechts).

Als der mobile Mensch dann aber feststellte, dass sich Verbrennungsmotoren unterwegs einfach und günstig nachtanken lassen, geriet das Elektroauto fast in Vergessenheit. Heute erleben Elektrofahrzeuge ein Wiedererwachen. Die rasante Urbanisierung, die Ressourcenknappheit durch das Bevölkerungswachstum und der demografische Wandel zwingen uns, Mobilität neu zu erfinden.



Elektrofahrzeuge spielen dabei eine entscheidende Rolle. Schließlich verursachen sie keine schädlichen Treibhausgase, lassen sich mit Energie aus Wind und Sonne betreiben und machen den Menschen damit weitgehend unabhängig vom immer knapper werdenden Erdöl.

Laut einer Studie von 2010 erwartet die Investmentbank HSBC weltweit fast 18 Millionen Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 – aufgeteilt auf 8,7 Millionen reine Elektroautos und 9,2 Millionen sogenannte Plug-in-Hybride mit einer Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotor, die sich über eine Steckdose aufladen lassen. Nach den Plänen der deutschen Bundesregierung sollen bis zum Jahr 2020 eine Million Elektromobile auf deutschen Straßen fahren. Rein theoretisch könnten, so Prof. Gernot Spiegelberg, bis dahin sogar rund 4,5 Millionen Elektroautos unterwegs sein. Die Begründung: Von den 40 Millionen Fahrzeugen in Deutschland sind 30 Prozent Zweitfahrzeuge, von denen 80 Prozent lediglich für Kurzstrecken benutzt werden. Würde man die Hälfte dieser Fahrzeuge durch Elektroautos ersetzen, käme man auf mehr als 4,5 Millionen Stück. Wie hoch dieser Anteil in der Praxis ausfallen kann, hängt unter anderem von den erreichbaren Produktionshochläufen ab.



Fotos: Siemens AG

wird, also beispielsweise die Arme und Beine genutzt werden. Zur Erklärung: Gehirn-Computer-Schnittstellen basieren auf der Beobachtung, dass schon die Vorstellung eines Verhaltens messbare Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität auslöst. Selbst wenn man nur daran denkt, eine Hand oder einen Fuß zu bewegen, wird der motorische Kortex aktiviert – also der Gehirnbereich, der für Bewegungen zuständig ist. Wird die elektrische Aktivität im Gehirn aufgezeichnet – beispielsweise mittels der Elektroenzephalografie (EEG) –, kann man gedanklich die Trajektorie des Fahrzeugs vorgeben. Ljubo Mercep arbeitet mit einem Datenhelm, über den per Funk Gehirnströme an den Computer geschickt und dort ausgewertet werden. „Wir stehen auf diesem Gebiet allerdings noch am Anfang und haben bis jetzt nur erste Schritte im Selbstversuch gemacht“, so

der Doktorand. Was hier in Fahrzeugen der Zukunft möglich sein wird, dafür soll seine Forschung einen ersten Ansatz aufzeigen.

Gernot Spiegelberg und sein Team wollen ihre wissenschaftliche Arbeit auch dann noch bekannt machen, wenn die Rudolf Diesel Senior Fellowship 2013 endet. Geplant ist, beim Zero Emissions Race dabei zu sein, den der Schweizer Louis Palmer, der 2008 als Erster in einem solarbetriebenen Auto die Erde umrundet hat, jedes Jahr organisiert. Frei nach Jules Verne geht es dabei in 80 Tagen um die Welt, und zwar ausschließlich mit Elektrofahrzeugen. Mit dem Innotruck werden Gernot Spiegelberg und sein Team dann eine 30.000 Kilometer lange Strecke durch 16 Länder und 150 Städte zurücklegen und ihre Forschungsergebnisse einem breiten Publikum präsentieren. *Gitta Rohling*

Wir suchen Menschen mit Drive

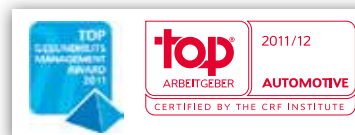


Faszination Technik: Innovationen in der Automobilbranche sorgen für echte Emotionen, für Begeisterung und Leidenschaft. Webasto steht für mehr Komfort und Erlebnis in der Mobilität. Daran können Sie teilhaben! Unsere Teams sind kommunikationsstark, engagiert und offen. Bei uns können Sie Ihre Ideen einbringen und verantwortlich umsetzen.

