

ISSN 18653022
917718651302004

Schutz-
gebühr
9,- Euro

Das Wissenschaftsmagazin

Ausgabe 9 | Dezember 2011

Technische Universität München

TUM

Faszination Forschung

Die kleinsten Beziehungskisten der Welt

Herausforderung Energiewende: Ein Streitgespräch zum Atomausstieg

Datenhighway der Zukunft: Forschung für den Mobilfunk von morgen

Die Lunge aus dem Computer: Neues Wissen über künstliche Beatmung

Kann man den Verbrauch von Trucks um 25 % reduzieren? MAN kann.



Ein Lkw, der schon heute eine Transportlösung für morgen ist: der Concept S Truck von MAN. Mit seiner radikalen Stromlinienform haben MAN-Ingenieure etwas Revolutionäres möglich gemacht: einen Lkw mit dem Luftwiderstand eines Pkw. So reduziert allein das Design den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emission um bis zu 25 %. Bei gleicher Ladekapazität. Was MAN in Zukunft sonst noch vorhat: www.man-kann.eu

Engineering the Future –
since 1758.
MAN Gruppe



Liebe Leserinnen und Leser,

Die Vielfalt der Talente ist ein Markenzeichen der Technischen Universität München. Sie steht im Zentrum der unternehmerischen Universität und wird in der bevorstehenden zweiten Programmphase der Exzellenzinitiative weitere starke Akzente erhalten. Wir fördern junge Spitzenforscher, gewinnen die besten Köpfe aus dem In- und Ausland und binden unsere TUM Emeriti of Excellence an ihre Alma Mater.



Faszination Forschung stellt in seinem fünften Jahr wieder interessante Forscherpersönlichkeiten, ihre Ideen und wissenschaftlichen Ergebnisse vor. Dabei ist Ulrich Rant, Carl von Linde Junior Fellow am Institute for Advanced Study (TUM-IAS). Er hat einen DNA-Chip entwickelt, mit dem er Biomoleküle detektieren und sogar deren Dynamik analysieren kann. Er ist das überzeugende Beispiel eines jungen Spitzenforschers, der seine bahnbrechenden Ergebnisse in einer Firmenausgründung in die Praxis umsetzt. Die Informationstechnik als zentrale Komponente unserer Industriegesellschaft bringt Holger Boche voran. Der Leibniz-Preisträger schuf die theoretischen Grundlagen für den neuen Mobilfunkstandard LTE. Vor Kurzem haben wir ihn aus Berlin an die TUM berufen.

Die Vielfalt auf den Punkt gebracht haben Markus Lienkamp und ein Team aus Wissenschaftlern von 21 Lehrstühlen der TUM. Sie haben MUTE geplant, entwickelt und gebaut – das avantgardistische, alltags-taugliche Elektrofahrzeug, das bei seiner Präsentation auf der IAA 2011 die Produkte renommierter Fahrzeugbauer in den Schatten stellte.

Oft ist es Ziel der Forschung, Werkzeuge für Wissenschaftler vieler Fachrichtungen zu entwickeln. So bei Barbara Wohlmuth, die neuartige Simulationsmethoden für hochkomplexe technische Systeme entwickelt – für Physiker, Mediziner, Klimaforscher. Viele TUM Wissenschaftler forschen an der Schnittstelle von Ingenieurwissenschaften und Medizin. Wie Strömungsmechaniker Wolfgang Wall, der mittels Computersi-

mulationen und numerischer Modelle die künstliche Beatmung von Patienten individuell verbessern will. Er ist Gründungsdirektor unserer neuen interdisziplinären Munich School of Engineering (MSE). Dem Physiker Andreas Stampfl dient ein Herz als Detektor: Er will herausfinden, wie Nanopartikel die Herzfunktionen beeinflussen.

Jahrzehntelange Spitzenmedizin betrieb Edgar Biemer. Als einer der Pioniere der Transplantationsmedizin am Klinikum rechts der Isar ist er der Initiator der weltweit ersten doppelten Armtransplantation, die im Juli 2008 erfolgreich von einem 40-köpfigen OP-Team unter seiner Leitung an der TUM durchgeführt wurde. Auf dieses Team sind wir stolz! Heute zählt Biemer zu den TUM Emeriti of Excellence. Sie beraten, unterstützen und fördern unsere Universität in vielen Belangen, ehrenamtlich und hochengagiert.

Zum ersten Mal präsentiert *Faszination Forschung* in dieser Ausgabe mit einer Reihe von eindrucksvollen Bildern Einblicke in einen Forschungsbereich mit Zukunft: die Robotik. Junge Wissenschaftler berichten, was „ihre“ Roboter können. Und schließlich ist *Faszination Forschung* eine Plattform für die Vielfalt der Meinungen. So drucken wir ein Streitgespräch zwischen dem Ingenieur Martin Faulstich und dem Ökonomen Hans-Werner Sinn über den Atomausstieg und die Zukunft der Energieversorgung.

Freuen wir uns über so viel Exzellenz, mit der unsere Universität glänzt!

W. A. Herrmann

Prof. Wolfgang A. Herrmann
Präsident

In dieser Ausgabe

Seite 22

Die Lunge aus dem Computer

Seite 32

Münchens nächste Topmodelle

TUM Forscher entwickeln neue Simulationsmethoden als Werkzeuge für viele Disziplinen

Titelgeschichten

- Die Lunge aus dem Computer**
Mit Simulationen gewinnen TUM Forscher neue Erkenntnisse über die künstliche Beatmung **22**
- Die kleinsten Beziehungskisten der Welt**
Biochip zum Nachweis von Substanzen **50**
- Datenhighway der Zukunft**
Forschung für den Mobilfunk von morgen **64**
- Herausforderung Energiewende**
Ein Streitgespräch zum Atomausstieg mit Hans-Werner Sinn und Martin Faulstich **86**



Seite 86

Herausforderung Energiewende

Seite 6

Klein, aber oho!



Blickfang auf der IAA: MUTE – das Elektrofahrzeug, entwickelt und gebaut von Wissenschaftlern der TUM

Forschung und Technik

- Klein, aber oho!**
TUM Wissenschaftler präsentieren MUTE – ihre Vision des Elektroautos für den Alltag **6**
- Schalter für Resistenz gegen Mehltau**
Pflanzen wehren sich auf molekularer Ebene **30**
- Ein Tag in der Roboter-WG**
Wissenschaftler zeigen, was „ihre“ Roboter können . . . **40**
- Den Traum mit beiden Händen greifen**
Neues Leben dank doppelter Armtransplantation . . . **60**
- Sensor-Chip überwacht Tumor**
Neuer Weg zu zielgerichteter Therapie **74**
- Das Herz als Detektor**
Nanopartikel können Herzrhythmus beeinflussen . . . **76**

Fotos/Grafiken Reihe oben: edlundsepp; Heider-Sawall; Eckert, TUM; edlundsepp; Fotos/Grafiken Reihe unten: edlundsepp nach TUM; TUM; Eckert, TUM



Seite 40

Ein Tag in der Roboter-WG



In dieser Ausgabe

Seite 64

Datenhighway der Zukunft



Seite 50

Die kleinsten Beziehungskisten der Welt

Ulrich Rant hat einen Biochip entwickelt, mit dem er Biomoleküle detektieren und analysieren kann. Seine Erfindungen sind das Fundament einer Firmenausgründung, die den Chip vermarkten will

Rubriken

Editorial	3
Porträt: Barbara Wohlmuth TUM Forscherin entwickelt Simulationswerkzeuge ..	32
Autoren	84
Impressum	84
Standpunkt: Wolfgang Reitzle Erinnerung an die Vielfalt der Existenz	94

Weise Worte der Wissenschaft

Marie Curie (1867 – 1934)

Ich habe gelernt, dass der Weg des Fortschritts weder kurz noch unbeschwerlich ist.

Isaac Newton (1643 – 1727)

Ich kann die Bewegung der Himmelskörper berechnen, aber nicht das Verhalten der Menschen.

Bertolt Brecht (1898 – 1956)

Wissenschaft: Es ist nicht ihr Ziel, der unendlichen Weisheit eine Tür zu öffnen, sondern eine Grenze zu setzen dem unendlichen Irrtum.

Bertrand Russell (1872 – 1970)

Wissenschaft ist, was wir wissen, und Philosophie, was wir nicht wissen.

Klein, aber oho!

Es soll nicht mehr kosten als ein Kleinwagen und mit einer Batterieladung mindestens 100 Kilometer weit fahren können: Forscher an der TUM entwickeln ein preisgünstiges Elektroauto, das so manchen Mitbewerbern überlegen ist. Damit demonstriert die Hochschule ihre theoretische wie praktische Kompetenz in einer der entscheidenden Zukunftsaufgaben, der Elektromobilität



Foto: Lehmann

Link

www.mute-automobile.de





Ergonomie: Im Gegensatz zu konventionellen Autos, bei denen die Ferse des Fahrers als Fixpunkt festgelegt ist, wurde für MUTE das Auge des Fahrers gewählt. Die Pedale werden verstellbar gestaltet, der Fahrersitz ist variabel in der Höhe

Foto: Lehmann

Konsequenter Leichtbau: Für MUTE benutzen die Ingenieure leichte Werkstoffe und sparen Material. Die Karosserie des Prototyps besteht aus einem tragenden Rahmen aus Aluminium, auf den die Außenhaut aus kohlefaserverstärktem Kunststoff montiert wird



Foto: Herdégat, TUM

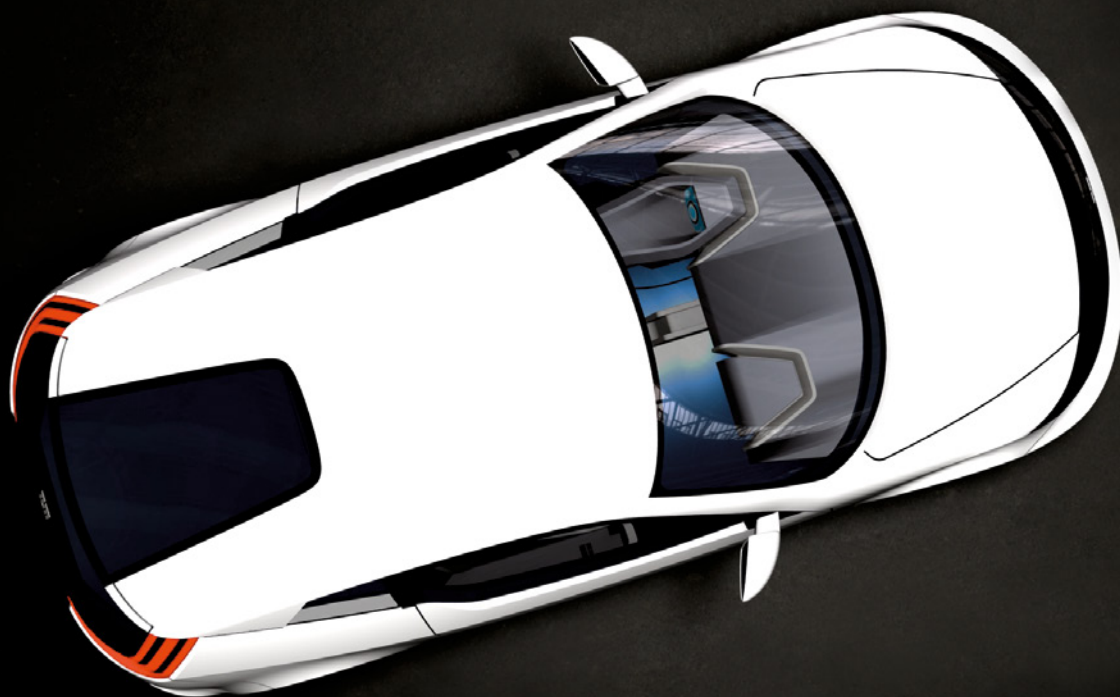


Foto: Heddergott, TUM

Die erste Ausfahrt: Zunächst testeten die Forscher mit dem Versuchsträger ohne Aussenhaut auf diversen Probefahrten, ob die am Computer errechneten Fahreigenschaften auch in der Realität vorhanden waren – mit großem Erfolg

Verstärkter Kunststoff: Auf dieser Strick-Spinnmaschine fertigen Ingenieure Teile aus Kohlefasern, die anschließend mit Kunststoff vergossen werden. Sie vereinigen höchste Festigkeit mit geringem Gewicht und dienen so auch der Sicherheit der Insassen

Foto: Heddergott, TUM



Fotos: Lehmann

MUTE beim „Tanken“: Er muss maximal 3,5 Stunden an der Steckdose hängen, dann ist seine Lithium-Ionen-Batterie wieder voll, und er kann erneut 100 Kilometer weit fahren. Das Auto hat eine schnittige Form mit kleiner Stirnfläche und erreicht so einen c_w -Wert von nur 0,27

Der erste öffentliche Auftritt von MUTE erinnerte stark an das Märchen vom hässlichen Entlein: Da kurvte im Sommer ein seltsames Gefährt mit grauschwarzer, primitiver Beplankung über eine oberbayerische Teststrecke. Das unscheinbare Äußere war Tarnung: Niemand sollte das damals noch streng geheime Elektroauto der TUM erkennen können. Erst auf der Internationalen Automobil-Ausstellung IAA im September zeigte sich der Prototyp als schöner weißer Schwan in seiner schnittigen Außenhaut.

„Das Interesse der Medien, der Fachleute und auch des Publikums war überwältigend“, berichtet Prof. Markus Lienkamp, Inhaber des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik und Leiter des Projekts. „Ich glaube, wir spielten auf der IAA ein bisschen die Rolle des Robin Hood. Alle suchten auf der Messe nach einem Kleinen, der neben den konventionellen Riesen in der Automobilindustrie etwas Pfiffiges zu bieten hat.“

Und das konnten die TUM Forscher in der Tat. Mit MUTE (engl. für „der Leise“) haben sie einen agilen, sportlichen Zweisitzer für den Regionalverkehr geschaffen. Dabei ging es jedoch nicht einfach darum, ein neues Auto zu bauen, das anstelle eines (lauten) Benzinmotors einen (leisen) Elektroantrieb hat. Die Aufgabe

ist viel weiter gefasst: „Elektromobilität ist eine der großen gesellschaftlichen Zukunftsaufgaben“, sagt TUM Präsident Wolfgang A. Herrmann. „Die TUM stellt sich mit MUTE der Aufgabe, grundsätzlich Neues zu denken und viele verschiedene Disziplinen zu verbinden. Eine Universität, die wie unsere den Anspruch auf Exzellenz erhebt, muss der Gesellschaft und Industrie vorangehen, nur dann wird sie ihrer gesellschaftlichen Verantwortung gerecht.“

Nicht teurer als ein Kleinwagen

Und Markus Lienkamp betont: „Alles an diesem Auto ist neu. Das kann kein einzelner Lehrstuhl leisten, deshalb arbeiten hier 21 Lehrstühle der TUM zusammen.“ Man hat sich darauf geeinigt, ein kleines, leichtes Elektrofahrzeug mit einem Lithium-Ionen-Akku für eine garantierte Reichweite von 100 Kilometern zu entwickeln, das Platz für zwei Personen plus zwei Gepäckstücke bietet. Bei Bedarf dient eine Zink-Luft-Batterie als sogenannter Range-Extender zur Ausdehnung der Reichweite, eine Art „Reserve“-Batterie. Der Wagen soll eine maximale Geschwindigkeit von 120 Kilometern pro Stunde erreichen, 15 Kilowatt – also gut 20 PS – Leistung haben und nicht mehr kosten als ein Kleinwagen. ▸

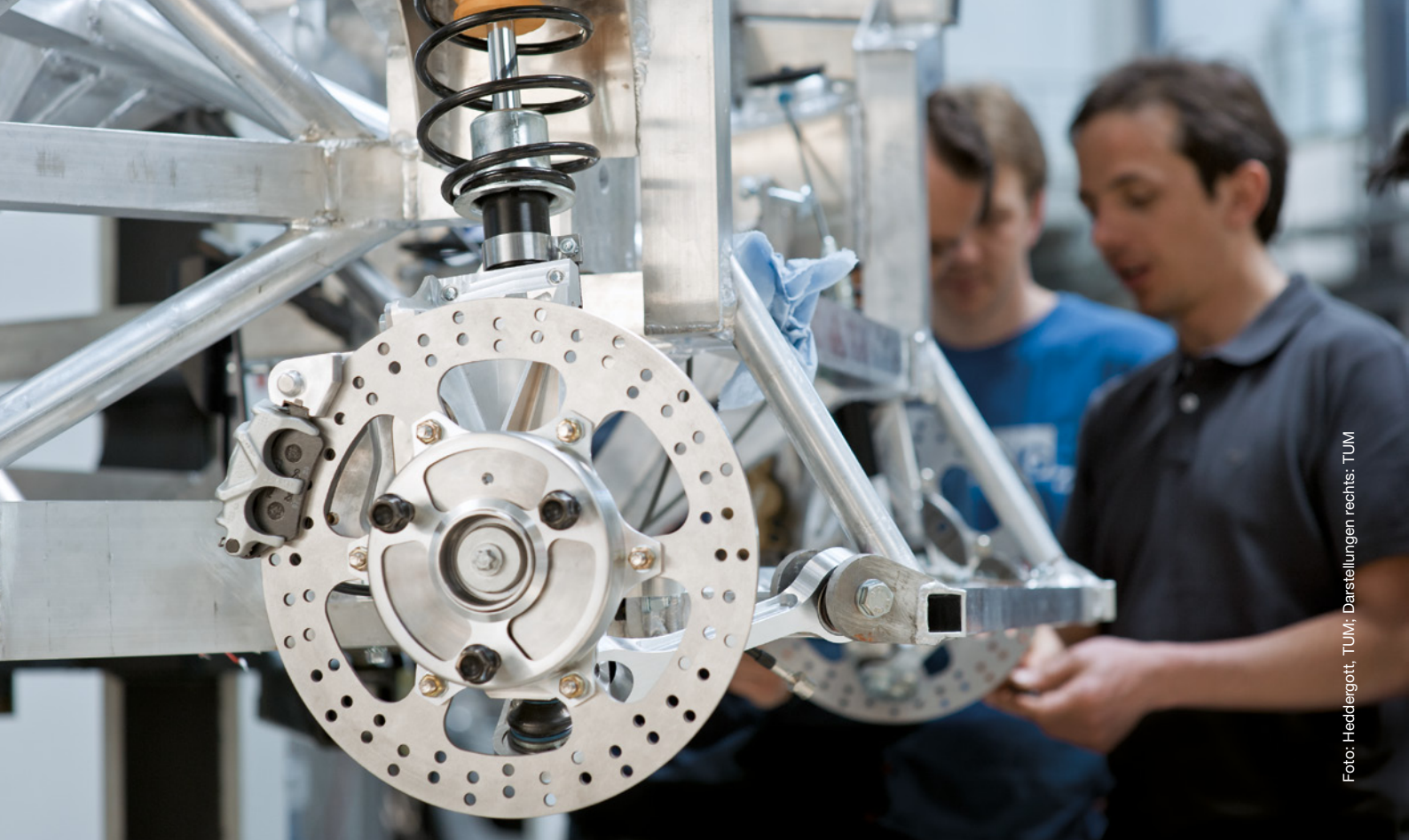


Foto: Heddergott, TUM; Darstellungen rechts: TUM

Sicheres Bremsen: Um Energie zurückzugewinnen, wird beim MUTE gebremst, indem der Elektromotor als Generator geschaltet wird. Ist aus Sicherheitsgründen stärkeres Bremsen erforderlich, werden die Scheibenbremsen der Vorderräder mit hinzugenommen

Besonders wichtig war die Vorgabe, dass er für den Regional- und Stadtverkehr in Mitteleuropa alltagsgeeignet sein muss, auch im Winter. Die ersten Fahrttests bestätigten die an unzähligen Computersimulationen ausgetüftelte Auslegung des Autos. Besonders auffällig sind die schmalen Reifen des MUTE. Sie minimieren den Rollwiderstand und sorgen damit für eine größere Reichweite. Um dem Fahrzeug trotzdem ein gutes Kurvenverhalten zu geben, haben die Ingenieure dafür gesorgt, dass das Zusammenspiel von Federung, Dämpfung und Kinematik der Achse so ausgelegt wird, dass für die Querdynamik das Ergebnis optimal ist. So zeigte sich, dass der MUTE-Versuchsträger, eine Eins-zu-eins-Kopie des Autos ohne Karosserie, den Elchtest besser bestand als mancher herkömmliche Mittelklasse-Pkw.

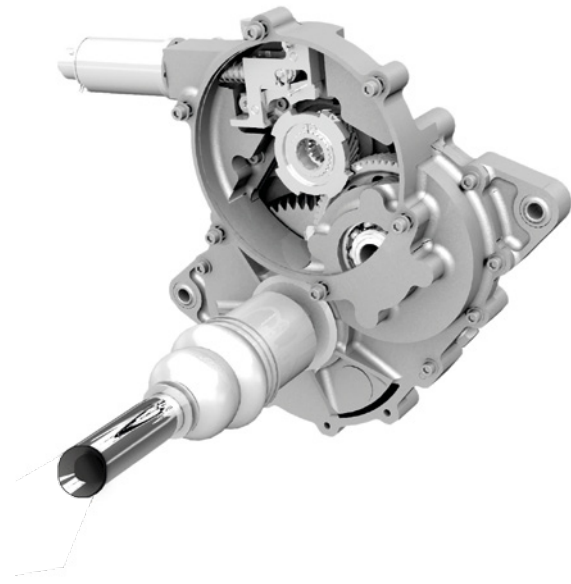
Ein Auto, das elektrisch betrieben wird, muss seine Energie, gespeichert in Akkus, mitführen, und bei den geringen Energiedichten heutiger Speichersysteme geht das schnell ins Gewicht. So entfallen bei einem Gesamtgewicht von 500 Kilogramm rund 100 Kilogramm auf die Batterien. „Für ein Elektrofahrzeug ist ein geringes Gewicht essenziell“, sagt Markus Lienkamp. „Mehr Gewicht erfordert mehr Akkuleistung

für die gleiche Reichweite und verursacht damit höhere Kosten. Mehr Gewicht heißt auch weniger Dynamik bei gleicher Leistung. Wir wollen aber ein Auto, das bezahlbar ist und Spaß macht beim Fahren.“

Batterie im Wohlfühlbereich

Im MUTE-Projekt hat man sich für den Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien entschieden, wie sie auch in Laptops zu finden sind. „1200 dieser Zellen schalten wir zusammen“, sagt Andreas Jossen, Professor für Energiespeichertechnik an der TUM. „Das ganze Paket wird dann am sichersten Ort im Auto eingebaut, nämlich vor der Hinterachse hinter den Sitzen.“ Es wird luftgekühlt, denn die Batterien haben einen „Wohlfühlbereich zwischen 20 und 40 Grad“, und ohne Kühlung würden sie sich schnell auf bis zu 60 Grad erhitzen, eine Temperatur, bei der sie nur eine sehr kurze Lebensdauer hätten.

Experten an Jossens Lehrstuhl untersuchen anhand numerischer Simulationen, wie man die Kühlung am besten gestaltet, damit sie auch an einem heißen Sommertag ausreicht. „Die Batterien haben einen Wirkungsgrad von etwa 90 Prozent, das heißt, ein Zehntel ihrer Energie geht als Wärme verloren“, so



Akku und Getriebe: Aus 1200 Zellen besteht die Lithium-Ionen-Batterie für die Energieversorgung des MUTE (links). Der Antriebsstrang (rechts) arbeitet mit Torque-Vectoring. Ein kleiner Zusatzmotor zwischen den Hinterrädern verteilt das Drehmoment elektronisch gesteuert auf diese

Jossen. Das ist zwar etwa so viel, wie ein handelsüblicher Toaster erzeugt, aber zur Heizung des Fahrzeugs dennoch weitaus zu wenig. Damit die Passagiere auch im Winter nicht frieren müssen, erhält das MUTE-Fahrzeug eine CO₂-neutrale Verbrennungsheizung mit Bioethanol. Das ist die kostengünstigste und leichteste Lösung.

1200 Batteriezellen müssen natürlich ständig überwacht und so gesteuert werden, dass sie die optimale Leistung erbringen. Außerdem will der Fahrer wissen, wie weit er noch kommt, bis er die Batterie wieder aufladen muss. Und er will über Störungen informiert werden, damit er im Fall eines Falles rechtzeitig eine Werkstatt aufsuchen kann. Diese Aufgabe übernimmt das sogenannte Batteriemanagement. Es handelt sich dabei um ein System, das ständig den Zustand der Zellen überwacht und, aufbauend auf den gemessenen Werten, das weitere Vorgehen ermittelt.

Es kann beispielsweise unterschiedliche Ladezustände der Zellen ausbalancieren und so immer maximale Leistung und Energie bereitstellen. Gleichzeitig übernimmt es die Kommunikation mit dem Energiemanagement des Fahrzeugs. Es übergibt diesem zum

Beispiel Prognosen zur Reichweite und Grenzwerte sowohl für die Antriebsregelung als auch für den Ladebetrieb und erlaubt so eine möglichst gute Einbindung in das Fahrzeugsystem. Der Fahrer kann jederzeit an seiner Instrumententafel ablesen, wie weit er noch fahren kann, bis er die Batterie wieder aufladen muss.

Vorsorge für Unfälle

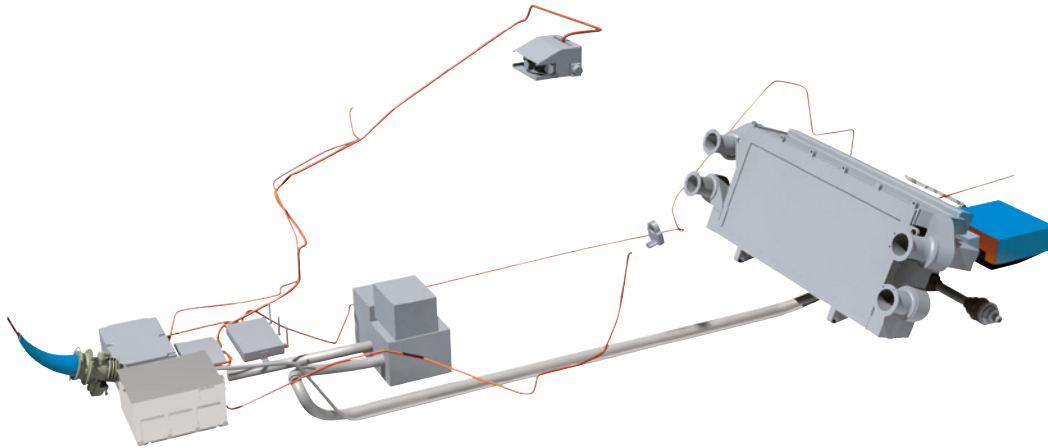
Aber auch für Notfälle sorgt das Energiemanagement vor: Über Leistungsschalter ist es in der Lage, die Batterie abzuschalten. Dies könnte nötig sein, falls einzelne Zellen sich überhitzen, einen internen Kurzschluss erleiden oder falls andere Fehler vorliegen. Oder bei einem Unfall. Dann muss gewährleistet sein, dass die Batterie nicht in Flammen aufgeht und keine Spannung an der Karosserie liegt, damit Rettungskräfte das Auto gefahrlos öffnen können. Entsprechende Sensoren sorgen dafür.

Neben der Lithium-Ionen-Batterie, die den eigentlichen Fahrbetrieb gewährleistet, soll jedes MUTE-Auto noch einen sogenannten Range-Extender erhalten. Dabei handelt es sich um eine zusätzliche Batterie auf Zink-Luft-Basis, die ganz vorn im Fahrzeug ▶



Schmale Reifen: Sie minimieren den Rollwiderstand und sorgen damit für eine größere Reichweite. Um dem Fahrzeug trotzdem ein gutes Kurvenverhalten zu geben, haben die Ingenieure Federung, Dämpfung und Kinematik der Achse optimal ausgelegt

Foto: Heddergott, TUM; Darstellung rechts: TUM



Die elektrische Anlage: Der Lithium-Ionen-Akku hinter den Rücksitzen garantiert eine Reichweite von 100 Kilometern. Bei Bedarf dient eine Zink-Luft-Batterie ganz vorn im Auto als sogenannter Range-Extender, als Reserve-Batterie. Vorn ist auch der Ladestutzen

sitzen soll. „Drei Vorteile bietet diese Kombination“, erläutert Andreas Jossen. „Erstens hat man ein Reservesystem, falls die Hauptbatterie einmal streiken sollte. Zweitens braucht der Fahrer nun keine Angst mehr zu haben, dass seine Batterie leer ist, bevor er ankommt, denn er kann im Notfall die zweite Batterie zuschalten. Und drittens wollen wir ein neues System des ‚Tankens‘ erproben: Man wird – so ist jedenfalls die mittelfristige Planung – aus diesen Batterien das verbrauchte Materialgemisch ablassen und neues nachfüllen können. Also eine Art mechanisches Betanken.“ Zink-Luft-Batterien eignen sich dafür. Außerdem sind sie preisgünstig, sicher und umweltfreundlich. Als Range-Extender, die nur im Ausnahmefall zum Einsatz kommen, sind sie ideal. Gleichzeitig dienen sie als zusätzliches Crash-Element im Falle eines Unfalls.