Ob während des Studiums, als Absolvent oder mit Berufserfahrung – setzen Sie Ihre Ideen mit uns um als

Ingenieur oder Wirtschaftswissenschaftler (m/w)

Webasto, mit Sitz in Stockdorf bei München, ist einer der weltweit 100 größten Automobilzulieferer. Die Gruppe ist an mehr als 50 internationalen Standorten tätig. Die Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung, Produktion und den Vertrieb kompletter Dach- und Cabriodach-Systeme sowie Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme für Pkw, Reisemobile, Boote sowie Nutz- und Spezialfahrzeuge.



www.webasto.com/career



Dachsysteme



Cabriovertende



Thermosysteme



Patrick Aebischer

Was gehört zu einer erstrangigen Universität?

Etwa 150 europäische Universitäten finden sich unter den Top 500 der verschiedenen internationalen Universitätsrankings, aber nur wenige, darunter TU München, ETH Zürich, EPFL, Oxford, Cambridge, unter den Top 50. Was ist ihr Geheimnis?

Den Kern aller guten Universitäten bilden exzellente Professoren. Um sie anzuwerben, sind drei Faktoren entscheidend: 1. ein offenes akademisches System ohne Lohn- und Herkunftsdiskriminierung; 2. der Tenure Track, mit dem junge Forscher schnell Vollverantwortung für ihre Forschung übernehmen können und, falls sie sich bewähren, befördert werden; 3. eine strategische Hochschulleitung, die auch außerplanmäßig außerordentliche Forscher anstellen kann. Außergewöhnliche Wissenschaft kann nur durch außergewöhnliche Wissenschaftler betrieben werden, durch brillante, impulsive, sogar ein wenig weltfremde Genies; es ist Sache der Hochschulleitung, die richtige Dosierung zu finden zwischen inspirierten Exzentrikern und rationalen Intellektuellen.

Diese Top-Professoren sollten auch erstrangige Lehrer sein, eine Forderung, die wegen des hohen Drucks auf Forschungserfolge immer problematischer wird. Das Problem kann mithilfe einer genügenden Anzahl von Professoren mit Industrie- oder Arbeitswelterfahrung gelindert werden. An der EPFL ermächtigen wir – mit guter Erfahrung – die Studenten, jeden Kurs zu bewerten und, falls nötig, einen „Rauchmelder“ zur Hochschulleitung zu aktivieren.

Als Eliteuniversität sind wir verpflichtet, die besten Studenten anzuziehen. Gleichzeitig möchten wir die edle europäische Tradition nicht aufgeben, die allen Maturanden/Abiturienten das Recht auf ein Hochschulstudium gibt – ohne Diskriminierung durch hohe Studienkosten und mit Studiengängen, die auch Wirtschaft und Gesellschaft nützen. Alle Schweizer Maturanden können ein Bachelorstudium an der EPFL beginnen, doch nur ungefähr die Hälfte besteht die Prüfungen nach dem ersten Jahr. Der globale Wettbewerb um Studenten wird sich im Wesentlichen auf das Master- und Doktoratsstudium beziehen. Dies wird ein harter Kampf, da unsere traditionellen Rekrutierungsbecken verschwinden. Wir werden uns vom alten „brain gain“ trennen müssen, um in eine neue Form weltweiter „brain circulation“ einzutreten, in der heimische Studenten genauso häufig außerhalb Europas ihre Studien abschließen wie außereuropäische Studenten es bei uns tun werden. Erfolgreiche Hochschulen sind Lokomotiven dieser Mobilität, und Mobilität ist eine jahrtausendlange Tradition in Europa, die wir weiterführen sollten.

Eine erfolgreiche Hochschule bildet eine Gemeinschaft. Schon Wilhelm von Humboldts Grundidee „Bildung durch Wissenschaft“ war eine Offensive gegen geistige und berufliche Zersplitterung. Interdisziplinarität, Abbau von intra-universitären Mauern, Öffnung – für Technische Universitäten – zu Geisteswissenschaften und Medizin sind absolut aktuell. Die Unité heute ist weniger das Allgemeinwissen als das Image der Universität, der Campus und seine Kultur. Universitätspräsidenten sind deshalb auch Campusarchitekten, und ein lebendiger Campus ist eine unabdingbare Trumpfkarte im Hochschulleben.