Konsequenter Leichtbau

Um den benötigten Akku so klein wie möglich zu halten, sollte das Auto sehr leicht sein, denn je schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Energie ist nötig, um es zu bewegen. Die Ingenieure schwören deshalb auf konsequenten Leichtbau, benutzen leichte Werkstoff-

fe und sparen Material, wo es nur möglich ist. Am Lehrstuhl für Leichtbau der TUM wurde inzwischen die Karosserie des MUTE-Prototyps entwickelt: Sie besteht aus einem tragenden Rahmen aus Aluminium, der mit einer Außenhaut aus kohlefaserverstärktem Kunststoff beplankt wird. In der Serienfertigung soll dann wegen der geringeren Herstellungskosten die Außenhaut aus Aluminium bestehen.

Crashboxen für die Sicherheit

Trotz des niedrigen Gewichts muss aber die Sicherheit der Insassen gewährleistet sein. Hier setzen Ingenieure am Lehrstuhl für Carbon Composites auf sogenannte geflochtene Crashboxen aus Faserverbundmaterial. Bei einem Zusammenstoß bekommen sie nicht wie Metall Beulen und Falten und vernichten dadurch Energie. „Hier tritt vielmehr eine Kombination aus unterschiedlichen Versagensformen auf, die man im Allgemeinen als ‚Crushen‘ bezeichnet“, sagt Olaf Rüter. „Das Crashrohr wird, von vorn beginnend, zermahlen, und es verbleiben nur Faserreste und Staub.“ Jeder kennt die Bilder spektakulärer Unfälle aus der Formel 1, bei der die Fahrer unverletzt völlig demolierten Autos entsteigen. Der Vergleich zwischen den Materialien zeigt, warum: Wäh- ▷



Foto: Heddergott, TUM; Grafik rechts: edum resapp

Auf der IAA: Das Interesse am MUTE auf der Internationalen Automobil-Ausstellung 2011 war groß, sowohl vonseiten der Medien als auch von Fachleuten und Messebesuchern. Hier stellt TUM Präsident Wolfgang A. Herrmann den Wagen der Presse vor

rend Stahl- und Aluminiumbauteile zwischen 15 und 25 Kilojoule pro Kilogramm Masse aufnehmen können, schaffen Faserverbundwerkstoffe 70 bis 100 Kilojoule. „Das im Rahmen des MUTE-Projekts entwickelte Elektrofahrzeug wird mit solchen Crashboxen ausgerüstet, um dem leichten Fahrzeug eine hohe passive Sicherheit zu geben“, so Rüger.

Die ersten Fahrtests zeigten, dass die Simulationen auf dem Computer das Verhalten des Fahrzeugs sehr gut vorhersagten. „In der Praxis hat der MUTE die vorausgerechneten Werte sogar noch übertroffen“, sagt Michael Graf, der die Fahrdynamik entwickelt und anschließend die Tests gefahren hat. Das gilt auch für die Auslegung des aktiven Torque-Vectoring-Differenzials. Hierbei wird über eine kleine, in das Differenzial eingebaute Elektromaschine die Kraft ideal auf die beiden Hinterräder verteilt. Insbesondere beim Bremsen in Kurven kann damit doppelt so viel Energie zurückgewonnen werden wie ohne Torque-Vectoring. Gleichzeitig wird das Auto sehr viel agiler und sicherer. So spürt der Fahrer den fahrdynamischen Nachteil durch die schmalen Reifen kaum.

Wann immer es geht, wird beim MUTE gebremst, indem der Elektromotor als Generator geschaltet wird. Die so

erzeugte elektrische Energie wird dann wieder in die Batterie eingespeist. Ist ein stärkeres Bremsen erforderlich, werden durch die elektronische Fahrdynamikregelung (Elektronisches Stabilitäts-Programm, ESP) auch die Scheibenbremsen der Vorderräder mit hinzugenommen. „Der MUTE erreicht durch ESP und Torque-Vectoring ein hohes Sicherheitsniveau“, so Michael Graf. „Er gehört in puncto Fahrdynamik zum oberen Viertel der derzeitigen Mittelklassefahrzeuge und zeigt ein absolut gutmütiges Fahrverhalten.“ Selbst bei Lastwechsel in Kurven lässt sich das Fahrzeug sicher beherrschen, und ein Übersteuern ist einfach abzufangen.

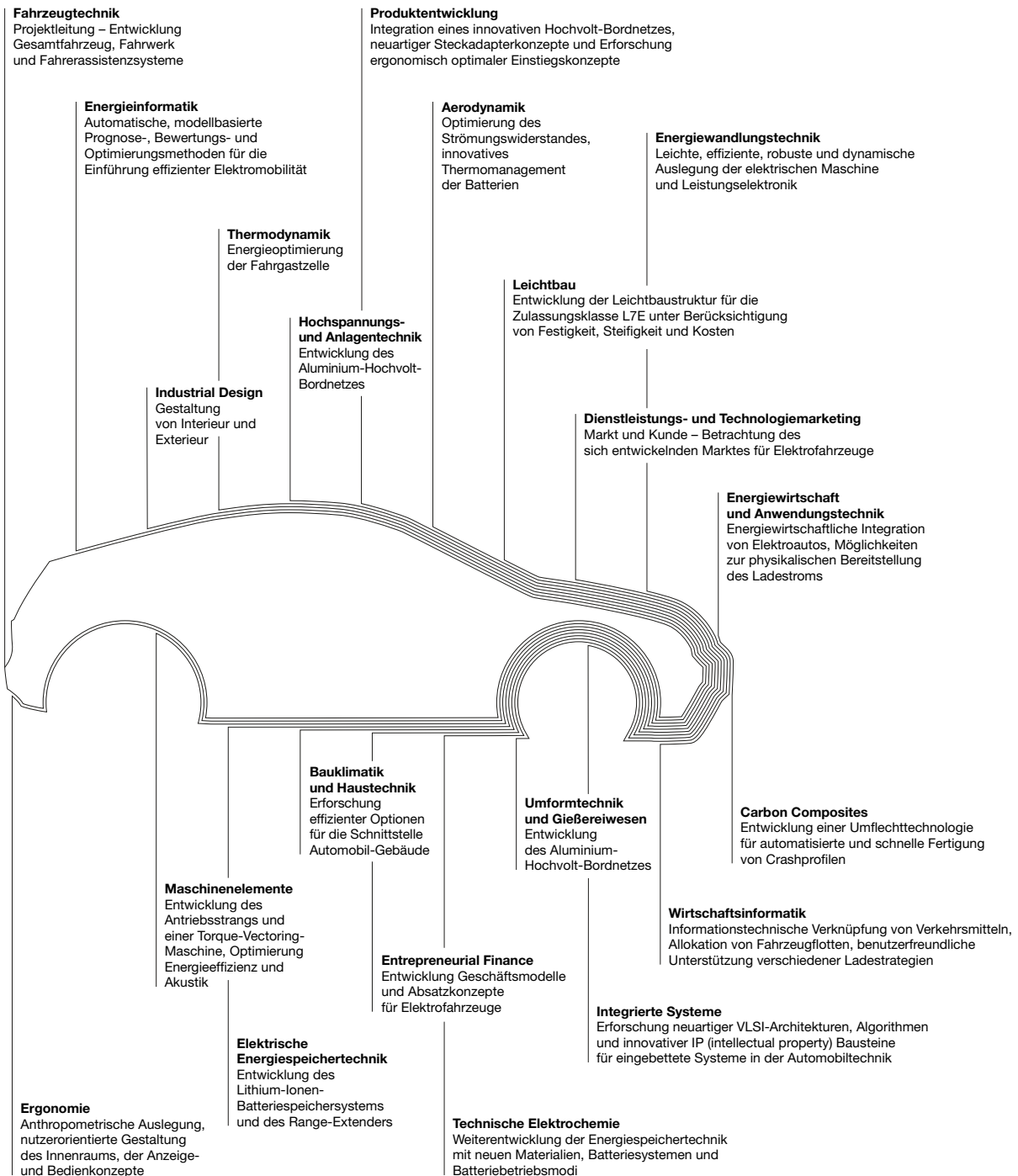
Das Auge als Fixpunkt

Dem absoluten Zwang zum Leichtbau stehen neue Freiheiten gegenüber. Da ein elektrischer Antrieb viel kompakter ist als ein Benzinmotor, bleibt Raum für neue Gestaltung, etwa im Innenraum. Normalerweise wird in Autos bei der Auslegung der Fahrgastzelle der Aufsattpunkt der Ferse als fester Körperpunkt definiert, da es schwierig wäre, Gas-, Kupplungs- und Bremspedal variabel zu gestalten. Deshalb muss sich der Rest der Bedienelemente nach diesem Fixpunkt richten, etwa Fahrersitz, Lenkrad, Instrumententafel und Rück- ▷

MUTE vereint Innovationen aus Wissenschaft und Forschung

Das Elektrofahrzeug MUTE ist eines der größten Forschungsprojekte, das die Technische Universität München je gestemmt hat: 21 Lehrstühle, Fachgebiete und Forschungsgruppen haben zusammengearbeitet. Von ersten Markt- und Bedarfsanalysen über Finanzierungskonzepte bis zur Entwicklung des Fahrzeug-

konzepts war es schon ein weiter Weg. Noch anspruchsvoller waren schließlich die Entwicklung, der Bau und das Design des kompletten Fahrzeugs mit zahlreichen neuen Ideen, die in ungezählten Arbeitsstunden mit vielen Nachtschichten zusammengeführt wurden.





Auf dem Rollenprüfstand am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik musste sich MUTE in der Entwicklungsphase vielen Tests unterziehen, bis die Ingenieure mit der Leistung von Antrieb und Bremse zufrieden waren

spiegel. Für extrem große oder kleine Personen kann es da mitunter zu Schwierigkeiten kommen, beispielsweise kann die Sicht eingeschränkt sein.

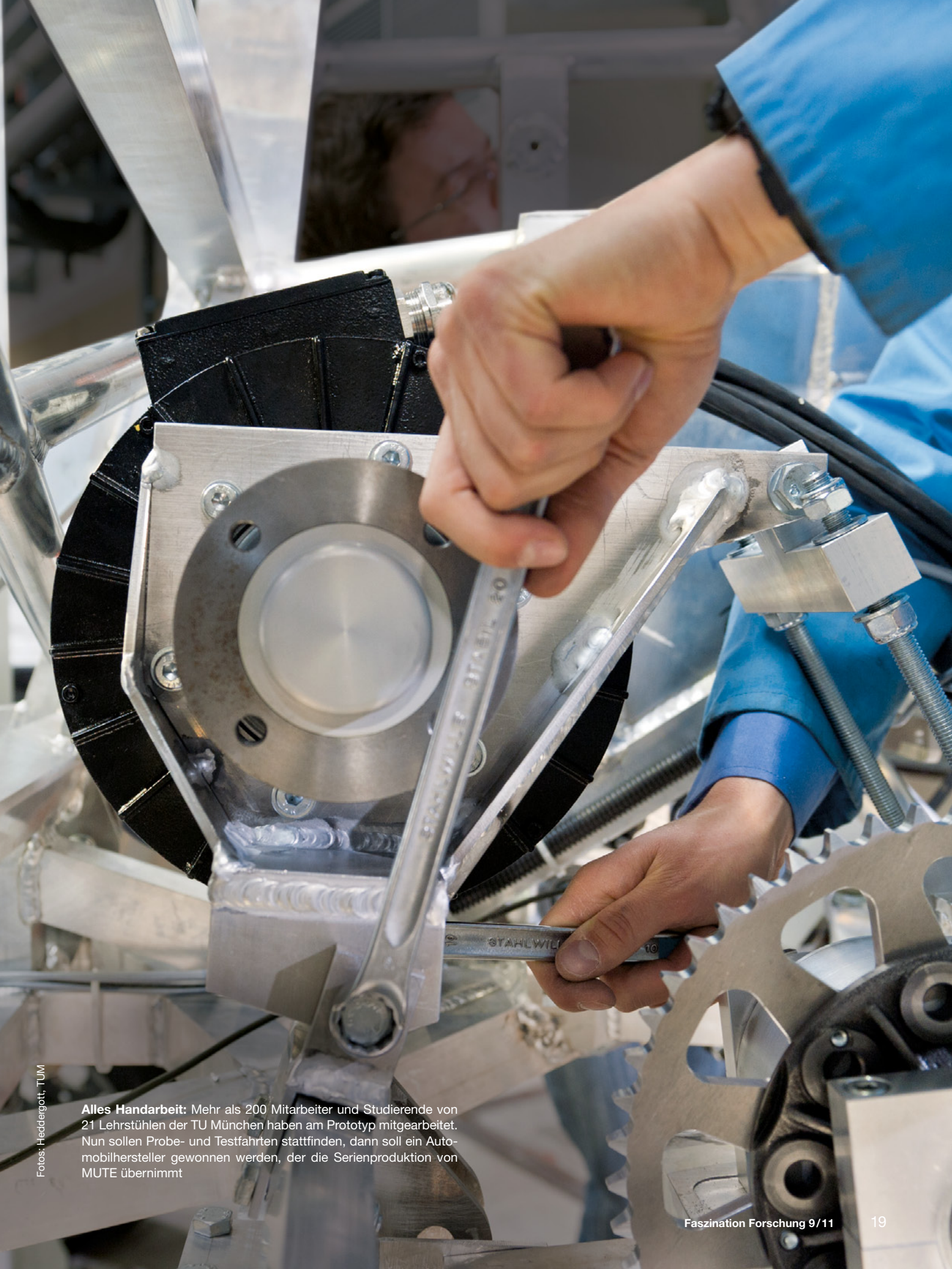
Da man im MUTE-Fahrzeug großen Wert auf das Thema Sicherheit legt, haben sich die Forscher hier für ein anderes Konzept entschieden, bei dem das Auge des Fahrers als Fixpunkt festgelegt wird. Das führt dazu, dass nun die Pedalerie verstellbar gestaltet werden muss, der Fahrzeugsitz hingegen muss nur noch variabel in der Höhe sein. So gut wie alle Fahrergrößen finden damit in einer komfortablen Haltung im Auto Platz. „Bedienelemente wie Radio, Klimaanlage oder Navigationsgerät müssen bei diesem Konzept ebenfalls verstellbar sein“, sagt Florian Kremser vom Lehrstuhl für Ergonomie. „Aus diesem Grund steuern wir die meisten elektronischen Funktionen über ein zentrales Touch-Display.“ Auch diese Komponenten berechneten und erprobten die Forscher zunächst virtuell, bevor sie die Daten für den Bau festlegten.

Immer noch Skepsis bei den Verbrauchern

Obwohl dieses Fahrzeug die Verbraucherwünsche für ein Stadtauto sehr gut erfüllt, haben die Marktforscher am Lehrstuhl für Dienstleistungs- und Technologiemark-

keting der TUM herausgefunden, dass die Skepsis der Verbraucher gegenüber Elektroautos noch sehr hoch ist. „Der Automobilindustrie, insbesondere der deutschen, ist es in den vergangenen Jahrzehnten gelungen, den Automobilkauf emotional aufzuladen“, sagt Marcus Zimmer. „Die Schneller-stärker-größer-schwerer-Maxime erschwert den Zugang zum Kunden mittels rationaler Argumentation.“

Zwar erfüllt das spezifische Nutzenprofil des MUTE-Fahrzeugs bereits den objektiven Mobilitätsbedarf eines Großteils der deutschen Bevölkerung. So müsste eine Reichweite von 100 Kilometern für die meisten Nutzer locker reichen, denn der Durchschnittsbürger fährt nur gut 39 Kilometer am Tag (das entspricht 14.360 Kilometern im Jahr). Auch die Ladezeit von 3,5 Stunden sollte kein Hindernis darstellen, da ein Durchschnittsauto 22 Stunden am Tag nicht fährt, sondern steht. Tatsächlich wird die Elektromobilität insgesamt als positiv wahrgenommen – meist weiß der Kunde Umweltfreundlichkeit und niedrigere Kosten fürs Tanken zu nennen. Doch es gibt noch diffuse Befürchtungen wie die „Reichweiten-Angst“. Insgesamt ergibt sich daraus eine Zurückhaltung, die durch gezielte Maßnahmen aufgelöst werden muss, um der Elektromobilität ▶



Alles Handarbeit: Mehr als 200 Mitarbeiter und Studierende von 21 Lehrstühlen der TU München haben am Prototyp mitgearbeitet. Nun sollen Probe- und Testfahrten stattfinden, dann soll ein Automobilhersteller gewonnen werden, der die Serienproduktion von MUTE übernimmt



Das Pluszeichen als Symbol: Der MUTE ist ein elegantes und sportliches Auto, in dessen Karosserie auf der Rückseite ein Pluszeichen integriert ist. Es setzt sich optisch aus dem Heckfenster und den Rückleuchten zusammen. Das zugehörige Minuszeichen vorn wird gebildet von den Scheinwerfern mit einem Band dazwischen. Damit wollen die Designer der Elektromobilität auch formalästhetisch Rechnung tragen

den Weg in die Massen Anwendung zu ebnen. Zimmer und seine Kollegen haben sich deshalb das Ziel gesetzt, MUTE nicht als eine Ansammlung von Einschränkungen erscheinen zu lassen, sondern seine Vorteile herauszustreichen, etwa die Möglichkeit zu ökologisch und ökonomisch bewusster Mobilität. So sahen das auch viele Besucher auf der IAA. Gleichzeitig fragten viele nach Studienmöglichkeiten an der TUM. Damit hatte MUTE auch noch den Seiteneffekt, dass es eine gute Werbung für die Münchner Hochschule darstellt. Bleibt noch die Frage des Preises. Denn das schönste und beste aller Autos wird nicht massenhaft gekauft werden, wenn es zu teuer ist. Deshalb haben die Entwickler von MUTE von Anfang an darauf geachtet, die Herstellungskosten niedrig zu halten. Alles in allem gesehen, soll das Fahrzeug nicht mehr als 350 Euro pro Monat kosten. Wahrscheinlich werden die Kostenrechnungen in Zukunft ohnehin ganz anders als heute laufen, und so sind verlässliche Preise und Vergleiche momentan nicht möglich. Denn die Branche ist im Umbruch: So steht zunehmend Leasen statt Kaufen im Vordergrund, und für Elektrofahrzeuge gibt es unterschiedliche Varianten, etwa dass das Fahrzeug gekauft und die Batterie geleast wird.

Entwickelt haben das Konzept MUTE mehr als 200 Mitarbeiter und Studierende von 21 Lehrstühlen der TUM, die im Wissenschaftszentrum Elektromobilität von TUM.Energy zusammengeschlossen sind. Das Energy-Netzwerk bündelt die in 100 Lehrstühlen und Forschungsgruppen an acht Fakultäten vorhandenen langjährigen Forschungsaktivitäten zu Energiethemen und Elektromobilität zu einem Kompetenzzentrum mit internationaler Strahlkraft. Es stellt Versuchsinfrastruktur, zentrale Prüfstände und Möglichkeiten zum Aufbau gemeinsamer Prototypen zur Verfügung und ist Andockstelle für nationale und internationale Kooperationen mit Forschungsstellen in Industrie und Wissenschaft.

Die Vision der beteiligten Forscher ist es, dass eines Tages ein Automobilhersteller MUTE in Serie produziert und das Fahrzeug auf den Markt bringt. „Aber bis dahin ist noch viel zu tun“, sagt Markus Lienkamp. „Nur gutes Aussehen allein reicht nicht. Ein Hersteller wird sich erst dann überzeugen lassen, wenn das Auto auch hervorragende Fahreigenschaften hat. Daran werden wir in den nächsten Monaten feilen, alle Komponenten intensiv erproben und in einen Zustand versetzen, sodass alle sagen: Wow, das fährt sich ja total gut.“

Brigitte Röthlein



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





Die Lunge aus dem Computer

Neu entwickelte numerische Modelle helfen Ärzten, die künstliche Beatmung von Lungenkranken individuell anzupassen oder bei Blutgefäßdegenerationen das Risiko eines Risses vorherzusagen

Link

www.lnm.mw.tum.de

Allein in Deutschland werden jährlich etwa 16.000 Patienten wegen akuten Lungenversagens intensivmedizinisch betreut und künstlich beatmet. Hinzu kommen schwere Fälle der chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen, typische Raucherkrankheiten. Auch Asthmatiker haben ein erhöhtes Risiko für Lungenversagen. Müssen Patienten mehrere Tage künstlich beatmet werden, sinkt die Überlebensrate auf unter 50 Prozent. Viele der überlebenden Patienten tragen schwere Lungenschäden davon und leiden ihr Leben lang unter den Folgen. Die behandelnden Ärzte stehen vor einem Dilemma: Viele Details der Lungenfunktion sind nicht bekannt. Eine genaue Steuerung der Beatmung ist daher kaum möglich. Aber: Ohne eine stabile Atmung kann auch das beste Ärzteteam einen Kranken nicht therapieren.

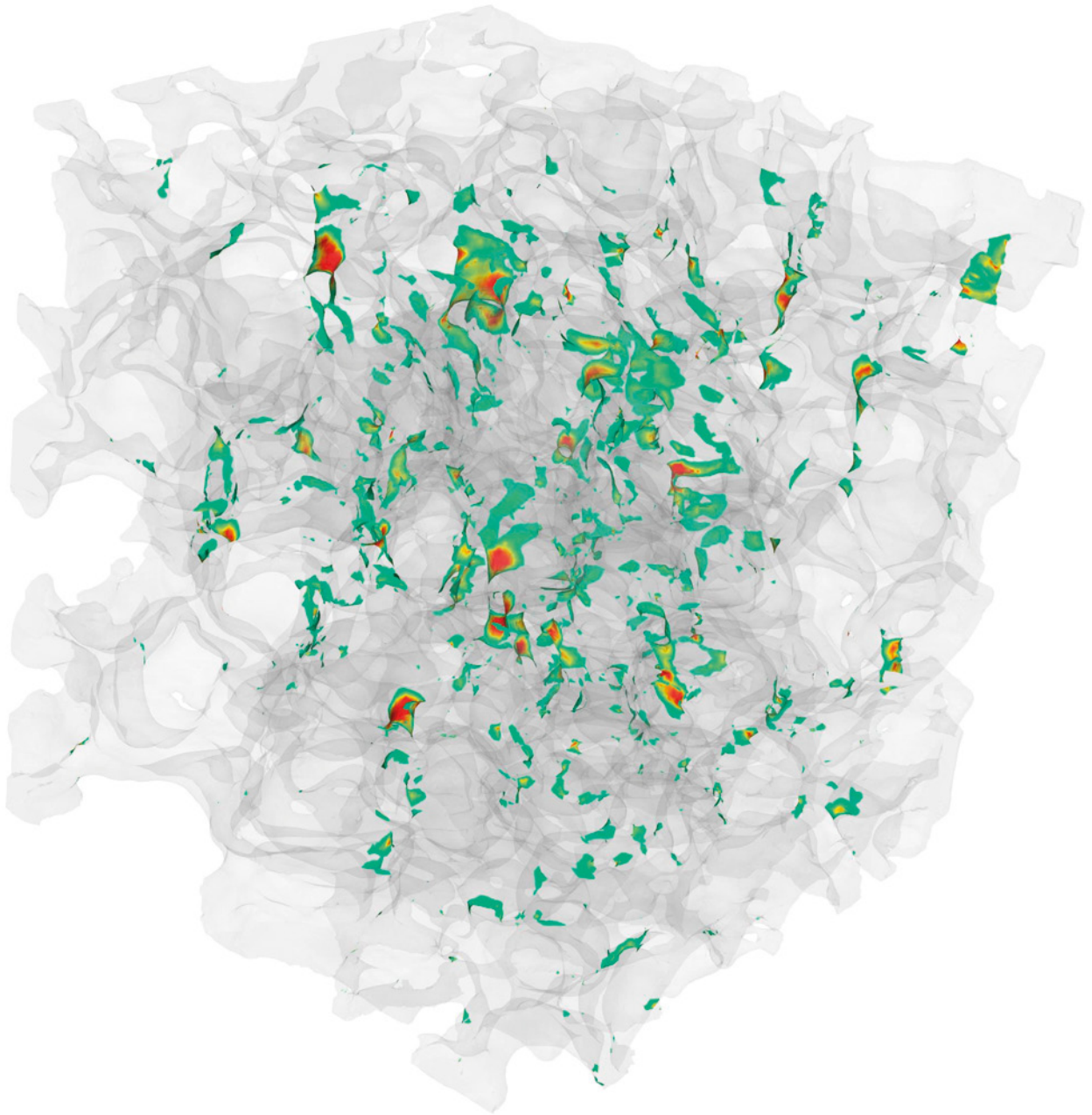
„Trotz modernster medizinischer Methoden, trotz morphologischer und histologischer Kenntnisse weiß die Medizin viel zu wenig über die Lunge und ihre genaue Funktionsweise“, erklärt Prof. Wolfgang Wall. Der Ingenieur, der im Bereich computerorientierte Biomechanik forscht, kennt sich mittlerweile aus: Er ist oft genug auf Intensivstationen gewesen, um die Probleme der Ärzte besser zu verstehen. Mit seinem Forscherteam am Lehrstuhl für Numerische Mechanik entwickelt er sogenannte protektive Beatmungsformen, die das Lungengewebe schonen sollen.

Eine künstliche Beatmung der Lunge ist generell ein Risiko, da die dabei auf die Lunge ausgeübte Beanspruchung in hohem Maße unphysiologisch ist. Wir versorgen uns mit dem lebenswichtigen Sauerstoff, indem unser Zwerchfell einen leichten Unterdruck erzeugt.

Schon drei bis fünf Millibar reichen, um die Luft in die Lunge strömen zu lassen. Anders als die natürliche Atmung erfolgt die künstliche Beatmung mit Überdruck. Nur wenige Sekunden hat der behandelnde Arzt, um anhand von Faustformeln die Ersteinstellung des Beatmungsgeräts festzulegen. Aus der Anzahl der Atemzüge pro Minute, dem Volumen jedes Atemzugs und dem Minimaldruck stellt er ein Beatmungsmuster zusammen. Referenz sind der Sauerstoff- und der Kohlendioxidgehalt im Blut. Sinkt der Gehalt an lebenswichtigem Sauerstoff ab, so dreht der Arzt weiter auf. Nicht selten wird dabei ein Spitzendruck von bis zu 50 Millibar erreicht. Auch wenn die Lunge darauf eigentlich nicht ausgelegt ist, verkraftet ein ansonsten gesunder Patient die künstliche Beatmung im Allgemeinen gut. Ganz anders sieht die Situation bei Patienten aus, die an einer Lungenerkrankung leiden. Ist die Lunge bereits geschädigt, kann die mechanische Überbeanspruchung zu schweren Entzündungsreaktionen und zum multiplen Organversagen führen. Dementsprechend ist die Sterblichkeitsrate dieser Patienten erschreckend hoch.

Die Wahl der Beatmungsstrategie ist also entscheidend. Doch welche Parameter sind zu verändern? Der Druck, das Volumen, die Luftströmungsfrequenz? Ein Fehler kann verheerende Folgen haben für den Patienten – bis hin zum Tod. Es gibt keine optimale Standardeinstellung, für jeden Menschen müssen die Parameter individuell eingestellt werden.