Erstrangige Universitäten fürchten sich nicht vor Wettbewerb und messen sich gegenseitig. Mit den European Research Council Grants haben wir endlich einen europaweiten Wettbewerb in der Forschung, bei dem Erfolg nur am wissenschaftlichen Verdienst gemessen wird. Diese ERC Grants bieten den europäischen Hochschulen einen Messstab für Exzellenz in Forschung und akademischem Nachwuchs.

Erstrangige Universitäten haben einen großen Einfluss in ihrer Region, der von allen Bürgern wahrgenommen wird: Arbeitsstellen werden geschaffen, neue Unternehmen gegründet, Industrie oder Dienstleistungssektoren werden dank der Qualität der Forschung und der Absolventen diversifiziert.

All dies braucht Geld, und eine der Hauptaktivitäten einer Hochschulleitung muss die unermüdliche Jagd nach Drittmitteln sein. Dies sollte den Staat jedoch nicht dazu anspornen, weniger zu investieren – im Gegenteil. □

Prof. Dr. Patrick Aebischer

Patrick Aebischer ist seit 2000 Präsident der Schweizer Universität École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Der Mediziner und Neurowissenschaftler studierte an den Universitäten von Genf und Freiburg. Von 1984 bis 1992 war er Assistent und später Associate Professor of Medical Sciences an der Brown University in Providence, Rhode Island, USA. Ende 1992 wurde Aebischer Professor und Direktor der chirurgischen Forschung und des Gentherapiezentrum am Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) in Lausanne. Aebischer ist unter anderem Fellow des American Institute for Medical and Biological Engineering und der Schweizer Akademie für Medizin.

LEIDENSCHAFT FÜR TECHNIK LEBEN

Lassen Sie sich verführen durch innovative Entwicklungen und neueste Technologien in der Welt der Elektronik.

Ein erfolgreicher Karriere-start beginnt im Studium.

Sie können schon während Ihres Studiums wertvolle Erfahrungen in einem lang-jährig erfolgreichen Unternehmen sammeln, indem Sie frühzeitig an Projekten der ESG mitarbeiten. In kleinen

Teams werden Sie optimal betreut und lernen nicht nur, Ihr Wissen in die Praxis um-zusetzen, sondern bekom-men zusätzlich einen Einblick in die Prozesse eines High-tech-Unternehmens. Wenn Sie studieren oder kurz vor Ihrem Abschluß stehen, eine

Affinität zu Elektronik- und Software-Themen besitzen, dann sind Sie bei uns genau richtig.

Wir bieten Ihnen die Chan-ce, an unterschiedlichen Projekten mitzuwirken, gute Betreuung durch erfahrene Mitarbeiter, kleine Teams,

in die man sich schnell in-tegriert, Freiräume durch flexible Arbeitszeiten, at-traktive Bezahlung und eine angenehme und kollegiale Arbeitsatmosphäre, in der Leistung Spaß macht, Aner-kennung findet und der Ein-zelne wertgeschätzt wird.

PRAKTIKANT / WERKSTUDENT / DIPLOMAND / ABSOLVENT (m/w)

Elektrotechnik, Nachrichtentechnik, Luft-/Raumfahrttechnik, Informatik, Systems Engineering




www.bmwgroup.jobs.

WERDEN AUCH SIE TEIL DES ERFOLGS.

KARRIERE BEI DER BMW GROUP.

Die Zukunft des Automobilbaus beginnt im Team der BMW Group. Hier entstehen die Technologien, die unseren Ruf als Innovationstreiber begründen. Nachhaltigkeit, Effizienz, Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Fahrspaßmaximierung sind die Themen, die wir vom Konzept in die Entwicklung und von dort auf die Straße bringen. Der Schlüssel dazu sind Spezialisten wie Sie, die große Freiräume nutzen, um den Rahmen des bislang Möglichen zu sprengen.

Sie suchen eine spannende Herausforderung? Dann nutzen Sie vielfältige Einstiegsmöglichkeiten – und verstärken Sie unser Team in München, Leipzig oder an einem anderen Standort. Egal, ob Sie über ein Praktikum, Ihre Studienabschluss- bzw. Doktorarbeit, als Trainee oder Direkteinsteiger zu uns kommen: Wir freuen uns auf Sie. Detaillierte Informationen und die Möglichkeit zur Online-Bewerbung finden Sie auf www.bmwgroup.jobs.

 Sie suchen den Austausch, Tipps zur Bewerbung und alles rund um das Thema Karriere? Dann besuchen Sie uns auf facebook.com/bmwkarriere.

**BMW
GROUP**
Recruiting



Rolls-Royce
Motor Cars Limited