Mit über 300 Millionen Lungenbläschen, den sogenannten Alveolen, ist die innere Gesamtoberfläche der Lunge so groß wie eine mittlere Dreizimmerwohnung: etwa 80 Quadratmeter. Zum Vergleich: Die Oberfläche ►



Darstellung: TUM

Durch zu hohen Druck wird die Lunge bei der künstlichen Beatmung gedehnt – häufig ist die Dehnung so stark, dass es in den Wänden einzelner Lungenbläschen zu Entzündungsreaktionen kommt. Die Wissenschaftler interessieren sich daher nicht nur für die globale Dehnung der Lunge, sie wollen wissen, wo die „Hot Spots“ sind, an denen die dünne Wand der Lungenbläschen zu stark gedehnt wird. Ein sehr hochauflösendes Bild der Lunge konnten sie mit einem speziellen Computertomografen erstellen. Es zeigt die Schwammstruktur der Lungenbläschen (grau) und zugleich die Regionen, die bei einer Beatmung am stärksten gedehnt werden (rot)

der Haut misst nur knapp zwei Quadratmeter. Bis vor einigen Jahren glaubte man, dass die Lungenbläschen in den Alveolarsäckchen traubenartig um die respiratorischen Bronchiolen angeordnet sind (und in vielen Büchern steht das heute noch). Aus computertomografischen Aufnahmen wissen die Forscher, dass das Gewebe mehr einem Schwamm gleicht als einer Weinrebe mit ihren Früchten. Aber damit erschöpft sich dann auch schon bald das Wissen.

Wohin fließt die Luft beim Atmen?

Viele Fragen lassen sich derzeit nicht beantworten: wohin die Luft beim Atmen genau strömt, wie Luft, Gewebe und Flüssigkeitsfilm interagieren oder welche Spannungen auftreten. Aufnahmen aus bildgebenden Verfahren sind meist statisch und können die dynamischen Vorgänge beim Ein- und Ausatmen nicht wiedergeben. Außerdem können diese Bilddaten niemals Aufschluss über die mechanische Beanspruchung im Gewebe geben. Diese Information ist jedoch für die Wahl der Beatmungsstrategie entscheidend. Ohne ein geeignetes Computermodell kommen Ärzte und Forscher nicht weiter. Genau daran arbeitet Walls Team.

Knapp sechs Jahre hat es gedauert, um die Funktionsweise des respiratorischen Organs zu verstehen und darauf basierend ein Modell aufzubauen. „Kein anderes Modell weltweit ist so leistungsfähig und komplex wie unseres“, sagt Wall. Es geht dabei um viel mehr als nur das Nachbilden von Daten, die experimentell gemessen wurden. Das TUM Modell zeigt erstmals realistisch die Interaktion der Luftströmung im gesamten Atemwegsbaum und der Deformation des Lungengewebes. Dabei werden im Gewebsmodell sowohl die einzelnen Bestandteile wie beispielsweise Kollagen und Elastin als auch der die Alveolen auskleidende Flüssigkeitsfilm berücksichtigt. „Das TUM Lungenmodell ermöglicht neue Einblicke in die Lungenmechanik auf mehreren räumlichen Skalen von grob (auf Organebene) bis fein (auf Ebene einzelner Lungenbläschen)“, erläutert Lena Yoshihara, die sich in ihrer Promotion intensiv diesen Fragestellungen gewidmet hat und nun die Lungenforschungen mit betreut. Und in engen interdisziplinären Kooperationen wird sogar die entscheidende Brücke hin zur biologischen Antwort des Systems (d. h. der Zellen) geschlagen. Auf diese Weise werden auch wesentliche Fragen der Mechanobiologie beantwortet – eines jungen Forschungsgebiets, das sich mit dem für lebende Systeme entscheidenden Wechselspiel zwischen Biologie und Mechanik beschäftigt.

Nun kann die Lunge aus dem Computer zeigen, was sie kann. Verschiedene Simulationen geben den Forschern nicht nur die Möglichkeit, ihre Theorien zu grundlegenden Zusammenhängen zu überprüfen und ihre Basis-

modelle abzusichern. Sie können ebenso Hypothesen zum Verhalten der Lunge aufstellen, mithilfe virtueller Experimente untersuchen, ob Ertere sich als richtig erweisen, und gegebenenfalls ihr Modell oder die Hypothese korrigieren. Langfristiges Ziel ist, Vorhersagen zu treffen, wie sich eine Erkrankung entwickelt oder eine bestimmte Intervention auswirkt. Diese Informationen sollen den Ärzten helfen, ihre schwer kranken Patienten besser versorgen zu können.

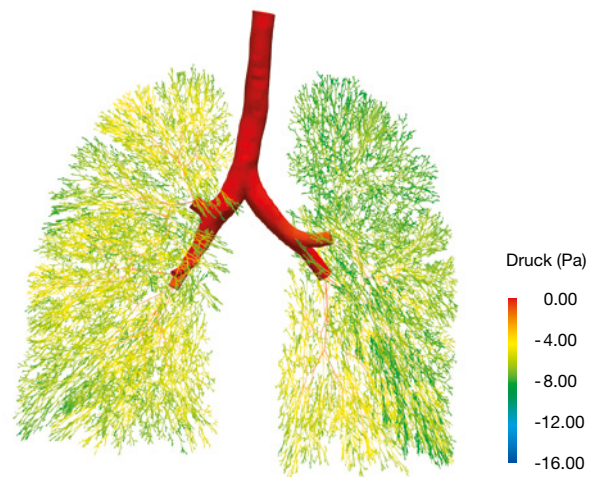
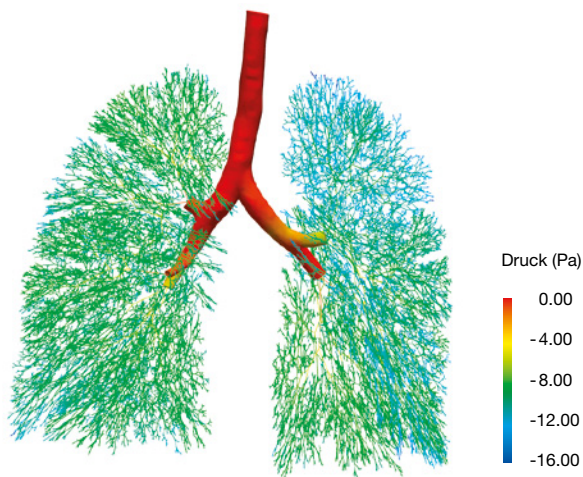
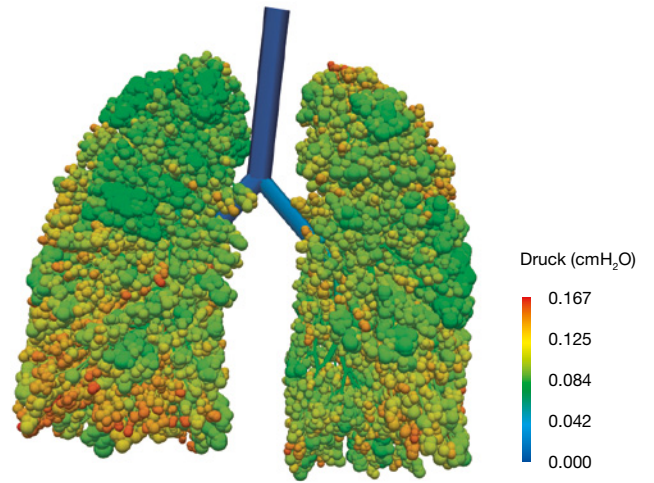
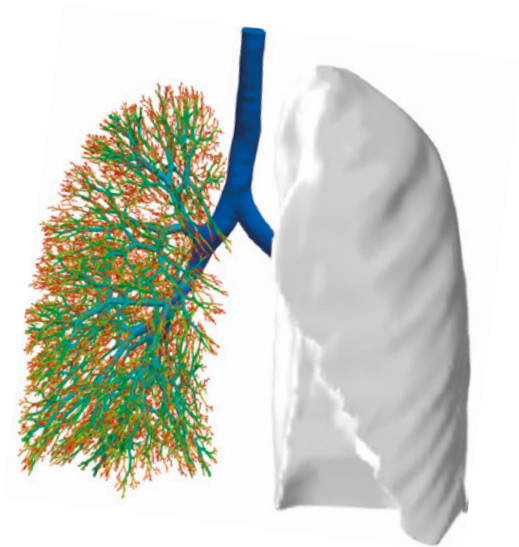
Für solche Simulationen müssen die Modelle zunächst entwickelt, sauber mathematisch formuliert und dann in ein Computerprogramm übersetzt werden. Dazu nutzt die Forschergruppe vor allem die sogenannte Finite-Elemente-Methode (FEM). Der Lehrstuhl hat dafür ein eigenes Forschungsprogramm entwickelt, eines der leistungsfähigsten weltweit, denn die notwendigen Software-Werkzeuge gibt es nicht als Standard zu kaufen.

„Anwendungsmotivierte Grundlagenforschung“ nennt Wolfgang Wall das und hat die gesamten, international viel beachteten Forschungsaktivitäten seines Lehrstuhls unter diese Vision gestellt. Forschungen, die sich von vielen Bereichen der klassischen Ingenieurdisziplinen (Luft- und Raumfahrt, Automotive etc.) nun eben bis hin zur Medizin, zur (Mechano-)Biologie, zur Chemie und zur Biophysik erstrecken. Und überall versuchen sie mit neuartigen Modellen, die innovativsten Fragestellungen in diesen Disziplinen zu lösen. Für den gebürtigen Salzburger steht fest: „Ich muss mich mit meiner Forschung dem Problem anpassen und nicht umgekehrt.“ Deshalb ist es auch im Bereich der Biomechanik bzw. des Biomedical Engineering das Wichtigste, das Organ genau und umfassend zu analysieren und auf den gewonnenen Erkenntnissen die Modelle aufzubauen. Das haben er und seine 30-köpfige Arbeitsgruppe getan, und zwar nicht nur bei der Lunge. Inzwischen sind sie in der interdisziplinären Zusammenarbeit mit Chirurgen, Biologen, Physikern und Nuklearmedizinern z. B. auch Fachleute für gefährliche Arterienverengungen (Aneurysmen) geworden.

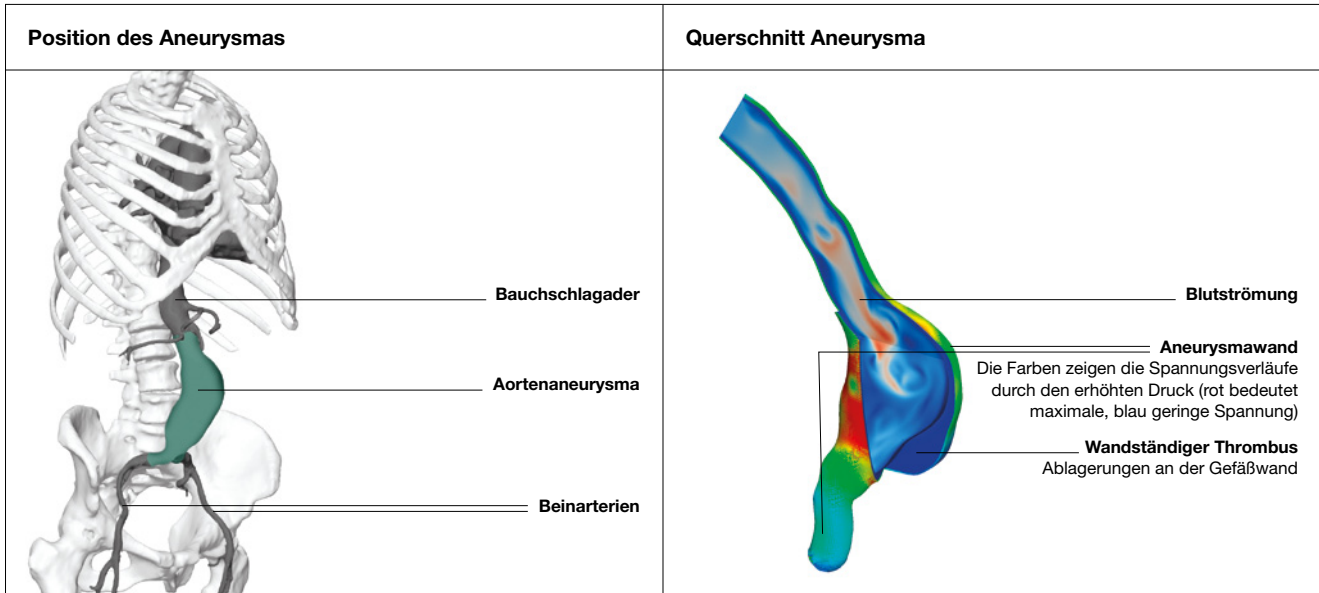
Degenerierte Arterien

Bei dieser lebensbedrohlichen Erkrankung weitet sich ein Blutgefäß an einer bestimmten Stelle auf. Häufig betroffen ist die Hauptschlagader (Aorta) in Brust- oder Bauchraum. Üblicherweise ist bei Erwachsenen der Durchmesser der Aorta zwischen knapp zwei bis drei Zentimeter. Wird dieses Maß überschritten, sprechen die Mediziner von einem Aneurysma. Im Bauchraum können solche Aussackungen bis zu zwölf Zentimeter Durchmesser erreichen.

Ein Aneurysma kann genetisch bedingt oder erworben sein. Bestimmte Faktoren erhöhen das Risiko, insbesondere Bluthochdruck, Rauchen und Arteriosklero- ▶



Mittels bildgebender Verfahren, hier Computertomografie, lässt sich die grobe Struktur der Lunge deutlich aufzeigen. Die Wissenschaftler wollen sich aber ein genaues Bild bis in die kleinsten Verästelungen der Lungenbläschen machen. Daher kombinieren sie die CT-Bilder mit ihren Computermodellen zu einer detailgetreuen Ansicht (o.l., mit Darstellung eines Lungenflügels). So können die Forscher die Druckverteilung in den Lungenbläschen in verschiedenen Stadien der künstlichen Beatmung simulieren. Die vereinfachte Darstellung der Lungenbläschen am Ende der einzelnen Atemwege (u.r.) zeigt die Druckverteilung während der Ausatmung. Belastungsspitzen (rot) sind deutlich zu erkennen. Bei der Einatmung mit maximalem Einatemvolumen (u.l.) ist die Dehnung zunächst gering, bereits eine halbe Sekunde später zeigt sich, dass der Druck zunimmt (u.r.)



Darstellungen: TUM

se („Gefäßverkalkung“). Diese Degeneration der Arterie ist deshalb tückisch, weil sie nicht immer Beschwerden verursacht. Wenn das Blutgefäß platzt, kommt aber meist jede Hilfe zu spät. 70 bis 90 Prozent der Betroffenen verbluten innerhalb weniger Minuten.

Werden Aneurysmen frühzeitig entdeckt, können sie operiert werden. Bislang gilt ein Durchmesser von fünfeinhalb Zentimetern als Kriterium für den Eingriff, der allerdings nicht ohne Risiko ist: Die Sterblichkeitsrate in Deutschland liegt durchschnittlich bei knapp fünf Prozent. „Der Grenzdurchmesser ist eine sehr grobe Marke“, meint Walls junger Kollege Prof. Michael Gee. Denn jedes Aneurysma hat seine eigene Geometrie, sie hängt von Wanddicke-, -aufbau und Grad der Degeneration ab, die bei jedem Patienten individuell ist.

Hinzu kommt, dass immer wieder als für eine OP zu klein eingestufte Aneurysmen reißen und andererseits spät entdeckte, sehr große Aneurysmen offensichtlich über Jahre stabil bleiben können. Daher hat der Lehrstuhl für Numerische Mechanik in einem interdisziplinären Projekt im Rahmen der International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) begonnen, ein Vorhersagemodell zu erarbeiten, mit dem sich das individuelle Risiko eines Patienten berechnen lässt. Hierbei stehen der Blutdruck und die Arterienwand im Blickpunkt: Wie verteilt sich die Spannung, wie fest ist das Gewebe, was sind die durch die Spannung ausgelösten biologischen Umbauprozesse, wann reißt das Aneurysma?

Die Forscher nutzen Aufnahmen aus der medizinischen Bildgebung, anhand derer sie unterschiedliche Aneurysmen-Formen und Wanddicken rekonstruieren und als Basis für eine numerische Simulation verwenden.

Sie bilden im Computer die Druckbelastung des Gefäßes nach und können sehen, wo die Spannungen in der Arterienwand besonders hoch sind. Das Besondere ist, dass es dem TUM Team gelungen ist, ein Modell zu entwickeln, welches die tatsächliche Komplexität erfasst.

Weitere Erkenntnisse liefert die bildgebende Diagnostik. Kombinierte PET-/CT-Aufnahmen der Patienten (Positronen-Emissions-Tomografie, Computertomografie) zeigen, in welchen Bereichen der Arterie entzündliche Vorgänge oder Umbauprozesse stattfinden. Die Wissenschaftler interessiert dabei: Korreliert die erhöhte Stoffwechselaktivität mit den mechanischen Eigenschaften der Arterienwand? „Sollte das der Fall sein, wäre dies ein wichtiger Schritt in Richtung eines ganzheitlichen Modells, das die Interaktion zwischen Biologie und Mechanik von Blutgefäßen berücksichtigt“, betont Gee.

Um statistische Aussagen machen zu können, sind die Wissenschaftler auf eine große Zahl von Patienten angewiesen. Hier ist die Zusammenarbeit mit der Gefäßchirurgie am Klinikum rechts der Isar von Bedeutung, die sich auf die Behandlung von Bauchaorten-Aneurysmen spezialisiert hat. Wolfgang Wall ist sehr froh über diese enge Kooperation, in der die nächsten Fragestellungen schon anstehen: Gelingt es den Forschern, die Interaktion zwischen Blutfluss und Arterienwand herauszuarbeiten, dann könnten sie den Operateuren auch beim Anlegen von Gefäßprothesen (sogenannten Stents) helfen: Die Größe des Stents ließe sich besser bestimmen und die Langzeithaltbarkeit dieser Prothese verbessern. Der Vorteil: Der Stent wird nicht so leicht undicht, weil er verrutscht ist – und den Patienten würde somit eine weitere riskante Operation erspart. *Evdoxia Tsakiridou*

Der Moment, in dem die Technik von heute
die Forscher von morgen begeistert.

Für diesen Moment arbeiten wir.



// FASZINATION
MADE BY CARL ZEISS

Innovative Köpfe legen Wert auf eine gute Ausbildung. Carl Zeiss auch.
Bildung ist der erste Schritt zu einer erfolgreichen Bewerbung.

www.zeiss.de



We make it visible.

Schalter für Resistenz gegen Mehltaupilz

Mehltau kann Gerste so manipulieren, dass die Zellen des Getreides dem Krankheitserreger nicht nur Einlass in die Pflanze gewähren, sondern ihn sogar noch mit Nährstoffen versorgen. Ein Forscherteam vom Lehrstuhl für Phytopathologie der TUM hat auf molekularer Ebene beteiligte Wege aufgedeckt, auf denen der Mehltaupilz das schafft – und herausgefunden, wie die Gerste sich dagegen wehren kann

Auch Pflanzen haben ein Immunsystem, das sie vor Krankheitserregern schützt. Früherkennung von Erregern und anschließende Abwehrreaktionen, vor allem an der Pflanzenzellwand, wirken als Schutzschild. Doch einige Erreger sind in der Lage, die zellwandassoziierte Abwehrreaktion der Pflanzen zu unterdrücken. „Ein besonders raffinierter Angreifer, der Echte Mehltaupilz, kann Zellen sogar so umprogrammieren, dass sie Architektur und Stoffwechsel zugunsten des Pilzes anpassen. Dann unterstützt die Pflanze das Einwachsen des eigentlich schädlichen Mehltaupilzes in die Pflanzenzellen aktiv und versorgt ihn sogar mit Nährstoffen“, erläutert Prof. Ralph Hückelhoven vom TUM Lehrstuhl für Phytopathologie. Wie der Mehltau die Pflanze derartig manipulieren kann und welche pflanzlichen Komponenten dabei beteiligt sind, ist noch weitgehend ein Rätsel. Hückelhovens Forscherteam hat jedoch einen Baustein zur Entschlüsselung dieses Geheimnisses geliefert. Die Wissenschaftler haben zwei Proteine in der Gerste identifiziert, die sich der Echte Mehltaupilz bei seiner „feindlichen Übernahme“ lebender Pflanzenzellen zunutze macht. Die beiden Eiweißstoffe steuern eigentlich gemeinsam Entwicklungsprozesse in der Pflanzenzelle – bei der Gerste sind sie zum Beispiel für das Wachstum von Wurzelhaaren verantwortlich. Das eine Protein,

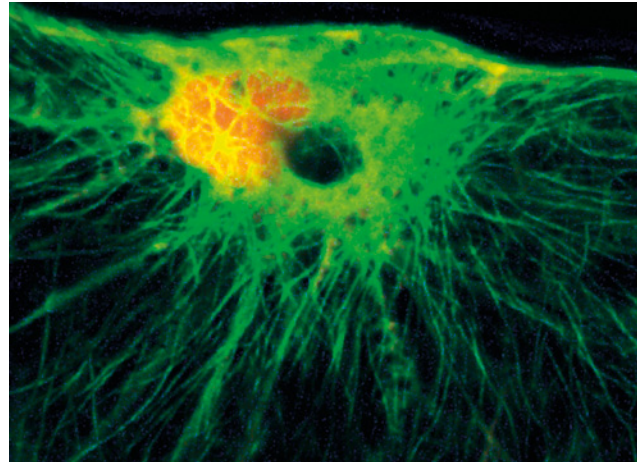


Foto: Caroline Hoeffle / TUM

Zytoskelett einer Gerstenzelle: In Rot sieht man den Zellkern nahe der Stelle, wo ein Mehltaupilz einzudringen versucht

RACB genannt, ist ein molekularer Schalter, der in Pflanzen bei von außen kommenden Signalen eine strukturelle und stoffwechselbezogene Antwort ihrer Zellen einleitet. Zum Beispiel ist es an der Oberflächenvergrößerung der Pflanzenzelle bei Wachstumsprozessen beteiligt. Das andere Protein, MAGAP1 genannt, fungiert als sein Gegenspieler und kann diese Aktivitäten der Zelle verhindern oder lokal begrenzen.


Die Forscher konnten beobachten, wie das RACB-Protein den Pilz beim Einwachsen in die Pflanze unterstützt. Die Grundfunktion des Proteins wird zum Einfallstor: Denn RACB fördert die Vergrößerung der Zelloberfläche beim Eindringen des Mehltaupilzes, sodass die Pflanzenzelle hierbei intakt bleibt und der Pilz weiter unterstützt wird. Fehlt das Protein, ist die Pflanze weniger anfällig gegen Echten Mehltau. Die Forscher vermuten, dass der Pilz quasi per Fernsteuerung schon von außen die Kontrolle über die pflanzeigene Signalkette übernimmt, um die Tür zu den Nährstoffquellen der Pflanze zu öffnen.

Die TUM Forscher konnten aber auch zeigen, dass die Gerste diesem Trick nicht wehrlos ausgeliefert ist – MAGAP1 kann die Attacke von außen wirksam verhindern. Bei einem Angriff wandert MAGAP1 an die Membran der Zelloberfläche, wo es den Anfälligkeitsfaktor RACB abschaltet. Das verhindert dann die Oberflächenvergrößerung der Zelle, die der Pilz benötigen würde, um einzudringen. So schlägt die widerstandsfähige Gerstenzelle dem Echten Mehltau also die Tür vor der Nase zu. □

Link

www.wzw.tum.de/pp



Porsche empfiehlt **Mobil** 

Mehr unter www.porsche.de oder Tel. 01805 356 - 911, Fax - 912 (Festnetzpreis 14 ct/min; Mobilfunkpreise max. 42 ct/min).

Mehr Ideen pro PS.

Der neue 911.



PORSCHE

Münchens nächste Topmodelle

Wenn ein Problem zu komplex, zu teuer oder zu gefährlich für die theoretische Analyse oder ein klassisches Experiment ist, helfen Computersimulationen. Von der Astrophysik bis zur Zellbiologie setzen sie Wissenschaftler aus vielen Gebieten ein. Mit ihren Simulationsmethoden gibt die Numerikerin Prof. Barbara Wohlmuth zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Disziplinen die Werkzeuge dazu – und eine gemeinsame Sprache. Ganz nebenbei fördert sie noch Frauen in der Mathematik

Link

www-m2.ma.tum.de

Welches Klima herrscht in 100 Jahren? Wie kann man Krebszellen gezielt durch Ultraschall verbrennen? Lassen sich giftige Gase für immer unterirdisch lagern? In Forschung und Entwicklung spielen nachgestellte oder vorausberechnete Prozesse aus dem Bereich der Natur-, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften eine immer größere Rolle. Vieles lässt sich heute am rechnergestützten Modell simulieren. Manches nur dort. Denn sein Wissensdrang lässt den Menschen immer häufiger an die Grenzen von Raum und Zeit stoßen: Vorgänge in der Astrophysik, etwa der Lebenszyklus einer Galaxie, dauern viel zu lange, als dass ein Astronom sie beobachten könnte. Andere Prozesse laufen derart schnell ab, dass sie mit Messtechnik nicht zu erfassen sind. Es gibt Experimente, die zwar machbar, aber wegen ihrer Begleiterscheinungen unerwünscht sind – Lawinenabgänge, Kernwaffentests oder medizinische Versuche an Menschen. In wieder anderen Fällen drängt sich eine Simulation besonders aus Kostengründen auf, zum Beispiel bei den Crashtests der Autoindustrie.

Ein Fach zwischen den Fächern

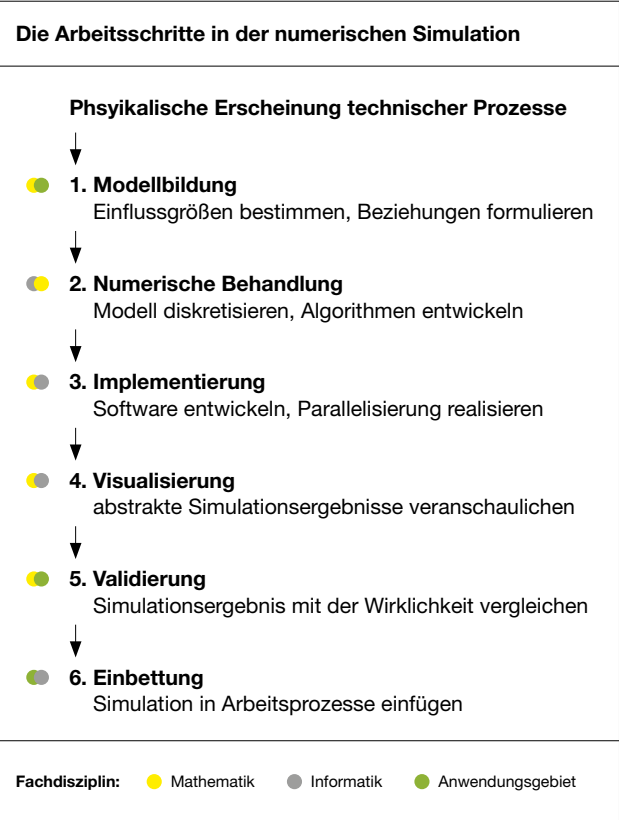
Den enormen Simulationsbedarf versuchen Mathematik und Informatik mit immer besseren Methoden zu bedienen. Dabei arbeiten die Akteure in offenen, kooperativen Netzwerken und brechen althergebrachte ▸



„Es ist spannend, interdisziplinär an einer gemeinsamen Sprache zu arbeiten“, sagt die Numerikerin Barbara Wohlmuth

Fächerstrukturen auf. „Die Weiterentwicklung von Simulationsmethoden sehe ich als eine integrierte Systemwissenschaft, die sich in Zukunft zu einer eigenständigen Disziplin entwickeln wird“, sagt Barbara Wohlmuth, Inhaberin des Lehrstuhls für Numerische Mathematik an der TU München (TUM). „Mit dem Hochleistungsrechnen wollen wir für unsere Kolleginnen und Kollegen passende Instrumente entwickeln.“ Der Wert dieser Dienstleistung wird deutlich, wenn man sich klarmacht, wie viel von der Schlüsseltechnologie der Computersimulation abhängt. Ein Satellit in der falschen Umlaufbahn oder die schwankende Londoner Millennium Bridge sind zwei Beispiele dafür, wie sich Fehler auswirken. „Mathematiker alleine können aber keine Garantien geben.

Unten: Die Abbildungen auf dieser und den Folgeseiten zeigen in einem Zeitraffer die plastische Verformung einer Kugel, die durch einen Zylinder geschoben wird

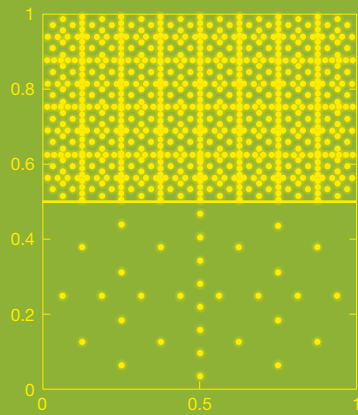


Man darf nicht vergessen, dass unsere Lösung immer nur eine Annäherung an die eigentliche Lösung des physikalischen Problems darstellt“, betont Wohlmuth. „Wie effizient Simulationsalgorithmen sind, hängt entscheidend davon ab, ob geeignete numerische Verfahren angewandt werden.“ Wer diese Disziplin voranbringen will, muss auf höchstem Niveau rechnen und programmieren. Hier sind nichtlineare gekoppelte Gleichungssysteme mit vielen Millionen Unbekannten keine Ausnahme. Die neuesten Supercomputer, die dabei eingesetzt werden, verfügen über Zehntausende von Prozessoren und schaffen mehrere Milliarden Rechenoperationen in der Sekunde (Petaflops).

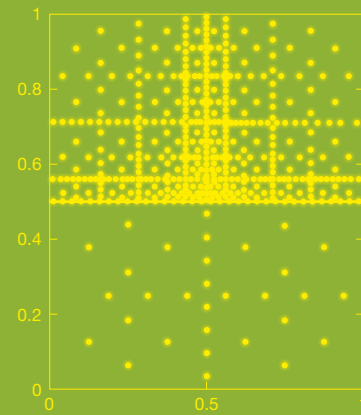
So läuft die numerische Simulation

Am Anfang jeder Simulation steht die Entwicklung eines geeigneten mathematischen Modells der zu simulierenden Abläufe. Als vereinfachtes Abbild der Realität soll es möglichst viele relevante Einflussgrößen und de- ▷

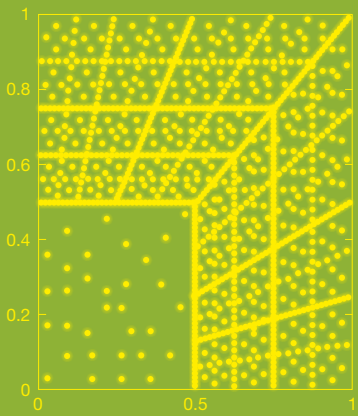




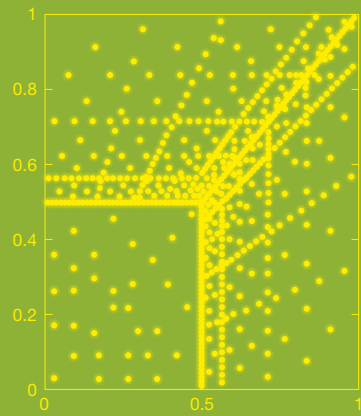
original grid, level 8



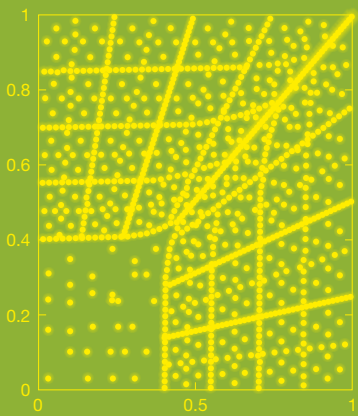
original grid, level 8



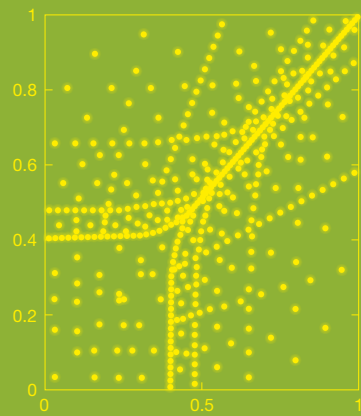
transformed grid 1, level 8



transformed grid 1, level 8



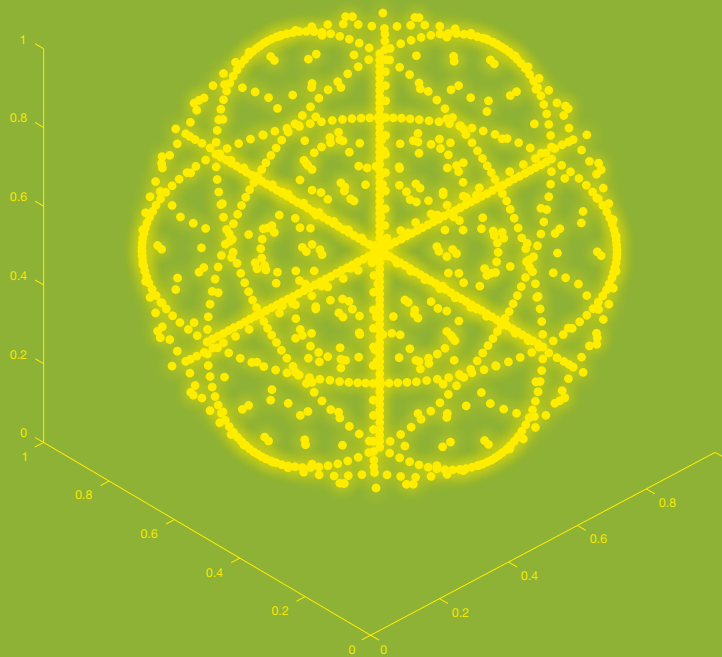
transformed grid 2, level 8



transformed grid 2, level 8

Grafik: edlundsepp nach TUM; Foto links: Heddergott, TUM; Darstellungen links: TUM

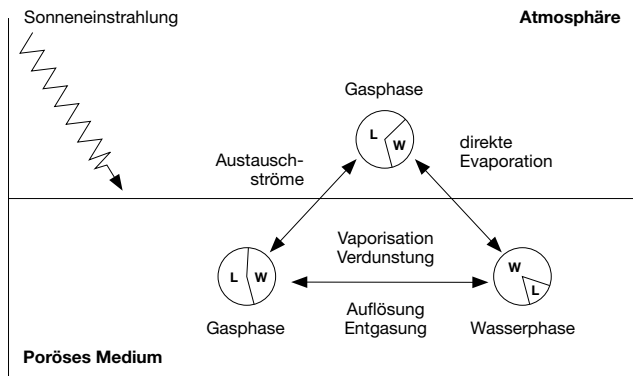
Mathematische Modelle komplexer Systeme sind häufig mit Unsicherheiten behaftet. Viele Berechnungsmethoden liefern probabilistische Aussagen, also statistische Werte, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ereignis eintritt. Oft interessieren sich Forscher aber für possibilistische Ergebnisse, also, ob ein Ereignis überhaupt eintreten kann. Dies ist entscheidend für Risikobewertungen. Jeder unsichere Parameter geht als freie Variable in das Problem ein, was die Komplexität oft exponentiell erhöht. Die Abbildungen visualisieren adaptive erhaltene Simulationsergebnisse aus ganz unterschiedlichen Anwendungsgebieten. Die Wissenschaftler können anhand dieser Methodiken effizient eine Sensitivitätsanalyse des Systems durchführen



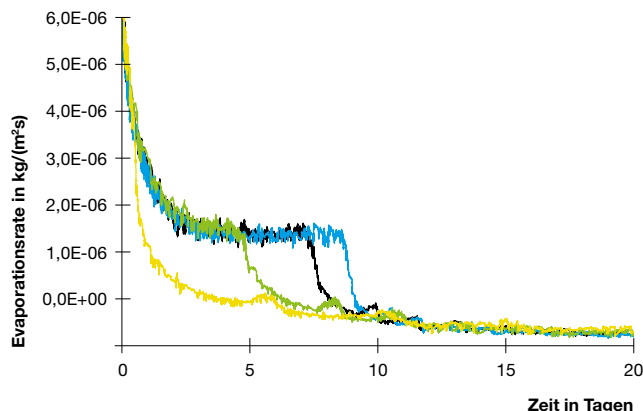
Dem Fluch der Dimension, der bei hochdimensionalen Fragestellungen zu einem exponentiell wachsenden Anstieg im Aufwand führt, begegnen die Mathematiker mit dünnen Gittern (sparse grids). Dabei wird die Problemstellung nicht auf einem vollen Tensorproduktgitter approximiert, sondern auf geeignet ausgedünnten Gittern

Glossar	
<p>Finite-Elemente-Methode (FEM): Ein numerisches Verfahren zur Lösung partieller Differenzialgleichungen. Es liefert eine Näherungsfunktion an die exakte Lösung der Gleichungen. Die FEM wurde in den Ingenieurwissenschaften entwickelt und ist heute das Standardwerkzeug in der Festkörpersimulation. Die Numerik hat substantiell dazu beigetragen, diese Methode zu analysieren und Probleme wie zum Beispiel das der instabilen Elemente in der Strömungssimulation besser in den Griff zu bekommen.</p>	<p>Mathematische Modellbildung: Ein mathematisches Modell verwendet die mathematische Sprache zur Beschreibung eines Systems, zum Beispiel aus der Physik, der Biologie oder den Sozialwissenschaften. Durch Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Beobachtungen kann die Effizienz eines Modells verifiziert werden.</p>
<p>Höchstleistungsrechnen: Die stetige Verbesserung von Hard- und Software steigert Präzision, Visualisierungsqualität und Geschwindigkeit. Damit liefern numerische Simulationen immer schneller und realitätsnaher die von Wissenschaft und Wirtschaft etwa in den Bereichen Klimaschutz, Energie, Gesundheit und Produktentwicklung benötigten Modelle.</p>	<p>Numerische Mathematik (Numerik): Die Numerik beschäftigt sich mit der Konstruktion und Analyse von Algorithmen für kontinuierliche mathematische Probleme. Hauptanwendung ist dabei die Berechnung von Lösungen mithilfe von Computern.</p>
<p>Iteration: Eine Methode der Mathematik, sich der exakten Lösung eines Rechenproblems schrittweise anzunähern (sukzessive Approximation). Sie besteht in der wiederholten Anwendung desselben Rechenverfahrens. Meistens iteriert man mit Rückkopplung: Die Ergebnisse eines Iterationsschrittes werden als Ausgangswerte des jeweils nächsten Schrittes genommen – bis das Ergebnis (beziehungsweise Veränderung einer Bestandsgröße) zufriedenstellt. Es muss anschließend noch bewiesen werden, dass die Iterationsfolge konvergiert und dass der Grenzwert mit der gesuchten Lösung übereinstimmt. Die Geschwindigkeit der Konvergenz ist ein Maß dafür, wie brauchbar die Iterationsmethode ist.</p>	<p>Wissenschaftliches Rechnen: Eine interdisziplinäre Forschungsdisziplin, die zwischen der Numerischen Mathematik, der Informatik und dem wissenschaftlichen Fach, aus dem das zu betrachtende Modell kommt, angesiedelt ist. Modellierungsverfahren und Simulationsmethoden entwickeln sich neben der klassischen Theoriebildung und dem Experiment immer stärker zum entscheidenden Faktor für eine international wettbewerbsfähige Forschung in Wissenschaft und Wirtschaft. Man setzt sie vor allem dort ein, wo reale Experimente nicht möglich, zu zeitaufwendig oder zu teuer sind.</p>

Grafik: edlundsepp nach TUM; Darstellungen unten rechts: TUM
 Grafiken oben rechts: edlundsepp nach TUM



W Wasser L Luft



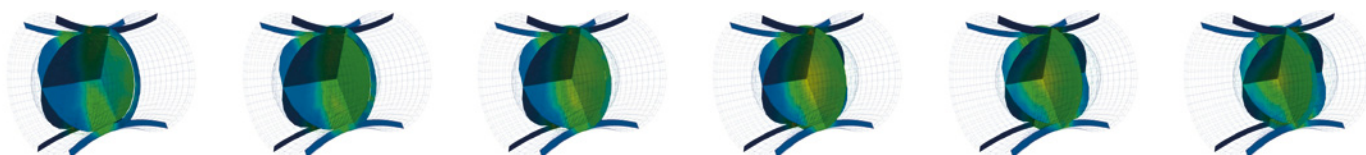
Vorhersagen über die Verdunstung (Evaporation) und daraus resultierende Austrocknung gehören zu den großen Herausforderungen der numerischen Simulation. Die Wissenschaftler berechnen, wie komplexe Interaktionen zwischen Erdboden (poröses Medium) und Atmosphäre unter dem Einfluss von Variablen wie Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Wind, Temperatur oder Bodenbeschaffenheit ablaufen

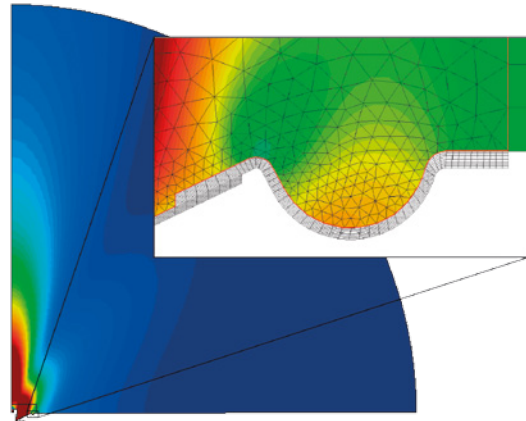
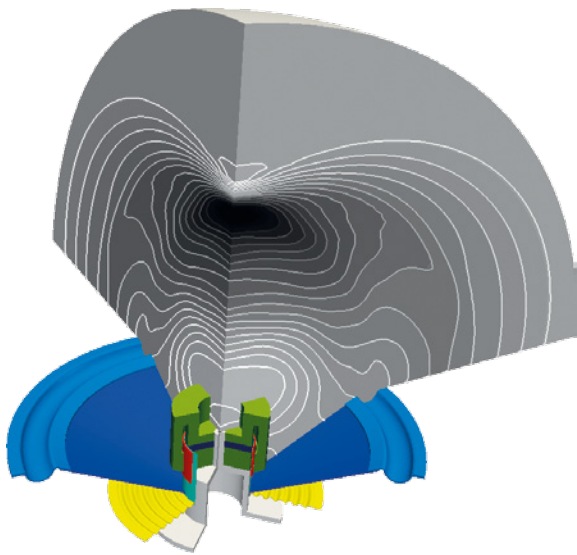
ren Beziehungsgeflecht erfassen, konsistent formuliert und eindeutig lösbar sein. Solche Modelle bestehen zu meist aus Systemen gekoppelter Differenzialgleichungen. Computer können nur mit endlich vielen diskreten Zahlen (den sogenannten Gleitpunktzahlen) arbeiten. Deshalb müssen die einzelnen Terme der Modellgleichungen – bei Problemen mit räumlicher Auflösung auch das zu betrachtende Simulationsgebiet – zuerst diskretisiert, in für den Rechner geeignete algebraische Gleichungssysteme überführt werden, die numerisch, also zahlenmäßig, lösbar sind. Es folgen die Konstruktion geeigneter Algorithmen und Datenstrukturen sowie die Frage der parallelen Bearbeitung. Simulationsrechnungen brauchen viel Speicherplatz und Rechenzeit. Sie können deshalb oft nur auf Supercomputern laufen. Die immensen Datenmengen und Einzelergebnisse, die diese produzieren, müssen mit Grafiken und Animationen veranschaulicht werden. Oft sind es gerade die lokalen Details, die interessieren: An welcher Stelle des

luftumströmten Pkw entstehen welche Verwirbelungen? Experten aus der jeweiligen Anwendungsdisziplin, in diesem Fall aus der Fahrzeugtechnik, müssen die Ergebnisse anhand von Erfahrungswerten überprüfen. Erst wenn die gewünschte Zuverlässigkeit der Computersimulationen erreicht ist, können die Modelle sinnvoll eingesetzt werden. In der Autoindustrie passiert das schon recht häufig. Die numerische Simulation ist hier inzwischen in den gesamten Produktentwicklungsprozess integriert, die Simulationssoftware direkt an die Entwicklungssysteme von Fahrzeugdesignern oder an die Steuerprogramme der Fertigung angebunden.

Alles im Fluss

Ein breites Spektrum von Anwendungen hat sich auch die wissenschaftliche Berechnung von Evaporationsprozessen in der Industrie, Umwelttechnik und Medizin erschlossen. Auf diesem Gebiet leistet der Lehrstuhl für Numerische Mathematik an der TUM ebenfalls ▷





Darstellungen: TUM

Praktische Anwendungen und Produktoptimierungen sind oft Fragestellungen der Numerik. Zum Beispiel die Auslegung und Geometrie eines Lautsprechers. Der Aufbau eines Lautsprechers bestimmt maßgeblich, wie sich die Schallwellen, in der linken Grafik grau dargestellt, ausbreiten. Die Wissenschaftler beziehen in ihre Berechnungen die Bauteile des Lautsprechers ein, wie z. B. die Membran (blau). Zur Berechnung der Schallausbreitung benutzen sie Diskretisierungen basierend auf unterschiedlichen Gitterweiten (rechts)

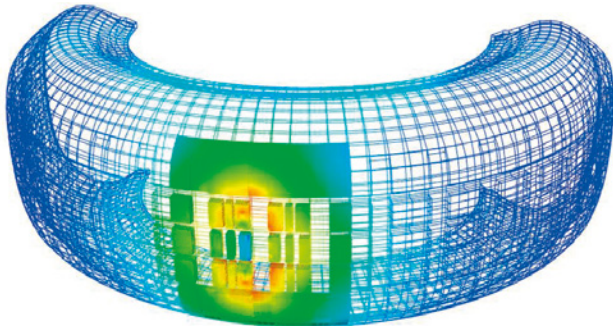
wichtige Beiträge. Ein wahrhaft globales Thema – Verdunstungsraten und -muster beeinflussen das Klima und damit die Lebens- und Arbeitsbedingungen auf der Erde. Es gehört zu den großen Herausforderungen der Numerik, Vorhersagen über die Verdunstung und daraus resultierende Austrocknungsraten zu ermöglichen. Hier nehmen komplexe Interaktionen zwischen einem porösen Medium, etwa dem Erdboden, und der Atmosphäre (freie Strömung) sowie weitere Rahmenbedingungen wie Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftbewegungen Einfluss auf die Prozesse und die zu ihrer Bestimmung notwendigen Gleichungssysteme.

Qualität ohne Quote

Eine Mathematikprofessorin? Für Barbara Wohlmuth ist das nichts Ungewöhnliches. „Unser Fach sollte nicht mehr als Männerdomäne bezeichnet werden“, sagt sie. Diese Zeiten sind vorbei. Aktuell studieren an

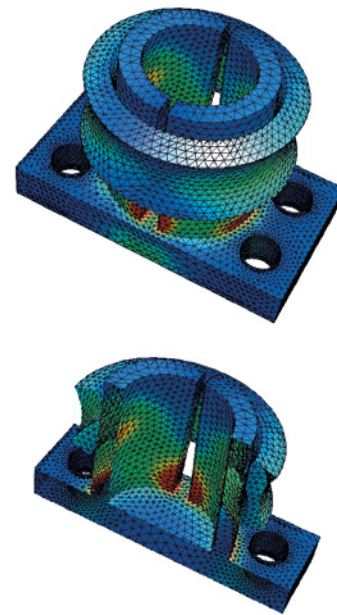
der TUM immerhin knapp 30 Prozent Frauen Mathematik. Wohlmuth möchte den Trend noch verstärken und wirbt für das Fach: „Mathe ist nicht nur etwas, das man fürs Lehramt studieren kann. Vielleicht bin ich hier ein Vorbild. Ich glaube, es kann Frauen motivieren, wenn vorn eine Professorin steht. Das war bei mir im Studium noch nicht so. Der hochschulpolitische Einfluss von Frauen wächst auch in unserer Disziplin. Es gibt mehr Professorinnen und wir sind öfter in wissenschaftlichen Beiräten und ähnlichen Gremien vertreten.“ Sie selbst war zum Beispiel Mitglied des Direktoriums des Exzellenzclusters SimTech der Uni Stuttgart und ist im Vorstand der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM). „Man kann an vielen Stellen kleine Zeichen setzen“, erklärt sie. „Als Feministin sehe ich mich aber nicht. Ich mache das nebenbei.“ Gemeinsam mit anderen Professorinnen macht Wohlmuth mit dem kürzlich erschienenen Buch „Facettenreiche Mathematik“ Schülerinnen Lust auf ihr Fach.





Reduktion ist notwendig, um die Zahl der Variablen beherrschbar zu machen. So bei der Berechnung von Reifengeometrien mit Mehrskalennethoden. Mathematiker betrachten das fein aufgelöste Reifenprofil lediglich im Bereich des Reifenkontaktes zur Straße

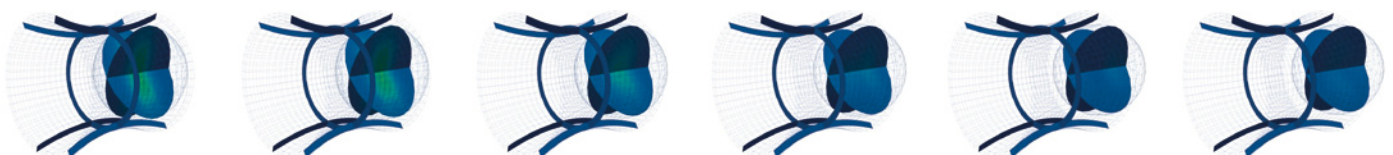
Wie sie zur Mathematik kam? „Meine erste große Liebe hat Physik studiert. Ich wollte etwas Ähnliches, aber doch Eigenständiges machen“, erzählt sie lachend. Die Beziehung hielt nur bis zum Vordiplom, die Liebe zur Mathematik aber wurde immer stärker. Nach dem Mathematik- und Physikstudium an der TUM promovierte Wohlmuth hier Mitte der 1990er mit einer Arbeit über adaptive Finite-Elemente-Methoden. Zur Habilitation ging sie nach Augsburg und New York. 2001 nahm sie den Ruf der Uni Stuttgart auf den Lehrstuhl für Numerische Mathematik für Höchstleistungsrechner an. Hauptarbeitsgebiet: numerische Simulation partieller Differentialgleichungen. Es folgten Gastprofessuren in Hongkong, Valenciennes und Pau. Seit Februar 2010 ist sie wieder an der TUM. „Die Struktur einer Technischen Universität, die den engen Kontakt zu den Anwendungsdisziplinen ermöglicht, bedeutet mir viel. Es ist spannend, an einer gemeinsamen Sprache zu arbeiten“, beschreibt die Professorin ihren Antrieb.



Wie eng darf eine Manschette sein, die über einen Zylinder geschoben wird, damit die Verformung den Zylinder nicht dauerhaft schädigt? Mit modernen Simulationstechniken zeigen Mathematiker die Stellen auf, wo die Kontaktkräfte besonders hoch sind

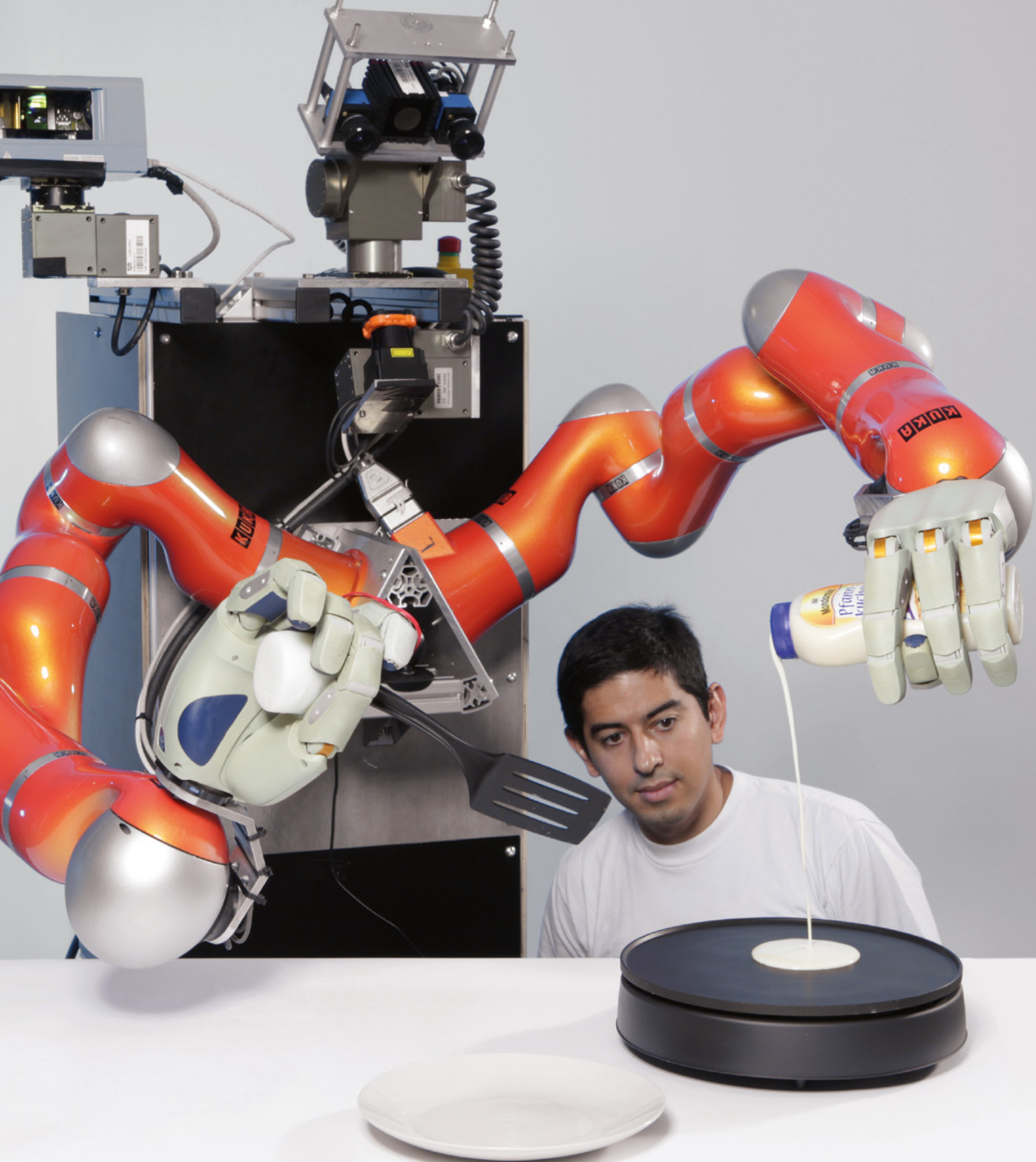
Neue Nachwuchs-Netzwerke

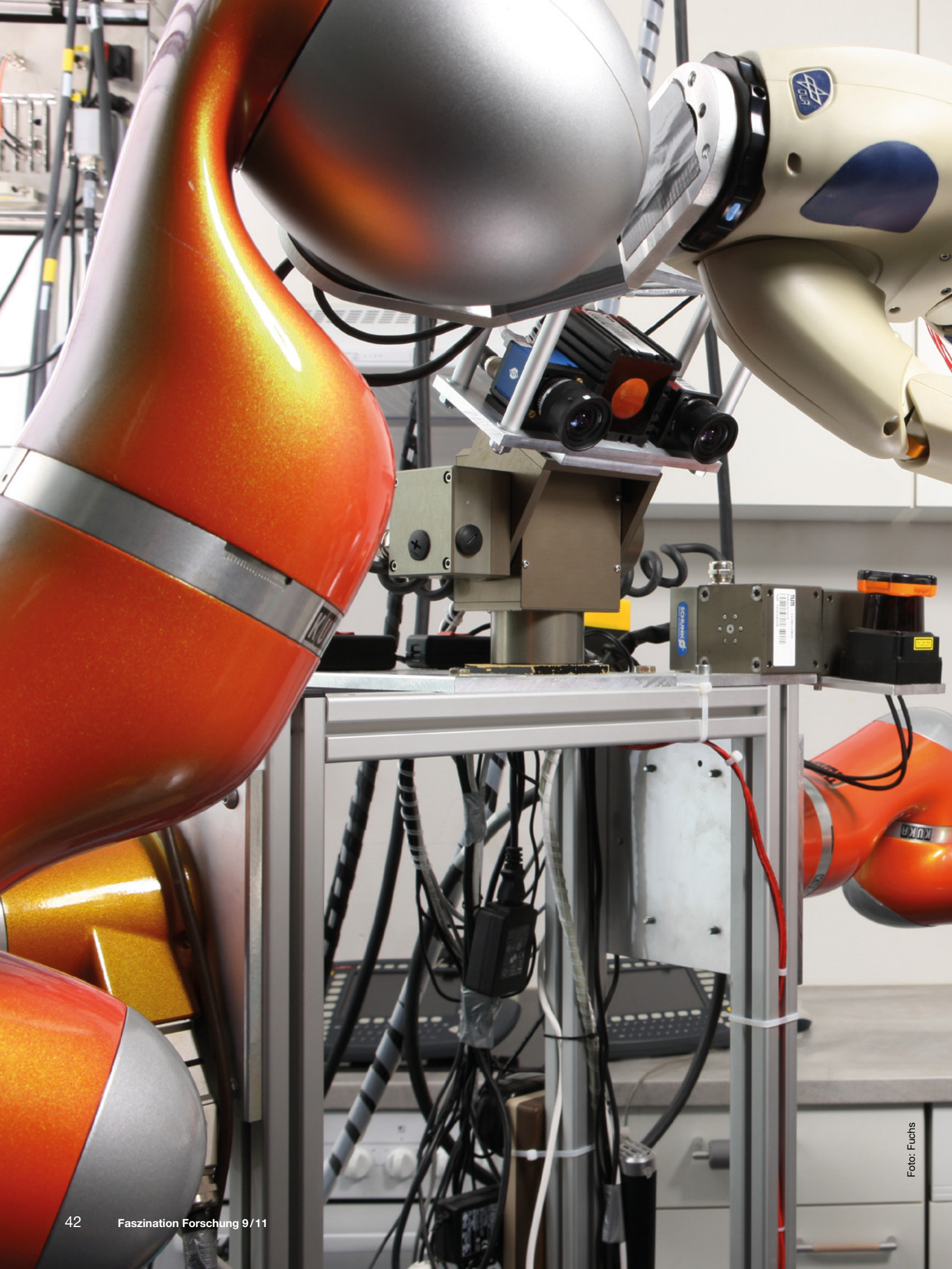
Die TUM International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) ist ein Beispiel für Interdisziplinarität bei der Förderung junger Wissenschaftler. Hier arbeiten gemischte Teams, etwa Mathematiker und Maschinenbauer, an einem Projekt. „Modellreduktion, Mehrskalennmodelle, Risikoabschätzungen – das sind zukunftssträchtige Themen, mit denen sich meine eigene Arbeitsgruppe weiter beschäftigen wird“, sagt Barbara Wohlmuth und nennt noch ein Beispiel für ein junges Netzwerk, das an der TUM entsteht: „Meine Kollegin Claudia Klüppelberg koordiniert einen Antrag für eine Graduiertenschule zu einem sehr spannenden, interdisziplinären Thema. RISE – kurz für ‚Risk and Security‘ – will neue Methoden der Risikoabschätzung entwickeln, indem es die Risiken unserer Zeit als techno-sozio-ökonomische Phänomene in einer hochvernetzten, komplexen Welt analysiert.“ Auch dieses Vorhaben verspricht, Topmodelle hervorzubringen. *Karsten Werth*



Ein Tag in der Roboter-WG

In der Industrie werden Roboter seit vielen Jahren eingesetzt. Hier erfüllen sie wiederkehrende spezifische Aufgaben in einer definierten Umgebung und können ihre Stärken wie Zuverlässigkeit, Robustheit und Kraft ausspielen. Im Alltag dagegen ist der Mensch dem Roboter meilenweit voraus, denn er kann auf einen riesigen, seit der Kindheit angesammelten Erfahrungs- und Wissensschatz zurückgreifen. Forscher im Exzellenzcluster CoTeSys wollen Roboter mit ähnlichem Wissen ausstatten und zu intelligenten, sozialen Alltagshelfern machen. In der Roboter-WG werden die Maschinen auf ihre Alltagsfähigkeit hin getrimmt – ein Einblick in Bildern





Rosie backt Pfannkuchen

Wenn *Rosie* Pfannkuchen backen soll, steht sie vor einer großen Herausforderung. Sie muss ein abstraktes Rezept in Roboterinstruktionen übersetzen, bevor sie loslegen kann. Die Anweisung „den Pfannkuchenteig in die Pfanne gießen und backen“ ist für einen Menschen ohne großes Nachdenken umzusetzen. *Rosie* muss dazu erst einmal wissen, dass der Teig in einem Gefäß ist, und sie muss dieses erkennen. Dann erst kann sie anfangen, den Pfannkuchen zu backen. Dazu verwendet *Rosie* übrigens Fertigteig. Ein Ei kann sie zwar schon greifen – ohne es dabei zu zerdrücken –, aber das Anrühren eines Teiges aus mehreren Zutaten muss der Roboter erst noch lernen.

[Rosie]
Alexis Maldonado





Foto: Eckert, TUM



[James] Nico Blodow

Hauswirtschaft mit *James*

Ein Einkauf mit *James* im Supermarkt wird eigentlich erst dann richtig interessant, wenn der Roboter mit einem vollen Einkaufskorb wieder in der Roboter-WG ankommt. Dann steht er vor der Frage: In welchen Schrank oder welches Fach gehören all diese Dinge. Besonders schwer wird das für *James*, wenn in seinem Korb Produkte liegen, die er noch nie zuvor hatte. Doch wir haben *James* beigebracht, Organisationsprinzipien zu lernen, sodass er alles richtig aufräumen kann und später auch wieder findet.

So kann er dann zum Beispiel auch den Tisch decken, wenn *Rosie* Pfannkuchen gebacken hat.

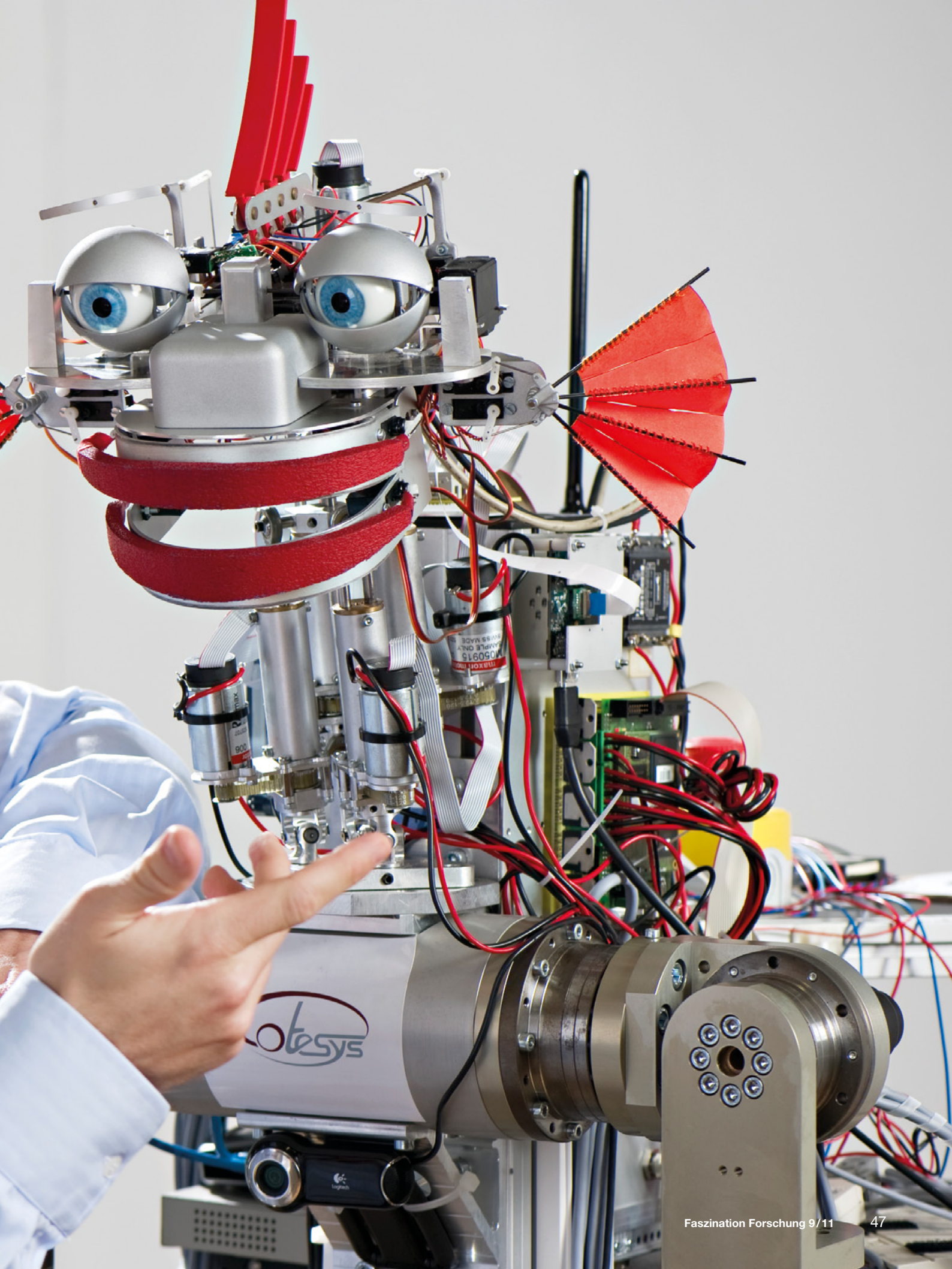


[Eddie] Dr. Kolja Kühnlenz

Eddie, der Einfühlsame

Wir wollen *Eddie* zu einem alltagsfähigen Roboter entwickeln, mit dem Menschen intuitiv kommunizieren können, ohne eine Bedienungsanleitung studieren zu müssen. Das ist wichtig, weil wir davon ausgehen, dass in Zukunft in vielen Haushalten Roboter helfende Dienste erweisen werden. Daher müssen die Menschen den Roboter akzeptieren und ihm auch Empathie entgegenbringen.

Wir haben *Eddie* nicht nur beigebracht, verschiedene Menschen zu erkennen, sondern auch den Gesichtsausdruck. Er kann die Mimik nachahmen: *Eddie* lächelt, wenn er angelächelt wird, er kann überrascht schauen oder traurig. Dazu haben wir ein mathematisches Modell sozialen Verhaltens hinterlegt, aufgrund dessen *Eddie* weiß, wie er reagieren soll. So kann er sich in die menschliche Umgebung integrieren.



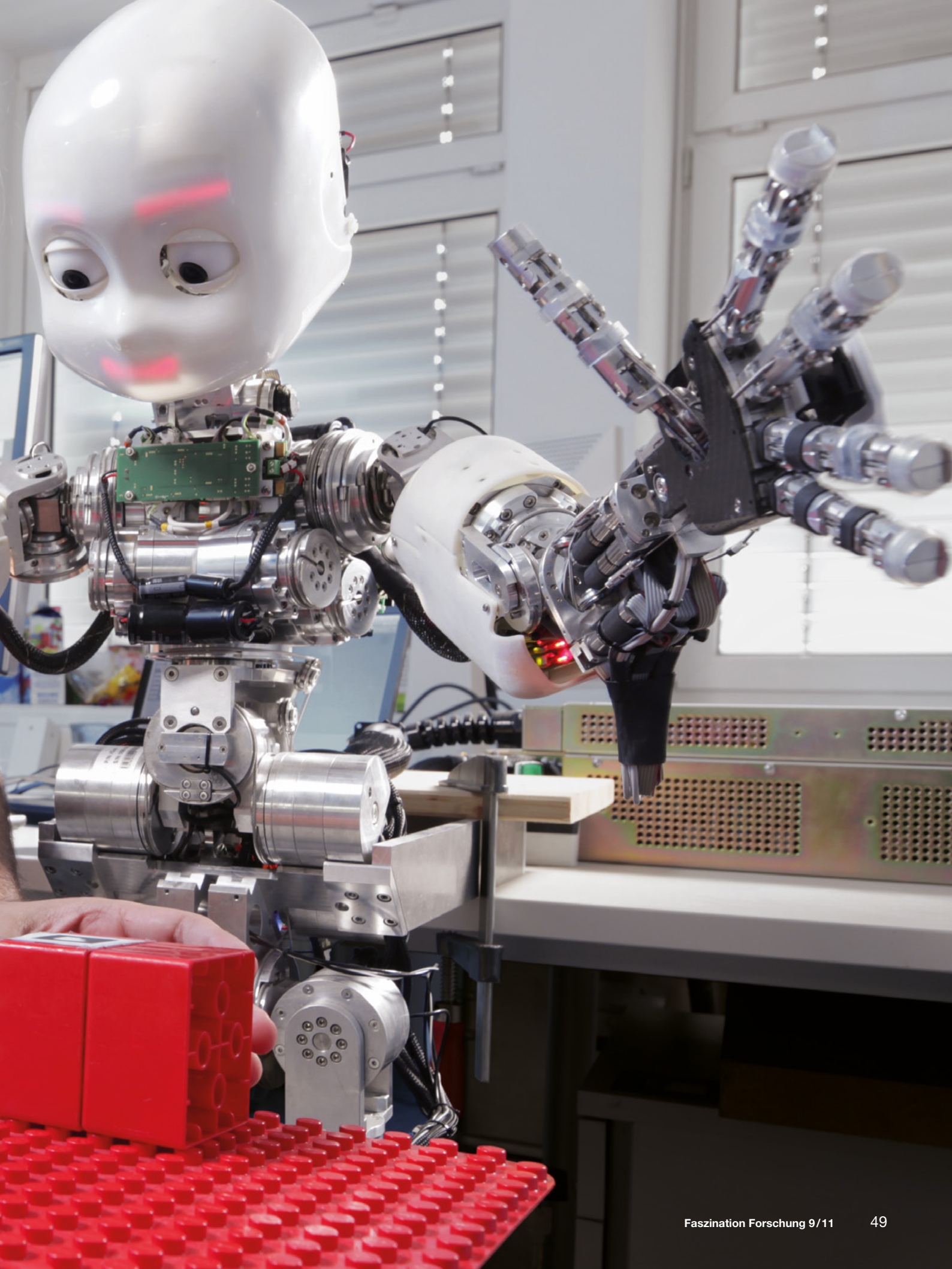
lotus

iCub lernt spielend

Menschen haben einen großen Erfahrungsschatz an Manipulationsaktionen: wir lernen schon als Kinder, wie wir einen Gegenstand anfassen und drehen müssen, um ihn in eine bestimmte Position zu bringen. *iCub* wurde nach dem Vorbild eines dreijährigen Kindes gestaltet (und programmiert) und lernt spielend – wie es Kinder auch tun. Zum Beispiel mit Legosteinen, die er aufeinander setzt und zusammenbaut. So entdeckt *iCub* nach und nach, wozu er fähig ist. Und so lernen die Wissenschaftler auch viel über den menschlichen Erkenntnisprozess, die Wahrnehmung und Entscheidungsfindung. Wissen, das wiederum dazu beitragen kann, intelligenterer Roboter zu entwickeln.

[*iCub*]
Frederico Ruiz



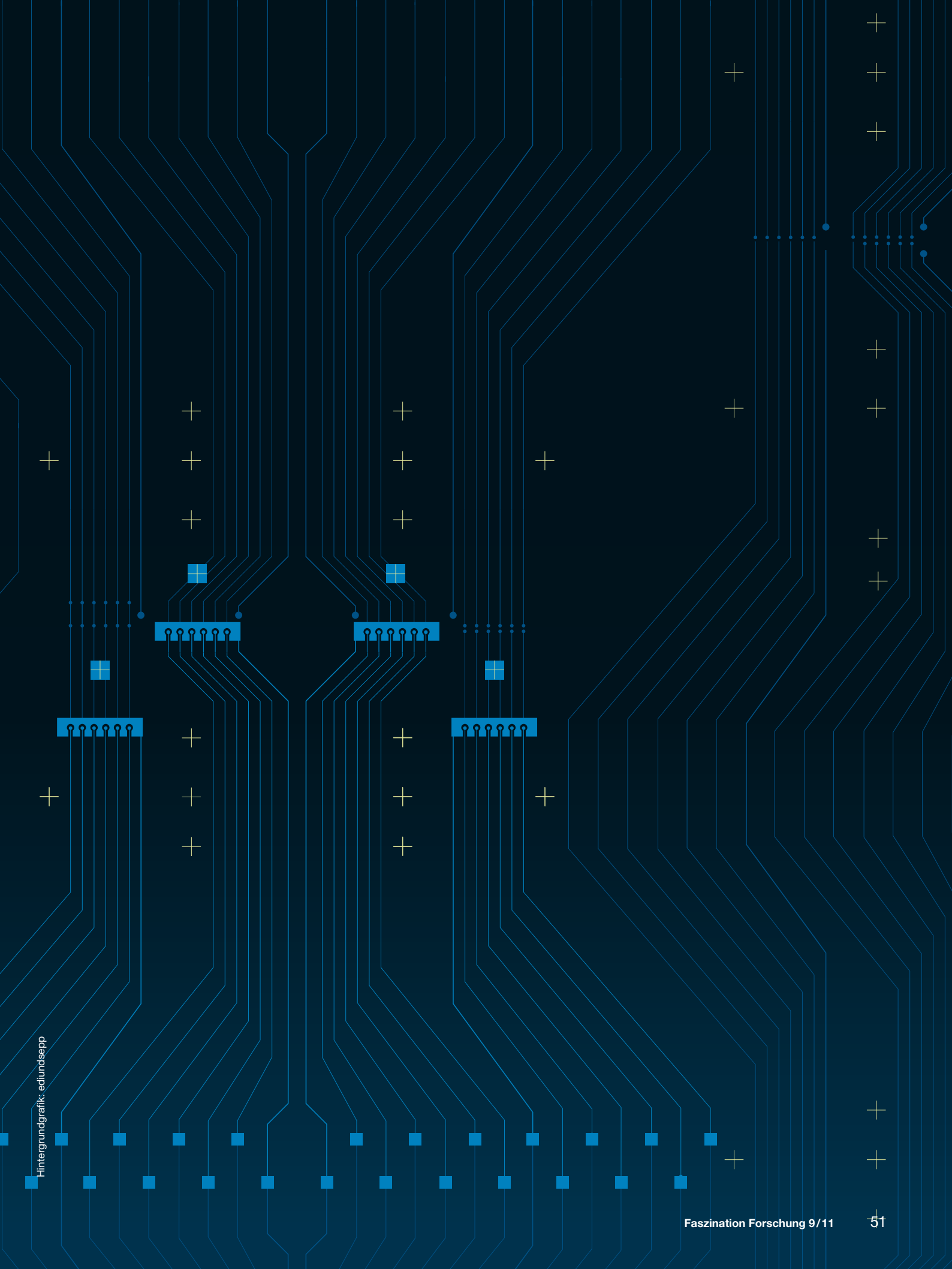


Die kleinsten Beziehungskisten der Welt

„Ein peinlich einfaches Prinzip“ nennt Dr. Ulrich Rant die Idee, mit der er und seine Mitarbeiter Biomoleküle detektieren und analysieren. Diese Idee dann aber in die Tat umzusetzen, dazu braucht man ein gutes Stück Genialität und noch viel mehr Hartnäckigkeit. So gelang es den Forschern schließlich, erstaunliche Instrumente zu entwickeln

Links

www.dynamic-biosensors.com
www.wsi.tum.de



Leichte elastische Stäbe schwingen schneller als schwere – das ist nicht gerade eine neue Erkenntnis. Dass man aber ein solches Prinzip vom Großen aufs ganz Kleine übertragen und für einen neuartigen Biochip nutzen kann, auf diese Idee muss man erst einmal kommen. Dr. Ulrich Rant und sein Team am Zentralinstitut für Halbleiterphysik und Nanowissenschaften (Walter Schottky Institut) der TU München haben sie konsequent weiterverfolgt und stehen nun kurz davor, ein derartiges System auf den Markt zu bringen. „Ich nenne das Grundprinzip immer ‚Ball auf einem Stecker!‘“, sagt der geborene Österreicher Rant und benutzt seine Dialektfärbung dazu, die Einfachheit der Vorrichtung zu betonen. „Wir nehmen ein Stückchen genetisches Material – also DNA – als elektrisch geladenen Stab, befestigen es auf einer Unterlage und sorgen dann mit einer Wechsellspannung dafür, dass dieser Stab wackelt. Wenn man nun an seinem oberen Ende

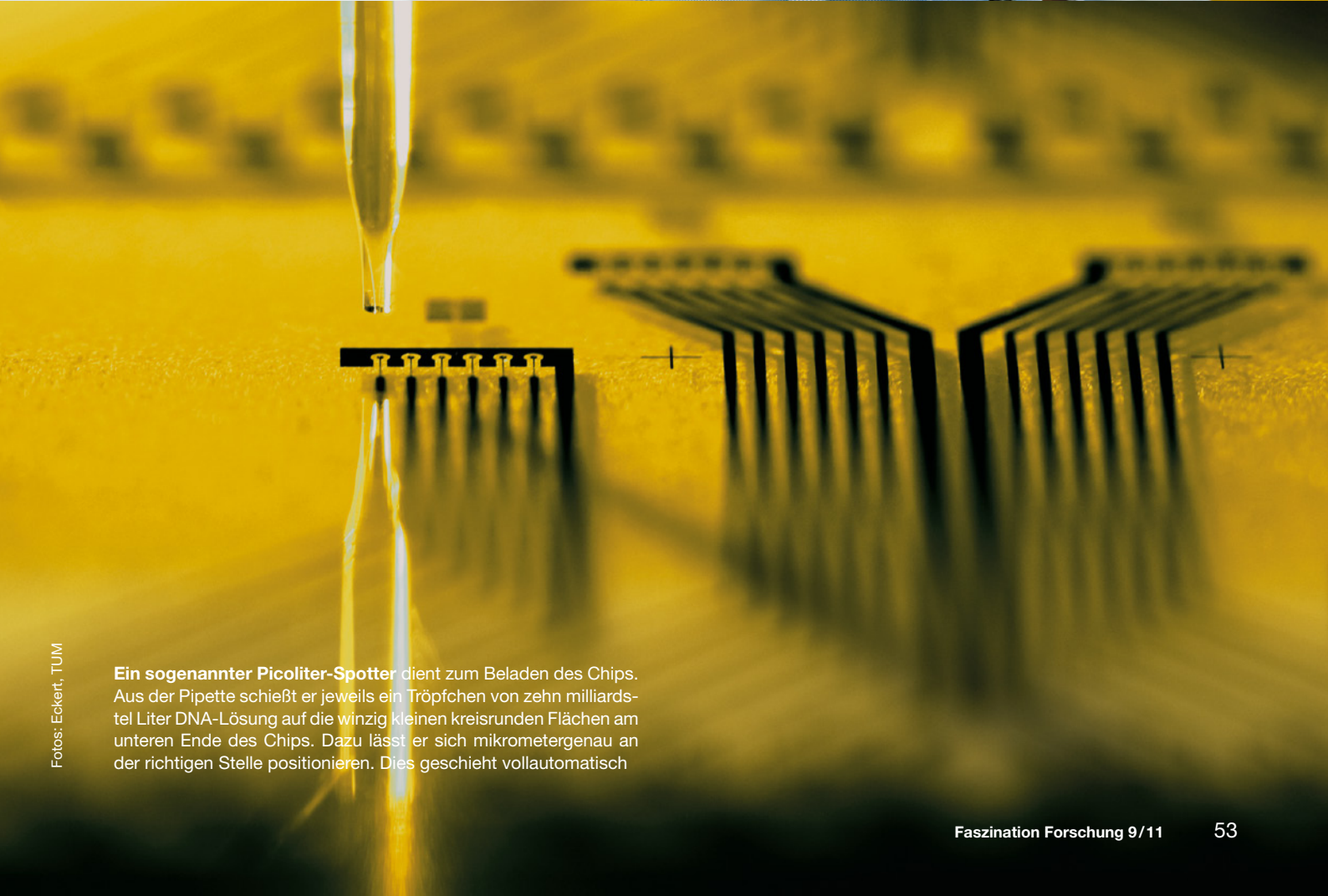
etwas anbringt, beeinflusst das seine Bewegung. Und das können wir messen.“ Das Ziel des Projekts am Lehrstuhl von Prof. Gerhard Abstreiter war zunächst, bestimmte Eiweißstoffe – sogenannte Proteine – oder pharmazeutische Wirkstoffe nachzuweisen. Wenn es gelingt, diese Moleküle an der Spitze der DNA-Stäbe zu befestigen, werden sie die Schwingung des Stabes schwerfälliger und damit langsamer machen. Tritt also dieser Effekt auf, stellt er einen Nachweismechanismus für die entsprechenden Substanzen dar. Und das, ohne dass man vorher die fraglichen Moleküle mit einem „Label“ versehen müsste, wie das meist für andere Nachweisverfahren nötig ist.

Wie befestigt man DNA auf einem Chip?

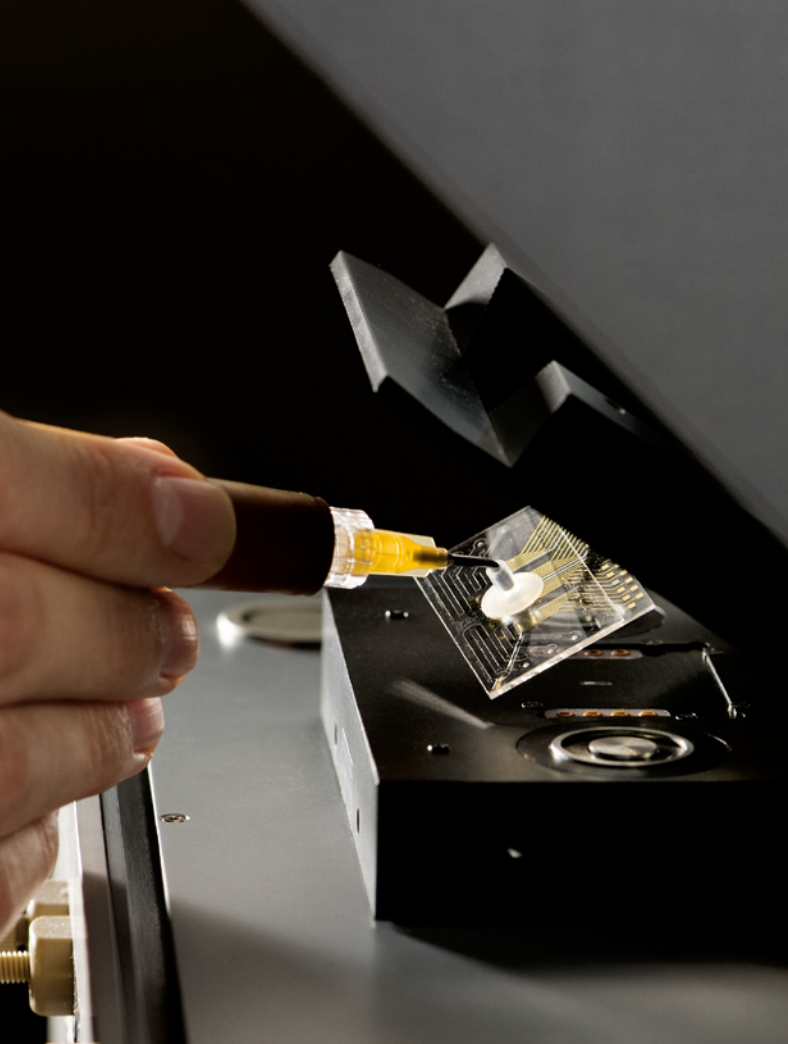
Das Ganze klingt simpel, ist aber in der Praxis mit einer Unzahl von Problemen verbunden. Zwar kann man die DNA-Schnipsel ganz nach Wunsch in der richtigen



In der Petrischale, die Ulrich Rant hier prüft, befindet sich ein Biochip (orangefarben). Die Flusskanäle erkennt man als helle Linien. Auf dem Deckel der Schale wurde die Belegung der Mikroelektroden mit DNA notiert



Ein sogenannter Picoliter-Spotter dient zum Beladen des Chips. Aus der Pipette schießt er jeweils ein Tröpfchen von zehn milliardenstel Liter DNA-Lösung auf die winzig kleinen kreisrunden Flächen am unteren Ende des Chips. Dazu lässt er sich mikrometerngenau an der richtigen Stelle positionieren. Dies geschieht vollautomatisch



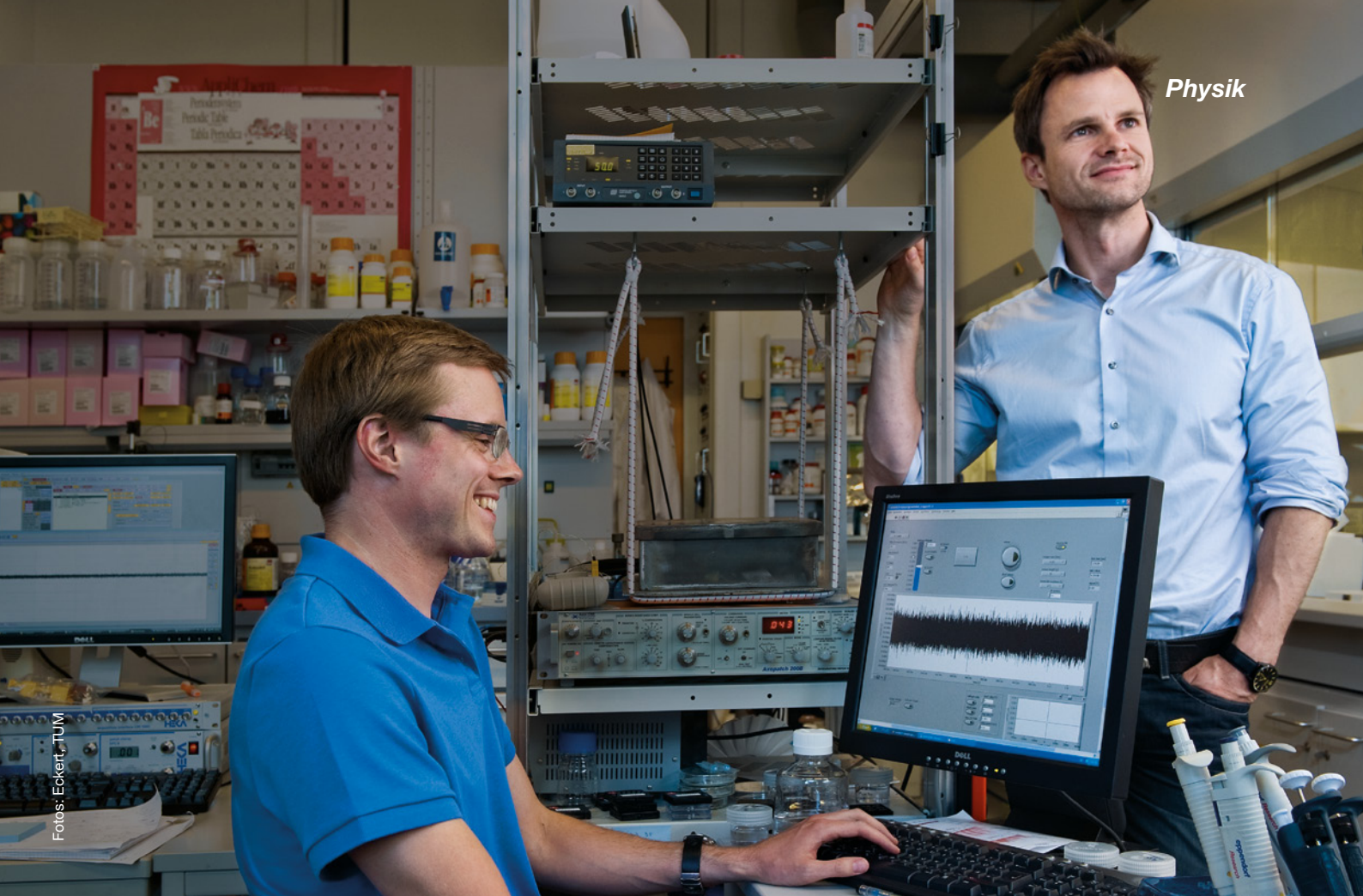
Mithilfe eines Saugers legt Ulrich Rant einen Biochip in den Prototyp des Auslesegeräts ein. Sobald die schwarze Klappe geschlossen wird, stellt das Gerät automatisch den elektrischen und den Flüssigkeitskontakt her, die Messung kann beginnen

Länge und Zusammensetzung bei einschlägigen Firmen kaufen, aber um sie auf einem Chip zu befestigen, muss man die Unterlage mit Gold beschichten und die DNA so verändern, dass sie darauf haften bleibt. Danach bringt man andere, kurze Moleküle auf der Oberfläche an, die sich wie ein Teppich zwischen der DNA ausbreiten. Sie tragen dazu bei, dass die DNA-Schnipsel nicht der Länge nach am Gold kleben bleiben, was sie sonst gerne tun.

Damit ist es aber noch nicht getan, denn wenn die Stäbchen zu eng stehen, können sie im elektrischen Wechselfeld nicht umfallen, sie behindern sich gegenseitig. „Wir mussten eine Methode finden, wie wir die DNA weit genug voneinander entfernt anbringen können“, sagt Ulrich Rant. „Da ein Schnipsel etwa 20 Nanometer lang ist, sollte er von seinen Nachbarn rund doppelt so weit entfernt stehen, damit alle umfallen können.“ Nach vielen Versuchen gelang es mit sanften Stromstößen,

die DNA-Stäbchen so auszudünnen, dass sie nicht mehr wie ein dichtes Fell auf dem Chip standen, sondern eher wie eine lichte Behaarung. Heute ist dieses Verfahren automatisiert; ein Gerät setzt die Stromstöße und testet, ob die Abstände groß genug sind. Am Ende verbleiben noch rund 10.000 DNA-Moleküle auf dem Chip.

Die DNA ist in wässriger Lösung stark negativ geladen, denn an ihrem Rückgrat sitzen an jedem Basenpaar zwei elektrisch geladene Elementarladungen. „Wir haben also geladene Stäbchen, die wir elektrisch beeinflussen können“, erklärt Rant. „Wenn wir eine Spannung anlegen, können wir die DNA schalten.“ Schalten bedeutet in diesem Fall, dass die Schnipsel aufrecht stehen, wenn die Goldoberfläche negativ geladen ist, und sich hinlegen, wenn sie positiv wird. Wie kann man dies nun von außen feststellen? Immerhin sind die beteiligten Komponenten in diesem Spiel so winzig, dass man sie

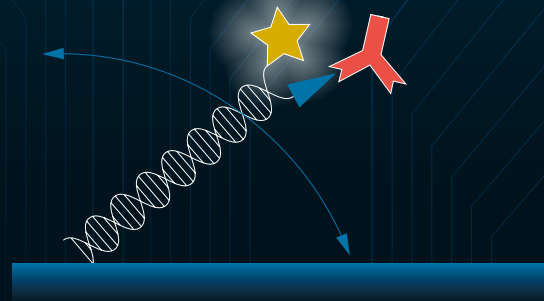


Fotos: Eckert, TUM

Matthias Firnkes analysiert das Stromrauschen, das durch Ionen, die durch eine Nanopore fließen, entsteht. Um störende Einflüsse auf den nur wenige Piko-Ampere starken Strom zu unterdrücken, hängt der Chip schwingungsgedämpft in einer Metallbox (Faraday-Käfig)

nicht einmal mehr unter den besten Mikroskopen klar erkennen kann. Rant und seine Mitarbeiter entschieden sich für ein raffiniertes optisches Verfahren. Schon früher war bekannt, dass bestimmte fluoreszierende Farbstoffe ihre Leuchtenergie über Resonanzeffekte an andere Moleküle abgeben können, ohne dass sich ihre chemische Struktur verändert. Dieser Hell-Dunkel-Effekt lässt sich auch beobachten, wenn sie ganz nahe an Metalloberflächen herankommen. Man nutzt dies in der Biophysik zur Messung sehr kleiner Abstände. Rant hatte die Idee, dass er das Phänomen dazu benutzen könnte, die Schwingungen der DNA-Stäbchen sichtbar zu machen. Er befestigt solche Farbstoffmoleküle an der Spitze der DNA und bestrahlt sie mit grünem Laserlicht, daraufhin beginnen sie gelb zu fluoreszieren. Nun verändert sich die Lichtintensität der Fluoreszenz mit der Bewegung der DNA: Stehen die Stäbchen gerade, ist die Lichtintensität am höchsten, sobald die Stäb-

chen sich neigen und damit der Goldoberfläche näher kommen, geht die Lichtintensität zurück. Liegen die DNA-Moleküle ganz flach, ist das Leuchten weg. Unter dem Mikroskop lässt sich das schwache Licht von den 10.000 Leuchtstoff-Molekülen beobachten, verstärken und messen. So weiß man nun, wie sich die winzigen Sonden verhalten. Rant erfand für diese elektrisch schaltbaren DNA-Oberflächen den griffigen Namen switchSENSE und meldete das Prinzip zum Patent an. Parallel zum Farbstoff kann man nun die unterschiedlichsten Dinge am oberen Ende der DNA-Schnipsel befestigen, beispielsweise Rezeptoren für bestimmte Proteine, Antikörper oder Pharmazeutika. Übergießt man nun den Biochip mit einer Flüssigkeit, in der diese Stoffe schwimmen, docken die entsprechenden Moleküle an die Rezeptoren an und machen das DNA-Stäbchen schwerer bzw. größer. Die Folge lässt sich sofort erkennen: Die Schwingungen im elektrischen Feld ▶



Das Grundprinzip: Am Ende eines DNA-Stücks befindet sich ein Leuchtstoff-Molekül. Es leuchtet heller, je weiter es von der Chipoberfläche entfernt ist. In einem elektrischen Wechselfeld schwingt die DNA. Hängt an ihrem Ende ein großes Molekül (rechts), wird sie abgebremst

werden langsamer, und damit auch das Flackern des Hell-Dunkel-Rhythmus.

Beziehungskisten auf Nanoebene

Inzwischen sind die Analysemethoden sogar so ausgefeilt, dass die Wissenschaftler Aussagen über die Natur der angedockten Moleküle machen können: Wie schwer sind beispielsweise Proteine, welche Gestalt und Größe haben sie? „Daran habe ich am meisten Feuer gefangen“, schwärmt Ulrich Rant. „Wenn wir eine negative Spannung anlegen, dann treibt das die DNA hoch, dabei muss man das Protein durch die Lösung schwenken. Dazu ist ein gewisser Widerstand zu überwinden, so als ob man etwas durch Honig hindurchzieht. Das verlangsamt die DNA-Bewegung. Das Tolle ist, dass man so nicht nur feststellt, da hängt etwas dran. Sondern wir können aus dem Maß, wie stark die Bewegung verlangsamt wird, Rückschlüsse auf die

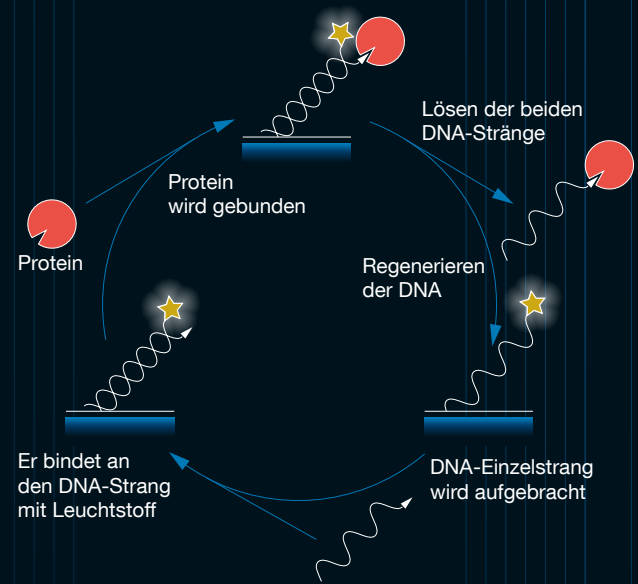
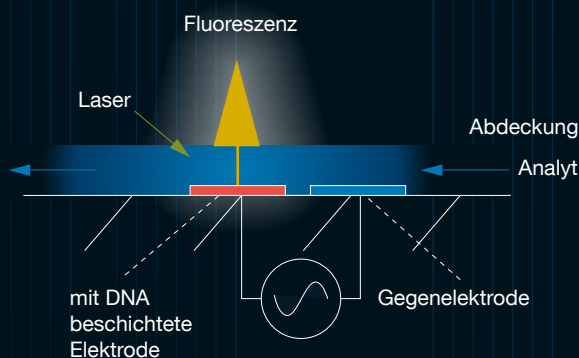
Beschaffenheit des Knubbels ziehen, der oben dranhängt. Das ist völlig neu und sehr spannend, denn bisher konnten Biosensoren nur eine Ja-nein-Aussage treffen. Wir hingegen untersuchen auch die Dynamik der Moleküle.“ In äußerst plastischer Weise schildert der 36-jährige Physiker, worum es dabei geht: „Wechselwirkungen zwischen Molekülen ähneln in vielerlei Weise romantischen Beziehungen. Die folgenden Fragen könnten in einem Klatschmagazin gestellt werden, ebenso aber auch während der Entwicklung eines neuen Wirkstoffes oder beim Erforschen der Signalwege in Zellen: Wie und wann treffen sich Partner? Wie lange bleiben sie zusammen? Wie beeinflusst das Aussehen der Partner ihre Anziehungskraft? Ist einer der Partner polygam und vielleicht schon in Beziehungen mit anderen verwickelt? In welcher Weise beeinträchtigt die neue Partnerschaft andere Bindungspartner?“ Normale Biosensoren liefern typischerweise Informationen

wie Bindungsraten oder Anziehungskräfte, aber das ist oft nicht genug, wenn man das Verhalten komplexer Biomoleküle verstehen will, wo die Form die Funktion definiert. switchSENSE soll diese Lücke schließen. Inzwischen nähert sich das Verfahren der Praxisreife. Unterstützt vom japanischen Unternehmen Fujitsu Laboratories Ltd., haben die Forscher ein ausgefeiltes Chip-Design entwickelt, mit dem man bis zu 24 verschiedene Substanzen gleichzeitig detektieren kann. Die immer wiederkehrenden Prozeduren wie Beladen oder Reinigen sowie die Auswertung der Ergebnisse erledigt ein Prototyp-Gerät vollautomatisch. Im Rahmen der Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung GO-Bio wollen Rant und sein Team die switchSENSE-Technologie bis zur Marktreife weiterentwickeln und für den Einsatz in der Antikörperforschung optimieren. Die Spin-off-Firma Dynamic Biosensors nutzt dazu ein breites Patentportfolio. Wichtige Anwendungsbereiche für die Methode finden sich in der medizinischen Diagnostik und der Arzneimittelentwicklung in der Pharmaindustrie. Später könnte das einfache und schnelle Analysegerät auch in Arztpraxen stehen und dort Infektionskrankheiten erkennen. Vor zehn Jahren kam Ulrich Rant aus Graz nach München zu Prof. Gerhard Abstreiter, um dort seine Doktorarbeit in Festkörperphysik zu machen. Geschult durch

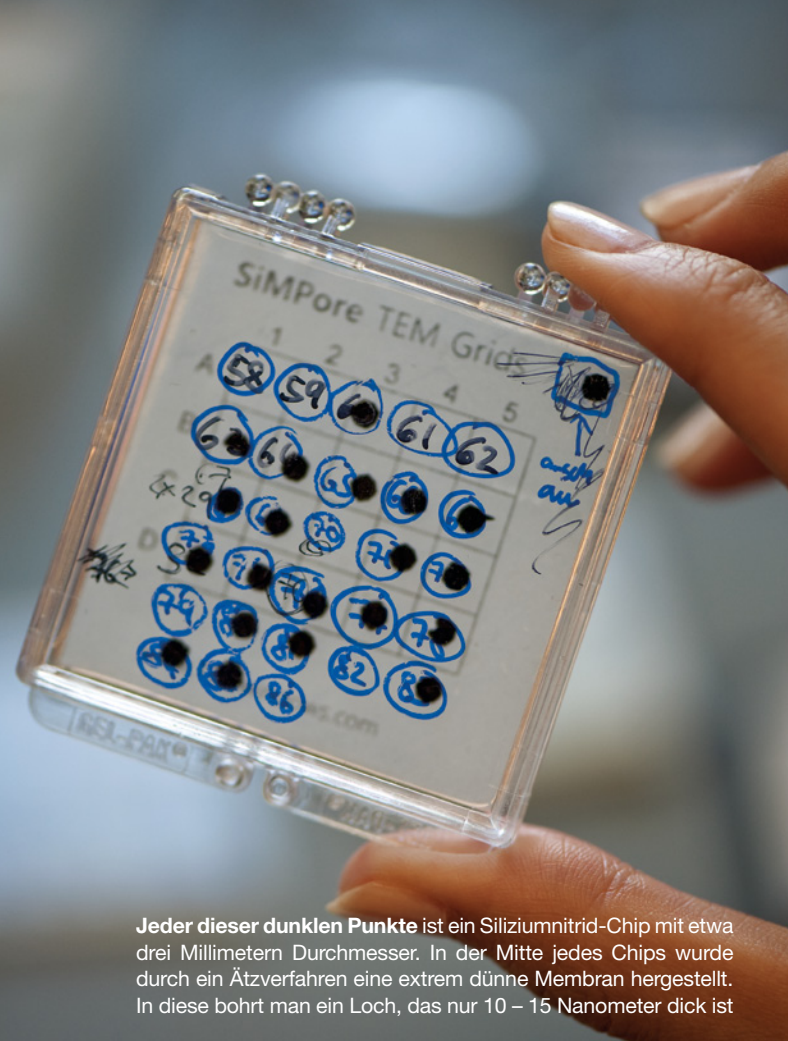
physikalische Vorstellungen, denkt er meist bildlich. „Biologen sind hingegen daran gewöhnt, dass ihre Systeme sehr komplex sind“, weiß er. „Ich als Physiker habe aber gern einen einfachen Baukasten.“ Da passt es, dass er und sein Team seit zwei Jahren neben den schaltbaren DNA-Chips noch an einem weiteren Projekt arbeiten, das ebenfalls recht einfach wirkt: an Nanoporen.

Wie man Poren intelligent machen kann

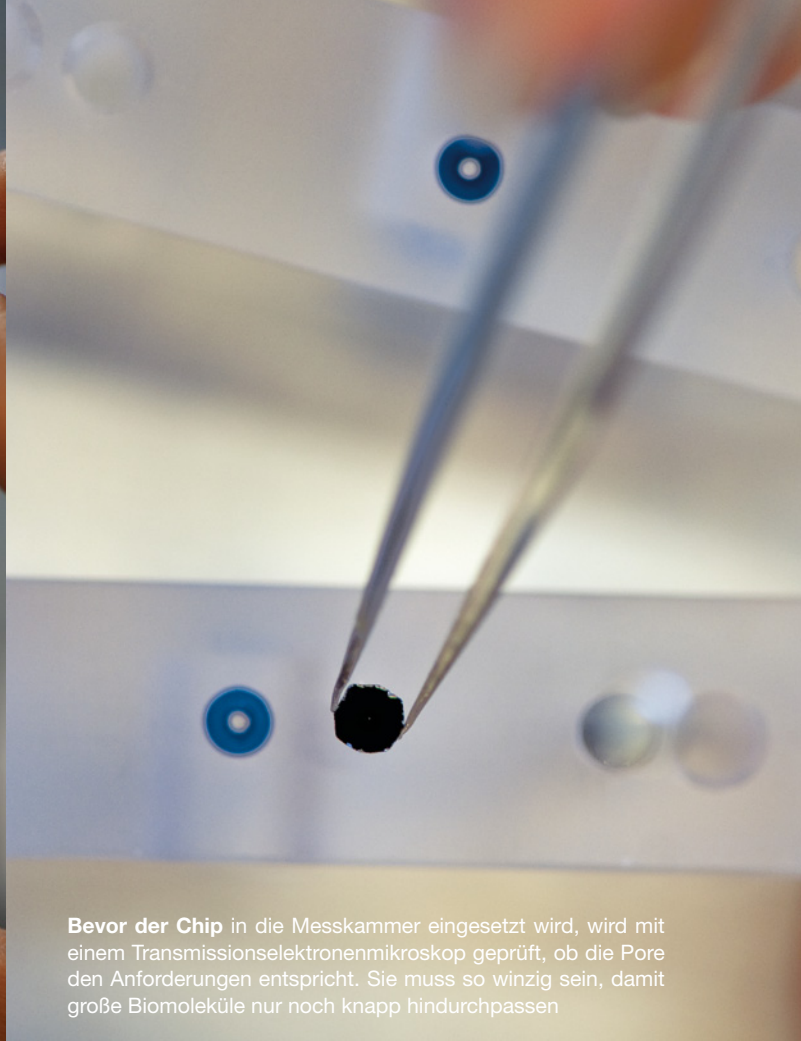
Wieder klingt alles fast primitiv: „Man benutzt ein Loch, um die Eigenschaften von den Objekten, die durch das Loch gehen, zu ermitteln“, erklärt Rant. „Das nennt man resistive pulse sensing.“ Das Prinzip wird bereits in der Medizin angewandt, um Blutkörperchen zu zählen: Eine Membran mit einem winzigen Loch trennt zwei Kammern, die mit Salzlösung gefüllt sind. Die Pore ist so klein, dass nur ein einzelnes Blutkörperchen hindurchpasst. Nun legt man zwischen den beiden Kammern eine elektrische Spannung an und misst den Strom, der aus den Ionen der Salzlösung besteht. Diese müssen durch die Pore fließen. Jedes Mal, wenn sich nun ein Blutkörperchen durch die Pore zwingt, steigt der elektrische Widerstand während dieser Zeit an, die Stromstärke fällt plötzlich ab. Über die Anzahl der Strompulse kann man die Blutkörperchen zählen. ▷



Wegen der Schwingung der DNA verändert sich das Leuchten im selben Rhythmus wie die elektrische Wechselspannung. In der Praxis erzeugt man das Leuchten durch einen fluoreszierenden Farbstoff, der mit einem grünen Laser angestrahlt wird (links). Der Kreislauf rechts zeigt, wie man den Chip mit einem Protein belädt und wieder reinigt



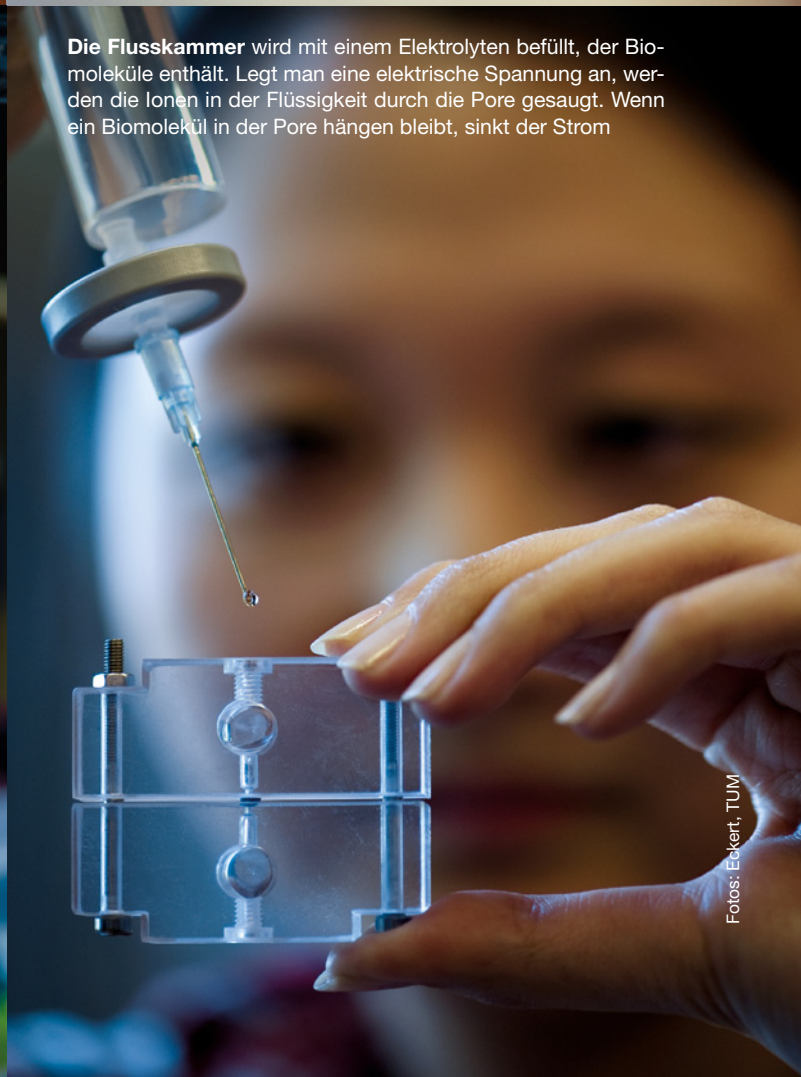
Jeder dieser dunklen Punkte ist ein Siliziumnitrid-Chip mit etwa drei Millimetern Durchmesser. In der Mitte jedes Chips wurde durch ein Ätzverfahren eine extrem dünne Membran hergestellt. In diese bohrt man ein Loch, das nur 10 – 15 Nanometer dick ist



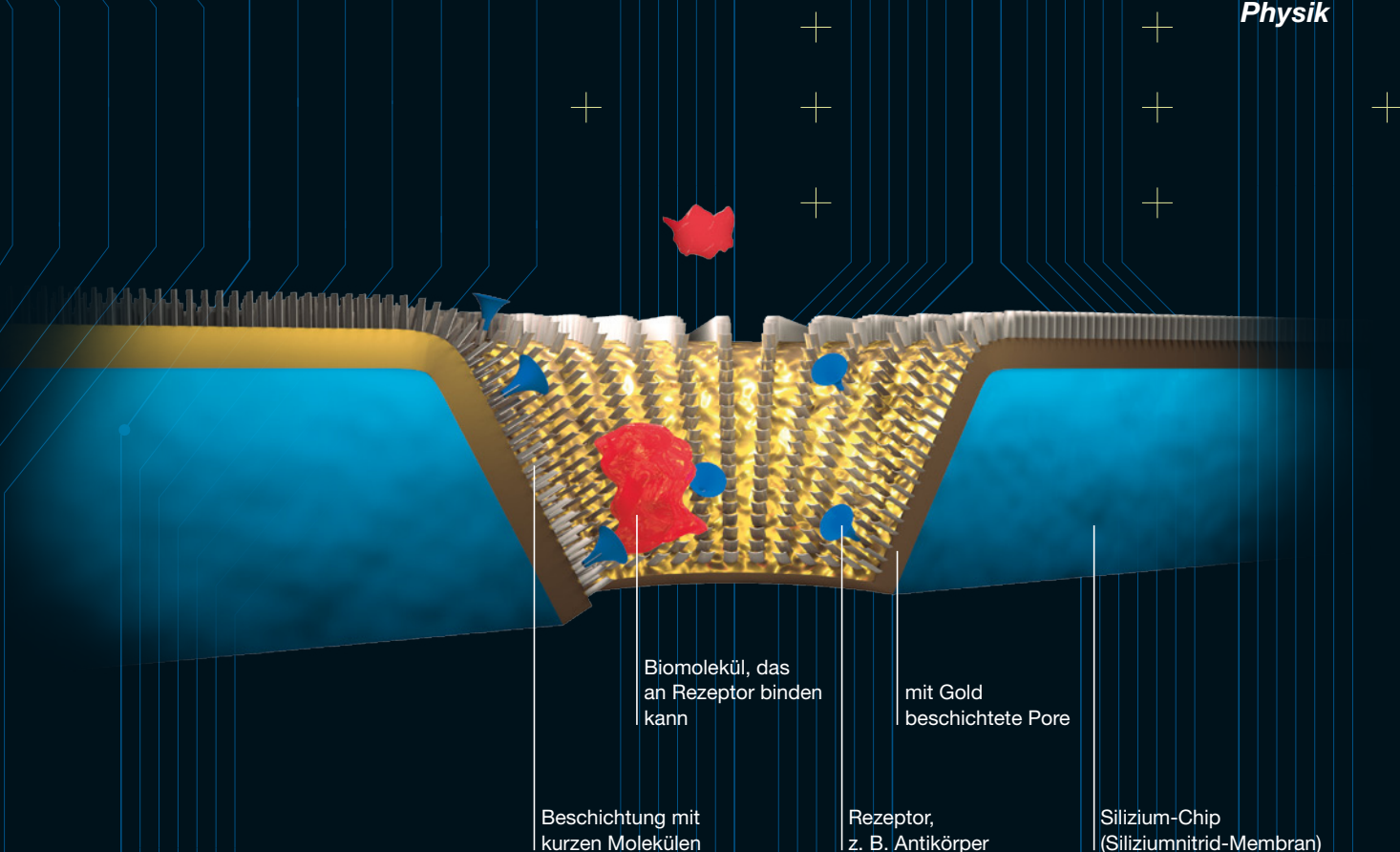
Bevor der Chip in die Messkammer eingesetzt wird, wird mit einem Transmissionselektronenmikroskop geprüft, ob die Pore den Anforderungen entspricht. Sie muss so winzig sein, damit große Biomoleküle nur noch knapp hindurchpassen



Hier legt die Doktorandin Ruoshan Wei einen Chip in eine sogenannte Flusskammer ein. Die Pore muss dabei über der Öffnung für die Flüssigkeit zu liegen kommen. Anschließend wird die Kammer mithilfe der beiden Schrauben fest verschlossen



Die Flusskammer wird mit einem Elektrolyten befüllt, der Bio-moleküle enthält. Legt man eine elektrische Spannung an, werden die Ionen in der Flüssigkeit durch die Pore gesaugt. Wenn ein Biomolekül in der Pore hängen bleibt, sinkt der Strom



Nur wenige Nanometer Durchmesser hat diese Pore. Sie ist mit kurzen Molekülen beschichtet, auf denen ein Rezeptor sitzt (blau). Er kann Moleküle (rot) einfangen und festhalten, die vorbeischwimmen. Der elektrische Ionenstrom, der durch die Pore fließt, wird dadurch abgeschwächt

Die Löcher, die Ulrich Rant und seine Mitarbeiter in hauchdünne Siliziumnitrid-Membranen ätzen, sind jedoch noch viel kleiner, sie haben einen Durchmesser von nur wenigen Nanometern. Dies gibt den Forschern die Möglichkeit, auch einzelne Moleküle zu zählen und sie sogar zu analysieren. „Bisher hat man solche Poren als passive Löcher benutzt“, sagt Rant, „damit konnte man die Größe und Ladung der durchschwimmenden Objekte abschätzen, aber kaum deren Struktur. Wir machen nun etwas Neues: Wir befestigen in der Pore eine biochemische Bindungsstelle. Wenn nun ein passendes Molekül durchschwimmt, kann es andocken, und wir können messen, wie lange es dort bleibt.“ Zu diesem Zweck muss man das Innere der Pore mit Gold beschichten, darauf kommen kurze Moleküle, die sich an das Gold anheften, und in diese Schicht bringen die Forscher dann die gewünschten Rezeptoren. Damit haben die TUM Wissenschaftler also eine Methode entwickelt, mit der sie messen können, wie stark

sich ein Biomolekül an etwas anderes bindet oder wie stark man daran ziehen muss, um es von dort wieder zu lösen. „Das ist praktisch eine Kraftmessung an einem einzelnen Molekül“, freut sich Ulrich Rant. „Und trotzdem ist der Messaufbau erstaunlich billig. Man braucht Flusskammern aus Plastik, man muss die Pore machen können, und man braucht noch einen Stromverstärker. Abgesehen von der Porenherstellung kostet ein Set-up für Einzelmolekül-Messungen vielleicht 15.000 Euro, das ist wenig im Vergleich zu anderen Experimenten.“ Ulrich Rant hat schon etliche Pläne, was er mit seinen Nanoporen alles machen kann, und hofft, dass sie bald als Standardinstrument Eingang in die Forschung finden, etwa bei der Suche nach pharmazeutischen Wirkstoffen oder zur Untersuchung von einzelnen Zellen. Eines ist jedenfalls schon heute klar: Die Poren können viele bisher unbekannte Beziehungskisten zwischen Biomolekülen aufklären.

Brigitte Röthlein

Den Traum mit beiden Händen greifen

Vor vier Jahren noch war Karl Merk ständig auf Hilfe angewiesen, musste morgens warten, dass ihn jemand anzog, am Tisch, dass ihm jemand das Essen in den Mund schob. Bei einem Arbeitsunfall hatte der Landwirt 2002 beide Arme verloren. Heute kann er selbstständig essen, er mäht Rasen und fährt Rad. Er ist der erste Mensch weltweit, dem zwei komplette Arme transplantiert wurden

Die Gesamtplanung für den überaus komplizierten Eingriff wurde langjährig erarbeitet an der Abteilung für Plastische Chirurgie (damaliger Vorstand Prof. Edgar Biemer) unter Mitwirkung von Privatdozent Dr. Christoph Höhnke und fortgeführt von der jetzigen Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie (Prof. Hans-Günther Machens). Das 40-köpfige Team operierte insgesamt 15 Stunden und betrat medizinisches Neuland. Der Patient selbst war es, der Kontakt zu Edgar Biemer aufnahm und um eine Transplantation bat. Nach zwei erfolglosen Versuchen mit künstlichen Prothesen wurde sein Wunsch nach Armen aus lebendem Gewebe immer größer, und schließlich wandte er sich an Biemer.

Langjährige Planung und Vorbereitung

So kam der damals 54-jährige Karl Merk mit einem Ärzteteam in Kontakt, das ideale Voraussetzungen für die nie zuvor auf der Welt durchgeführte Operation mitbringt: Neben einer jahrzehntelangen Tradition in Mikrochirurgie und Replantationschirurgie haben die Mitarbeiter des Klinikums auch langjährige Erfahrung in der interdisziplinären Operationsvorbereitung und -planung – unabdingbar für einen so komplexen Eingriff. Zudem verfügt das TUM Klinikum rechts der Isar über ein Zentrum für Leber-, Nieren- und Pankreastransplantationen mit umfassendem Know-how im Bereich der Immunsuppression.

Für beide Seiten – den Patienten wie die Ärzte – war der Eingriff ein Wagnis. Noch nie zuvor waren zwei komplette Arme transplantiert worden. Niemand hatte

Erfahrung damit, was passiert, wenn rund 20 Prozent der Hautoberfläche übertragen werden. Die Haut zählt zu den Organen, die besonders starke Abstoßungsreaktionen des Immunsystems hervorrufen können. Alle wussten, dass es nicht sicher ist, ob die Operation gelingt, ob der Körper die neuen Arme nicht abstößt und ob Karl Merk jemals wieder ein normales Leben mit zwei völlig funktionsfähigen Armen leben würde.

Zunächst war die physische und psychische Eignung des künftigen Patienten für den schwierigen Eingriff zu klären. Er musste, insbesondere wegen der nach der Transplantation notwendigen Unterdrückung der Immunabwehr, absolut gesund sein. Zudem versicherte man sich, dass Merk über eine stabile Persönlichkeit und ein stabiles soziales Umfeld verfügt. Den letzten Schritt der Vorbereitung stellte eine explorative Operation am Oberarmstumpf dar, bei der die Ärzte prüften, wo und wie sie bei der Transplantation die Nerven und Gefäße würden anschließen können. Dabei fanden sie, dass die Hauptvene an der linken Schulter verschlossen war; hier waren also mehrere Bypässe zu legen. Nun musste man nur noch auf einen geeigneten Spender warten – passend in Geschlecht, Alter, Hautfarbe, Größe und Blutgruppe und ohne Verletzung der oberen Extremitäten. Am 25. Juli 2008 gegen 22 Uhr war es so weit: Fünf Teams starteten gleichzeitig in zwei OP-Sälen – je eine Gruppe auf der linken und rechten Seite von Spender und Empfänger, ein weiteres Team entnahm dem Spender eine Beinvene. Muskelenden, Nerven und Gefäße wurden freigelegt und für den Anschluss vorberei- ▶



Beeindruckender Erfolg: Der rechte Arm direkt nach der Transplantation ist gut durchblutet bis in die Fingerspitzen. Noch wird der Arm an einem „Fixateur externe“ aufgehängt, damit keine Druckstellen entstehen



Höchste Konzentration musste das 40-köpfige OP-Team während der 15-stündigen Operation aufbringen. Mit der weltweit erstmaligen Transplantation von zwei kompletten Armen betreten die Mediziner Neuland



„Die geb ich nicht mehr her“, sagte Karl Merk schon kurz nach der Operation über seine neuen Arme. Heute kann er wieder ein (fast) normales Leben führen

Link

www.plastchir.med.tum.de

tet. Schließlich durchtrennten die Ärzte die Knochen des Spenders und entnahmen beide Arme exakt so, dass sie der ursprünglichen Armlänge von Karl Merk entsprachen. Nun verbanden sie die neuen Körperteile Schritt für Schritt mit dem Körper des Empfängers – zuerst die Knochen mittels einer Metallplatte, dann Arterien und Venen, um möglichst schnell die Durchblutung wiederherzustellen. Dafür hatten sie auf der linken Seite bereits drei Venenbypässe vorgelegt. Schließlich gaben sie zeitversetzt in einem Abstand von 20 Minuten den Blutfluss frei, um einen möglichen akuten Schaden durch das aus den Transplantaten zurückfließende Blut zu vermeiden. Die Arme nahmen schnell wieder ihre rosige Farbe an, ohne wesentliche Schwellung – ein Beleg für einen gut funktionierenden Blutfluss und eine nur kurze Zeit der Nicht-Durchblutung. Danach nähten die Operateure Muskel- und Sehnenstümpfe zusammen, verbanden alle Nerven miteinander und schlossen schließlich auch die Haut mit einer Naht. Zu guter Letzt wurde an beiden Armen ein gelenkübergreifender „Fixateur externe“ angebracht, der an Unter- und Oberarm befestigt ist. Damit können die Arme zur Vermeidung von Druckstellen aufgehängt werden. Nach 15 Stunden war die Operation erfolgreich beendet.

Traktor fahren und eigenständig essen

Nach langem Krankenhausaufenthalt, ständiger Physiotherapie, psychologischer Betreuung, dank der erfolgreichen Immuntherapie und seines starken Willens ist für Karl Merk der Traum von einem (fast) normalen

Leben in Erfüllung gegangen. Von Anfang an hat er die Arme als seine eigenen akzeptiert: „Die geb ich nicht mehr her“, sagte er schon kurz nach der Operation. Heute kann er Traktor fahren, alleine essen, Rasen mähen. Er hat die volle Sensibilität an beiden Armen bis in die Fingerspitzen. Kalt, warm, stumpf, spitz – Karl Merk empfindet alles. Die Kraftentfaltung in Ober- und Unterarm ist fast normal, nur die Fingerbeugung der rechten Hand ist noch eingeschränkt. Bis auf sehr feine Gegenstände kann er beidhändig alles greifen.

Der Weg zu diesem Erfolg war lang und hat dem Patienten viel Geduld abverlangt. Nerven wachsen nur rund einen Millimeter pro Tag. Nach der Operation fühlte Merk seine Arme gar nicht, dann war es ein leises Kribbeln. Bis die Nerven bis in die Fingerspitzen gewachsen waren, dauerte es entsprechend lang. Tägliche Physiotherapie war erforderlich, damit die Muskulatur nicht verkümmert. Ständige Übungen, um Körper und Gehirn an die neue Statik mit zwei Armen zu gewöhnen.

Hinzu kamen Abstoßungskrisen. Das konnten auch die Medikamente, die das Immunsystem herunterfahren, nicht verhindern. Das und auch eine Lungenentzündung hat Karl Merk gut überstanden. Unerschütterlich waren sein Wille und seine Kraft. Inzwischen läuft die immunsuppressive Therapie weiter – allerdings in schon reduziertem Umfang. Auch tägliche Physiotherapie und Krafttraining gehören nun zum Alltag von Karl Merk, der all das gerne in Kauf nimmt: „Ich würde es sofort wieder machen“, sagte er schon ein Jahr nach der erfolgreichen Operation.

Redaktion



THE LINDE GROUP

Linde

Innovation. Internationalität. Leistung.

Die Engineering Division der Linde Group ist Technologieführer im internationalen Anlagenbau und weltweit erfolgreich. Wir können bei der Planung, der Projektierung und dem Bau von schlüsselfertigen Industrieanlagen auf eigenes, umfassendes verfahrenstechnisches Know-how zurückgreifen und konzentrieren uns dabei auf besonders wachstumsstarke Marktsegmente: auf Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff und Synthesegas, Sauerstoff und Olefinen sowie zur Erdgasbehandlung.

Als Teil der Linde Group profitieren wir von der Finanzkraft und dem Kompetenztransfer eines weltweit führenden Gase- und Engineeringunternehmens, das mit annähernd 48.700 Mitarbeitern in mehr als 100 Ländern vertreten ist und im Geschäftsjahr 2010 einen Umsatz von 12,868 Mrd. Euro erzielt hat. Die Strategie der Linde Group ist auf ertragsorientiertes und nachhaltiges Wachstum ausgerichtet. Der gezielte Ausbau des internationalen Geschäfts mit zukunftsweisenden Produkten und Dienstleistungen steht dabei im Mittelpunkt.

Linde handelt verantwortlich gegenüber Aktionären, Geschäftspartnern, Mitarbeitern, der Gesellschaft und der Umwelt – weltweit, in jedem Geschäftsbereich, jeder Region und an jedem Standort. Linde entwickelt Technologien und Produkte, die Kundennutzen mit einem Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung verbinden.

Weitere Informationen finden Sie online unter www.linde-engineering.de oder www.linde.com.

Gestalten Sie die Zukunft unseres Unternehmens mit als

Entwicklungsingenieure (m/w)

für thermische Stoffaustauschapparate

und für Wärmeübertragung

Als Fachexperte für **thermische Stoffaustauschapparate** umfasst Ihr Aufgabenfeld die verfahrenstechnische Auslegung von Kolonnen und Phasentrennern sowie anderer Apparate für komplexe Aufgabenstellungen. Sie sind für die Entwicklung neuer und Verbesserung vorhandener Methoden für Stoffübergang, Phasentrennung und sonstiger 2-Phasen-Probleme sowie deren Implementierung in Softwareprogramme zuständig. Die Weiterentwicklung und Verbesserung von Kolonnen und Phasentrennern einschließlich Versuchsbetreuung und Troubleshooting gehören ebenso in Ihren Verantwortungsbereich wie die Durchführung von Betriebsmessungen und deren Auswertungen, Kundenpräsentationen und -beratungen.

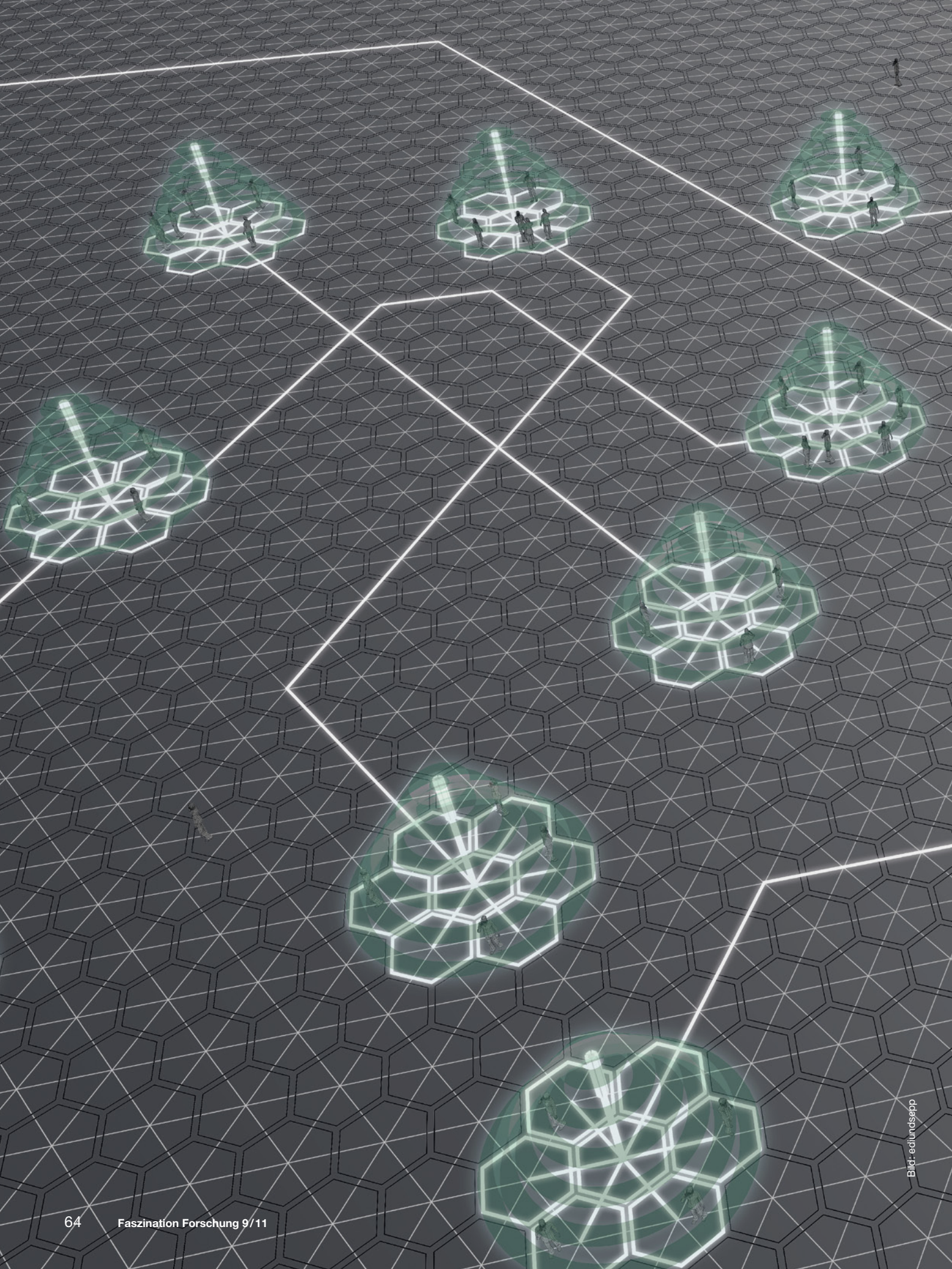
Als Fachexperte für den Bereich **Wärmeübertragung** arbeiten Sie in interdisziplinären Projektteams zur energetischen und wirtschaftlichen Optimierung von Wärmeübertragern für verschiedene Anlagentypen. Neben der Dimensionierung von Wärmeübertragern beinhaltet dies unter anderem die Methodenentwicklung im Bereich Wärmeübertragung, die Weiterentwicklung und Verbesserung der Apparate, die Durchführung und Auswertung von Betriebsmessungen sowie die Durchführung von Kundenpräsentationen und -beratungen.

Für beide Positionen benötigen Sie ein abgeschlossenes Studium der Verfahrenstechnik oder eines naturwissenschaftlichen Studiengangs bzw. eine einschlägige Dissertation und verfügen über Kenntnisse auf den Gebieten Thermo- und Fluidodynamik, 2-Phasen-Strömung bzw. Wärme- und Stoffübertragung. Gutes Englisch und die Bereitschaft zu Reisen setzen wir voraus.

Linde liegt verkehrsgünstig am südlichen Stadtrand Münchens. Neben guten Arbeitsbedingungen bieten wir Ihnen einen zukunftsorientierten Arbeitsplatz, attraktive fachliche und persönliche Entwicklungsmöglichkeiten sowie die sozialen Leistungen eines internationalen Großunternehmens.

Sind Sie interessiert? Dann bewerben Sie sich bitte per E-Mail (max. 3 Anhänge).

Wir möchten Sie darauf hinweisen, dass Ihre Bewerbungsunterlagen elektronisch bearbeitet und bis zum Abschluss des Bewerbungsverfahrens gespeichert werden. Sollten Sie damit nicht einverstanden sein, bitten wir Sie um schriftliche Mitteilung.



Datenhighway der Zukunft

Der Zugang zu Information über schnelle Internetverbindungen ist heute so wichtig wie ein Strom- und Wasseranschluss. Alle Menschen an die Datenautobahn anzubinden, ist ein großes Anliegen von Prof. Holger Boche. Der Spitzenforscher entwickelt an der TUM die theoretischen Grundlagen für den Mobilfunk der Zukunft

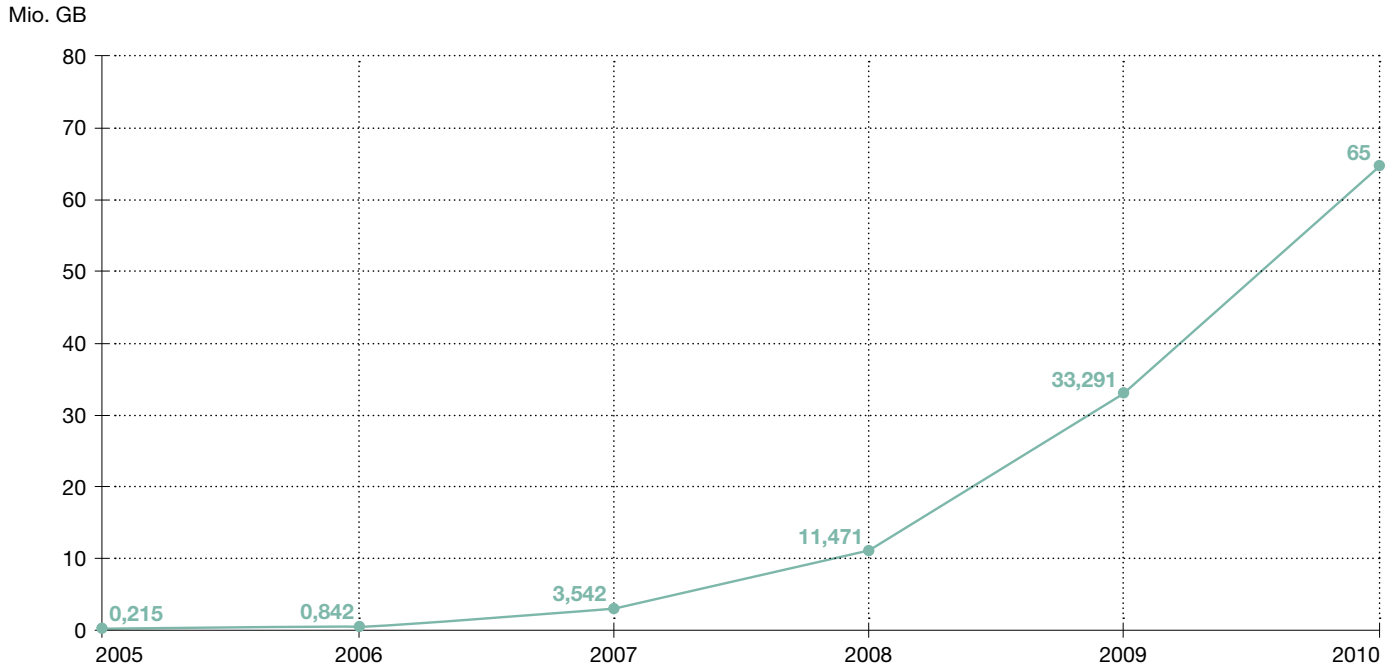


Das Mobilfunknetz: Basisstationen bedienen die Teilnehmer in der jeweiligen Funkzelle. Um in der gleichen Zeit mehr Daten zu verschicken, sollen in Zukunft vernetzte Basisstationen gemeinsam mehrere Zellen betreuen

Link

www.lti.ei.tum.de





Grafik: edlundsepp (Quelle: Jahresbericht der Bundesnetzagentur 2010)

Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland 2005 – 2010. Vor allem das mobile Internet treibt den Datenverkehr im Netz hoch. Allein zwischen 2009 und 2010 hat sich das Datenaufkommen verdoppelt

Informationstechnik ist eine zentrale Komponente unserer Industriegesellschaft und die wollen wir mit unserer Forschung voranbringen.“ Prof. Holger Boche sitzt in seinem Besprechungsraum an der Technischen Universität München, die Tafel hinter ihm ist vollgekritzelt mit Gleichungen und Blockdiagrammen. Er skizziert die Herausforderungen, vor denen der Mobilfunk heute steht, und man spürt, wie wichtig ihm dieses Thema ist. Da sind zunächst ganz handfeste Anforderungen für das Mobilfunksystem der nächsten, fünften Generation. Es wird in etwa zehn Jahren statt der heute drei wahrscheinlich mehr als fünf Milliarden Menschen verbinden und zusätzlich die Daten von vielen Milliarden Sensoren übertragen. Wie realisiert man die hohen Datenraten? Wie macht man das Netz so robust, dass auch Autos oder Maschinen einander zuverlässig Informationen zuspielen können? Wie sichert man die gesendeten Daten vor unbefugtem Zugriff?

Universitäre Forschung für den Mobilfunk

Boche entwickelt mathematische Modelle, um solche Probleme zu beschreiben und zu lösen. Seine Forschungen haben den Mobilfunk in der Vergangenheit

entschieden vorgebracht. Unter anderem schuf er die theoretischen Grundlagen für das Mobilfunknetz der vierten Generation, die LTE-Technik, die in diesem Jahr eingeführt wird (siehe Kasten). Für seine Arbeiten wurde der Wissenschaftler, der sowohl in Nachrichtentechnik als auch in Mathematik promoviert hat, mit zahlreichen Preisen geehrt. 2008 erhielt er den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis, die mit 2,5 Millionen Euro dotierte bedeutendste deutsche Auszeichnung für Forscher. Im Herbst 2010 hat Boche seinen Posten als Direktor des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, des renommierten Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin, verlassen und an der TUM einen neu geschaffenen Lehrstuhl für theoretische Informationstechnik übernommen.

Boche sieht fundamentale Fragen auf den Mobilfunk zukommen und möchte die Grundlagenforschung dazu voranbringen. Und das kann er seiner Meinung nach nirgends so gut tun wie an der Universität. Sie bietet die besten Rahmenbedingungen, um die Basistechnologien für neue Mobilfunkstandards zu entwickeln. Für Firmen sind die insgesamt zehn bis zwölf Jahre, die in die Entstehung eines neuen Standards fließen, meist zu lang. Dass die TUM eines der wichtigsten deut- ▶

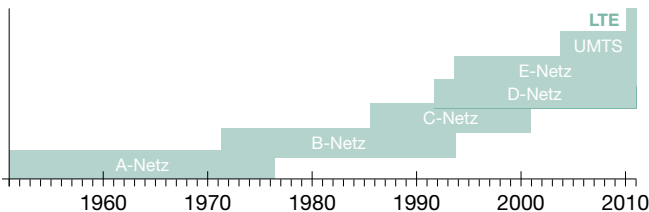


Holger Boche kam zur TUM, weil er die Grundlagenforschung für den Mobilfunk voranbringen möchte. Er arbeitet unter anderem an den Basistechnologien für die fünfte Mobilfunkgeneration

Mobilfunk in Deutschland

Das Datenaufkommen im deutschen Mobilfunknetz hat sich zwischen 2009 und 2010 auf 65 Millionen Gigabyte nahezu verdoppelt. Die rund 110.000 Basisstationen wickelten 2010 insgesamt 180 Milliarden Gesprächsminuten ab, das entspricht einer totalen Sprechzeit von 342 Jahren. Dazu kommen etwa 40 Milliarden SMS, 170 Millionen Multimedia-Messages und das mobile Internetsurfen. Um die wachsende Zahl der Nutzer und Anwendungen zu bedienen, wird in etwa sieben bis zehn Jahren ein neuer Mobilfunkstandard eingeführt. Heute basiert unser Netz auf den Standards GSM, der zweiten Mobilfunkgeneration, UMTS und – seit 2011 – LTE. Die erreichbaren Datenraten betragen jeweils 9,6 kbit/s (GSM), knapp 384 kbit/s (UMTS), knapp 14 Mbit/s

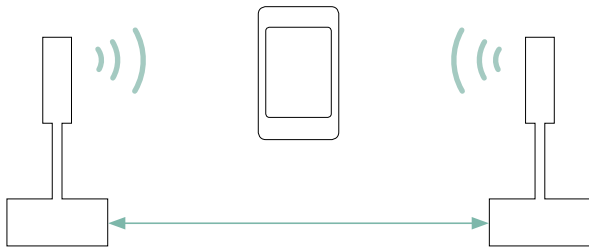
(UMTS mit HSDPA, einer Technik zur gleichzeitigen Übertragung verschiedener Daten – beispielsweise Bild und Sprache) und 100 Mbit/s (LTE). LTE übertrifft damit die Qualität vieler DSL-Festnetzverbindungen. Die Frequenzen für den Mobilfunk werden weltweit verbindlich von der Weltradiokonferenz unter Vorsitz der UNO festgelegt und sind begrenzt. Nur in Ausnahmefällen – beispielsweise durch die Umwidmung existierender Frequenzen wie im Fall der Digitalen Dividende – lassen sich zusätzliche Frequenzen „hervorzaubern“ und gewinnbringend verkaufen. Die Sendefrequenzen für UMTS wurden in Deutschland im Jahr 2000 für insgesamt 50 Milliarden Euro versteigert, die Versteigerung der LTE-Frequenzen erzielte im April 2010 insgesamt 4,4 Milliarden Euro.



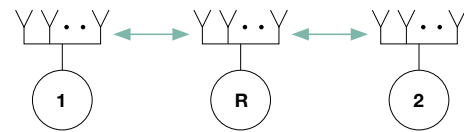
Das erste deutsche Mobilfunknetz, das A-Netz, bediente etwa 10.500 Teilnehmer. Heute telefonieren 82 Millionen Menschen mobil

Long Term Evolution (LTE)

LTE wurde als Nachfolger von UMTS entwickelt und übertrifft dessen Leistungen deutlich. Ein weiterer Vorzug ist die geringe Latenzzeit, also die Verzögerung zwischen einer gesendeten Anfrage und der Antwort. Dies ist bei zeitkritischen Anwendungen wie Online-Spielen oder Videotelefonie von Bedeutung. Außerdem ist LTE vollständig IP-basiert. Die Netzwerkarchitektur konnte deutlich flacher gestaltet werden.



Durch die Kooperation von Basisstationen kann eine höhere Datenübertragungsrate erzielt werden



Zwei Mobilteilnehmer (z. B. Handys) telefonieren miteinander in einem drahtlosen Netzwerk. Eine Basisstation stellt in beide Richtungen die Verbindung zwischen den Teilnehmern her

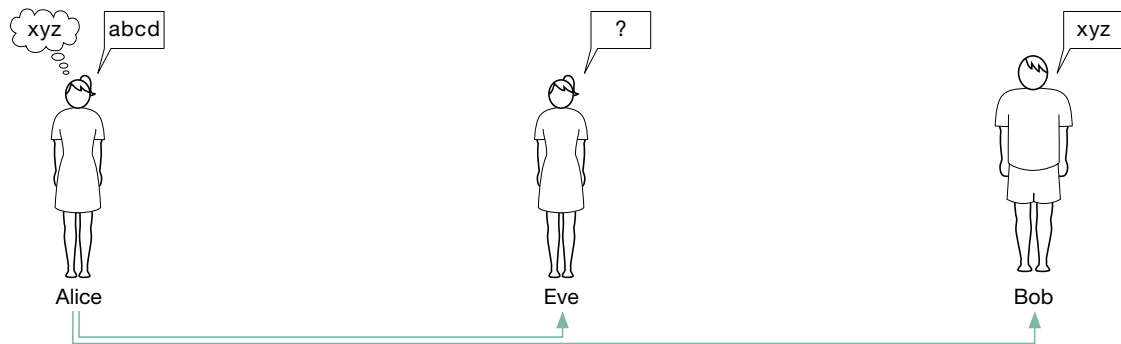
schen Zentren für Informationstechnologie ist und dass gleichzeitig mit ihm der Spitzenforscher Prof. Gerhard Kramer aus den USA hierherberufen wurde, waren weitere Anreize für den Umzug nach München.

Kommunikationstechnik jenseits von Silizium

Statt ab und zu im Dienstwagen zur Kanzlerin zu brausen, sitzt der 44-jährige Forscher nun in Jeans in seinem Büro mitten im quirligen Univiertel und arbeitet an Theorien für neue Kommunikationstechniken. Er denkt sehr weit in die Zukunft, denn unsere Gesellschaft ist so stark auf Kommunikationstechnik angewiesen, dass sie sich früh für kommende Technologien rüsten muss. Als Beispiel nennt Boche das Moore'sche Gesetz, das besagt, dass Computerchips etwa alle 20 Monate ihre Rechenleistung verdoppeln. Seit über 30 Jahren prägt dieses Gesetz unseren technischen Fortschritt, doch irgendwann wird es an physikalische Grenzen stoßen. Das klassische Silizium wird von Nanostrukturen abgelöst werden, die quantenmechanischen Regeln gehorchen. Die Nachrichtentechnik muss dann Methoden der Quantenkommunikation parat haben, um diese neuen Komponenten effizient zu nutzen.

Doch zurück zur nächsten Mobilfunkgeneration. Laut Bundesnetzagentur hat sich der Datenverkehr im deutschen Mobilfunknetz zwischen 2008 und 2010 versechsfacht und der Anstieg hält ungebrochen an. Die Menschen sind heute an schnelle DSL-Verbindungen im Festnetz gewöhnt und möchten dieselbe Qualität auch mobil. Weil die Zahl der nutzbaren Frequenzen begrenzt ist, muss man Methoden finden, um die sogenannte spektrale Effizienz, also die Datenübertragungsrate pro Frequenzbandbreite, zu erhöhen. Ein Ansatzpunkt sind die Basisstationen, die alle Netzteilnehmer in einer Funkzelle, also in einem Umkreis von typischerweise wenigen Kilometern, versorgen. Sie empfangen die von den Geräten in der Zelle ausgesandten Informationen, entschlüsseln sie und speisen die Daten in ein Glasfasernetz ein, das alle Basisstationen verbindet. Darüber gelangt die Nachricht an die dem Adressaten nächstgelegene Basisstation, die sie für die Funkübertragung codiert und an das mobile Gerät weitersendet.

Für die LTE-Technik wurden die Basisstationen mit mehreren statt einer Antenne ausgerüstet. Dahinter steckt die Idee, die Information auf parallele Kanäle zu verteilen und so in der gleichen Zeit mehr Daten zu senden.



So können Daten bei der Übertragung vor unbefugtem Zugriff geschützt werden: Um die Nachricht „xyz“ and Bob zu übertragen, wählt Alices Verschlüsselungsalgorithmus ein Codewort „abcd“ und schickt dieses an Bob. Er kennt Alices Methode und kann die Nachricht entschlüsseln. Gleichzeitig sind die Regeln für die Wahl des Codeworts so gestaltet, dass Eve in keinem Fall die Nachricht entschlüsseln kann. Zum Beispiel hängt die Zufallsregel von der Qualität der Übertragungskanäle zu Bob und zu Eve ab

Auch LTE-fähige Endgeräte besitzen mehrere Antennen, meist auf der Chip-Karte. Das Ergebnis spricht für sich: Mit 100 Mbit pro Sekunde ist die LTE-Technik schneller als so mancher Festnetzanschluss. Dahinter steckt immenser Rechenaufwand, denn die Basisstation muss den Datenstrom innerhalb von Millisekunden – im Fall von Gesprächen oder Online-Spielen sogar in Echtzeit – entschlüsseln, die Teile aus den einzelnen Kanälen richtig zusammenfügen und weitersenden.

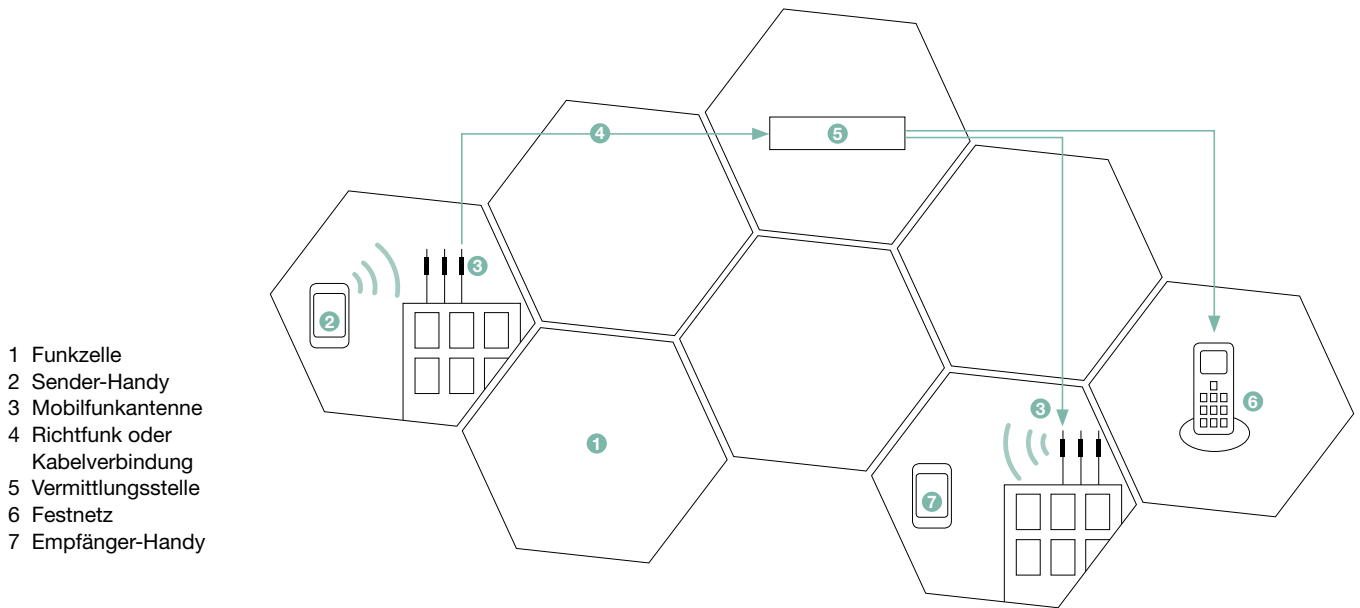
Fairnessfragen im Mobilfunknetz

Für die fünfte Mobilfunkgeneration soll dieses Prinzip ausgeweitet werden, indem man mehrere Basisstationen zu einem einzigen virtuellen Mehrantennensystem zusammenschließt. So erhöht sich die Zahl der parallelen Übertragungskanäle, ohne dass neue Antennen gebraucht werden. Der Nutzer wird dann nicht mehr von einer, sondern von vielleicht drei bis fünf Basisstationen gleichzeitig bedient. Seine Nachricht kommt teilweise bei der einen, teilweise bei einer anderen Station an und wird an einen zentralen Punkt geleitet. Dort wird sie decodiert, richtig zusammenfügt und weitergesendet. Wie ein solches Mehrantennensystem genau aussehen

wird, ist heute nicht klar, so Boche, denn noch ist die Theorie nicht vollständig verstanden. Durch den Zusammenschluss der Basisstationen braucht man auch neue Rechenmodelle, um die Nutzer fair auf die vorhandenen Kanäle aufzuteilen. Nicht jede Verbindung zwischen Nutzer und Basis ist gleich gut. Das Signal von einem weit entfernten Gerät ist vergleichsweise schwach, außerdem können Wände das Funksignal abschatten oder reflektieren. Die Basisstation misst deshalb die Qualität der Kanäle zu allen Teilnehmern und rechnet in Echtzeit aus, wer wann und wie übertragen muss, damit alle durchkommen. Jedes Gerät bekommt von der Basisstation mitgeteilt, mit welcher Leistung, Modulation und Codierung es zu senden hat. Diese Optimierungsaufgabe ist ein sehr schwieriges mathematisches Problem, das man heute nur für einige Kanäle, beispielsweise für das Mehrantennensystem der LTE-Technik, beherrscht.

Mobilfunk zwischen Maschinen oder Autos

Weil das Mobilfunknetz fast flächendeckend vorhanden ist, liegt es nahe, es auch für andere, neue Anwendungen zu nutzen. Schon heute senden viele Sensoren, beispielsweise von Umweltstationen, ihre Messwer- ▶



Grafik: edlundsepp (Quelle: IZMF)

Der Übertragungsweg im Mobilfunknetz: Die Basisstation nimmt das Funksignal über eine oder mehrere Empfangsantennen auf und leitet es im Festnetz an die Vermittlungsstelle weiter. Von dort wird das Gespräch an die für den Adressaten zuständige Basisstation übergeben oder an ein Festnetztelefon geschickt

te über das Netz. In Zukunft werden auch Autos über das Mobilfunknetz in Verbindung stehen und einander zum Beispiel vor einem Stau hinter der nächsten Kurve warnen. Selbst Maschinen könnten per Mobilfunk aus der Ferne gewartet werden. Aber dafür muss das Netz robuster werden. Heute sind die Verbindungen mal langsam, mal schnell oder können sogar komplett abreißen. Soll das Netz auch Autos oder Maschinen bedienen, muss es garantieren, dass ein Signal pünktlich ankommt. Eine mögliche Lösung wären Mehrantennensysteme. Sie könnten die gleiche Information auf parallelen Übertragungskanälen senden und so sicherstellen, dass sie in jedem Fall ankommt.

Forschung wirtschaftlich umgesetzt

Die theoretischen Grundlagen, an denen Holger Boche derzeit arbeitet, sind nicht nur Voraussetzung für die technische Realisierung eines neuen Mobilfunkstandards, sie sind auch eminent wichtig für seine tatsächliche Umsetzung. Anhand der Modelle wird berechnet, wie effizient das System betrieben werden kann, um den wirtschaftlichen Nutzen der Technologie abzuschätzen. Aufgrund dieser Daten entscheiden die Betreiber, ob sie

viele Milliarden Euro in den Kauf von Frequenzen und den Bau von Basisstationen investieren.

Wie unmittelbar seine wissenschaftliche Arbeit wirtschaftlich relevant wird, hat Boche bei der Einführung des LTE-Funkstandards erlebt. Die Bundesregierung suchte nach einer schnellen und wirtschaftlichen Möglichkeit, ländliche Gebiete mit Breitband-Anschlüssen zu versorgen. Rundfunkfrequenzen, die durch die Digitalisierung der Übertragung frei geworden waren, sollten deshalb für den Mobilfunk umgewidmet werden. Boche hatte eine Theorie zu Mehrantennensystemen entwickelt und konnte zeigen, dass man damit dünn besiedelte Flächen effizient abdecken kann. Seine Studien zur technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit gaben letztlich den Anstoß zur Versteigerung der Frequenzen zwischen 790 und 862 Megahertz. „80 Seiten von einem deutschen Professor und der Finanzminister nimmt 3,6 Milliarden Euro ein“, rekapituliert er die Ereignisse vom April 2010 zufrieden. Genau das macht Holger Boche an seinem Beruf solchen Spaß: „Ich betreibe fundamentalste Grundlagenforschung, die aber schon nach etwa zehn Jahren im Feld ist und die Gesellschaft voranbringt.“

Christine Rüth



Elektromobilität – powered by Dräxlmaier

Elektromobilität ist Zukunft. Und eine Herausforderung, die ein umfassendes Verständnis erfordert. Als Spezialist für innovative Bordnetze und mechatronische Systeme verstehen wir diese komplexen Zusammenhänge. Ob Elektroantrieb, Hybridtechnologie oder Plug-in-Hybrid – wir gestalten die mobile Zukunft! Zu unseren Kunden zählen die renommiertesten Hersteller der internationalen Automobilindustrie.

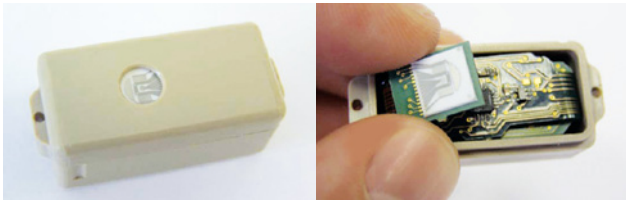
Wollen Sie dabei sein, wenn die Produkte der Zukunft entstehen? Dann lassen Sie uns über Ihre Perspektiven bei uns sprechen. Für Fachkräfte, Absolventen und Studierende bieten wir die passenden Einstiegsmöglichkeiten.

www.draexlmaier.com/karriere

Sensor-Chip überwacht Tumor

Ein implantierter Chip könnte bald schwer operable oder langsam wachsende Tumoren überwachen. Medizintechniker der Technischen Universität München haben einen elektronischen Sensor-Chip entwickelt, der den Sauerstoffgehalt in Gewebsflüssigkeit bestimmen kann. Denn wenn der Sauerstoffgehalt in Tumornähe sinkt, droht der Tumor sein Wachstum zu beschleunigen und aggressiv zu werden

Link
www.lme.ei.tum.de



Sensor-Chip zur Messung der Konzentration von Gelöstsauerstoff in Gewebe; das – auf dem rechten Bild geöffnete – biokompatible Gehäuse enthält außerdem Funkeinheit, Auswerteeinheit und Batterie

Eine Operation gehört meist zu den ersten Therapieschritten in der Bekämpfung einer Krebskrankheit. Doch manche Tumoren wie zum Beispiel Hirntumoren lassen sich nur schwer operieren, wenn dabei umliegendes Nervengewebe geschädigt würde. Andere Krebsgeschwulste wie zum Beispiel viele Prostatakarzinome wachsen nur sehr langsam, eine Operation bei den zu meist älteren Patienten verschlechtert oft deren Lebensqualität, ohne ihr Leben merklich zu verlängern. Medizintechniker des Teams um Prof. Bernhard Wolf, Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der TUM, haben einen Sensor-Chip entwickelt, der in die Nähe des Tumors implantiert werden kann. Der Sensor-Chip misst die Konzentration an gelöstem Sauerstoff im Gewebe und gibt diese Informationen per Funk an ein Empfangsgerät weiter, das der Patient bei sich trägt. Das Empfangsgerät übermittelt die Daten an den behan-

delnden Arzt, der damit die Tumorentwicklung verfolgen und Behandlungen wie Chemotherapie oder Operation einleiten kann. So würde der Tumor ständig überwacht, und gleichzeitig müsste der Patient seltener zu Kontrolluntersuchungen in die Praxis oder Klinik kommen.

Labortests mit Zell- und Gewebekulturen hat der Sensor-Chip bereits bestanden. Die besondere Herausforderung: Der Sensor muss lange und vollkommen autonom funktionieren. Deshalb darf er bei einer Verschmutzung durch Proteine oder Zellreste nicht ausfallen oder falsche Messwerte liefern. Und er muss für den Körper „unsichtbar“ sein, damit der Körper ihn nicht als Fremdkörper erkennt und mit einer Gewebekapsel umschließt. „Wir haben den Sensor-Chip so konstruiert, dass er sich in Messpausen selber an einer definierten Gelöstsauerstoffkonzentration kalibriert“, erläutert der Ingenieur und Projektleiter Sven Becker. „Außerdem haben wir den Sensor-Chip zusammen mit Auswertelektronik, Funkeinheit und Batterien in ein Gehäuse aus biokompatiblen Kunststoff gesteckt.“

Klein ist der Sensor samt Elektronik schon, kaum doppelt so groß wie ein Daumnagel, doch bevor er über eine minimalinvasive Operation implantiert werden kann, muss er noch kleiner werden. Gleichzeitig sollen weitere Sensoren auch noch Säuregehalt und Temperatur messen. Außerdem haben die TUM Forscher eine Miniatur-Medikamentenpumpe in Entwicklung, die zusammen mit dem Sensor-Chip implantiert werden und bei Bedarf Chemotherapeutika in unmittelbarer Tumornähe abgeben könnte.

Im nächsten Schritt muss sich der Sensor-Chip allerdings erst einmal in der Behandlung von Tieren bewähren. In Zukunft, so hoffen die Forscher, wird er Krebstherapien bei Patienten gleichzeitig schonender und zielgerichteter machen. □



Wir freuen uns darauf, angenehm weiche Oberflächen für Sie zu entwickeln.

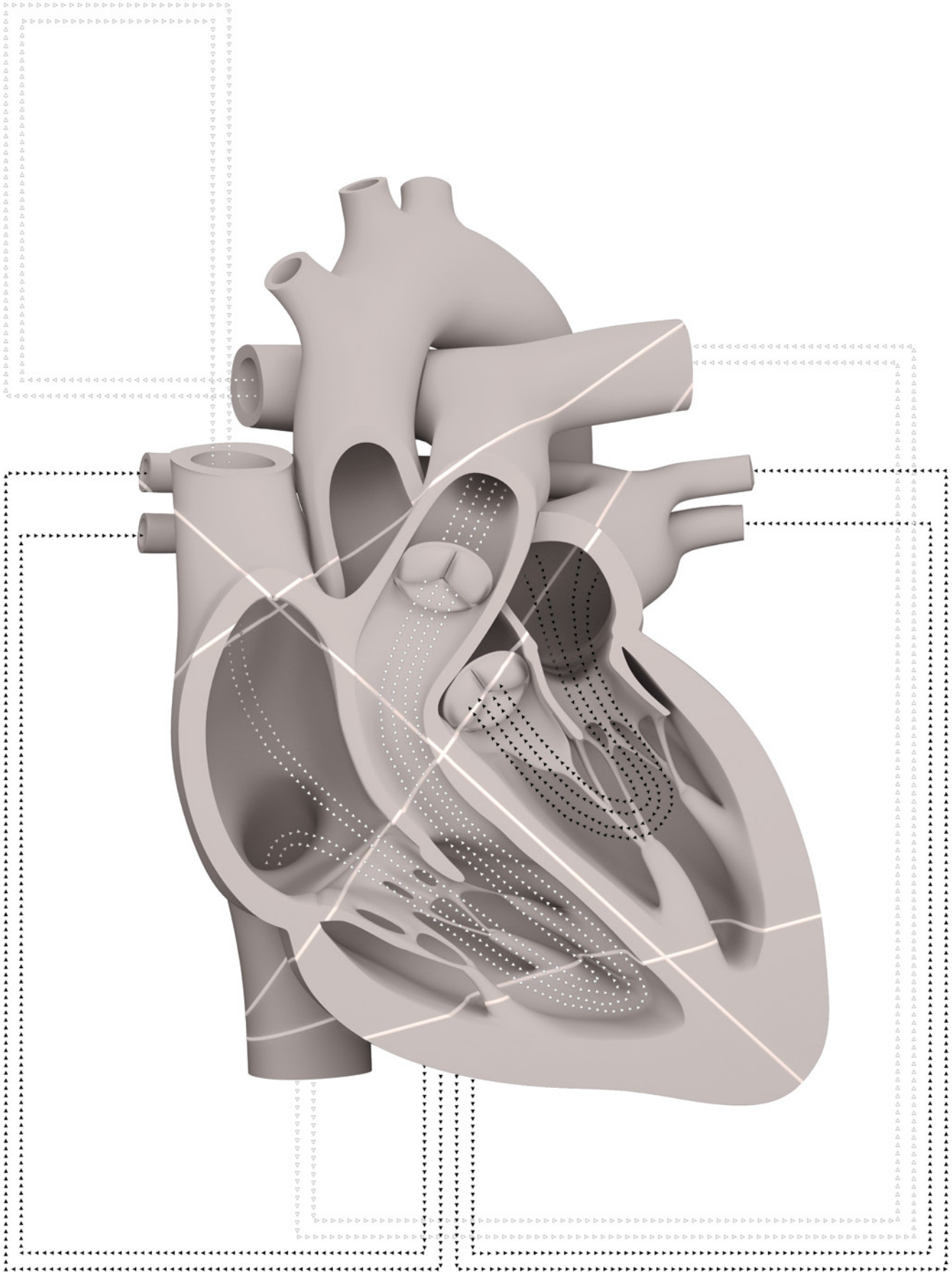
We love your problems.

Wir können Kunststoffen eine elegante Haptik geben – und noch vieles mehr. Gemeinsam mit unseren Kunden entwickeln wir außergewöhnliche Lösungen für außergewöhnliche Anwendungen. Wir sind der kreative Oberflächenspezialist für Industrial Coatings, Architectural Coatings, Printing Inks und Automotive. Welches Problem dürfen wir für Sie lösen?

Evonik. Kraft für Neues.



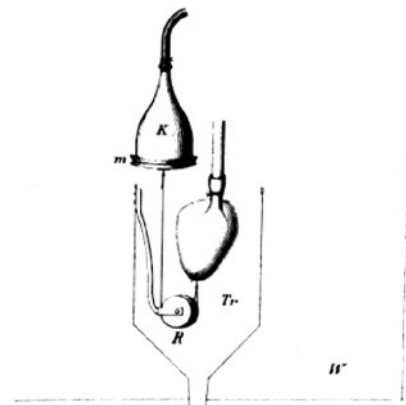
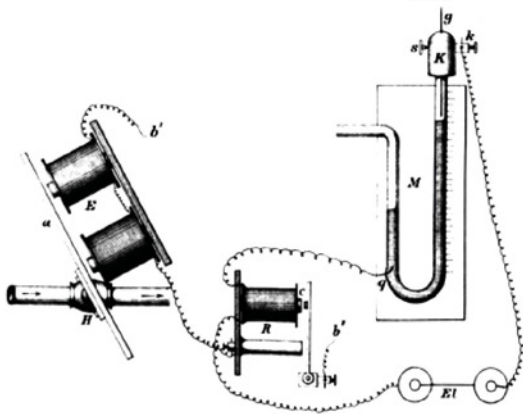
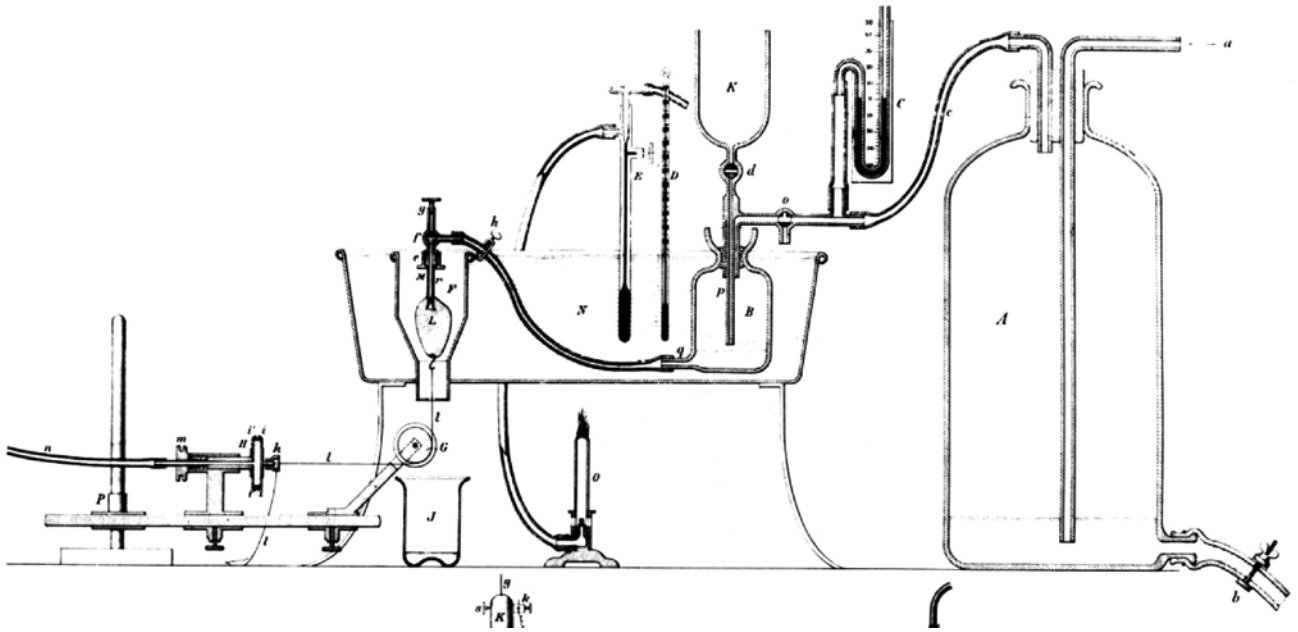
EVONIK
INDUSTRIES



Das Herz als Detektor

Künstliche Nanopartikel begegnen uns immer häufiger im Alltag und gelten als Hoffnungsträger der Medizin – ob sie jedoch der Gesundheit schaden und, wenn ja, wie, bleibt unklar. Auf der Grundlage eines über 100 Jahre alten Versuchsaufbaus, dem sogenannten Langendorff-Herz, hat der Physiker Andreas Stampfl herausgefunden, wie Nanopartikel auf das Herz wirken

Link
www.helmholtz-muenchen.de/toxi/arbeitsgebiete/herzfunktionsbeeinflussung-durch-nanomaterialien



1895 veröffentlichte Oskar Langendorff dieses Schema seines Experimentes. Noch heute heißt der Aufbau Langendorff-Herz und wird vielfach angewendet, um aktuelle Fragestellungen zu untersuchen

Im Jahr 1895 startet der deutsche Arzt und Wissenschaftler Oskar Langendorff ein ungewöhnliches Experiment. Er entnimmt das Herz einer Katze, schließt es an eine komplizierte Apparatur aus Schläuchen und Behältern an und durchspült es mit einem konstanten Blutstrom. Das Ziel der Prozedur: Das Herz soll selbstständig und kontinuierlich weiterschlagen – ganz ohne Verbindung zum restlichen Körper. Das Experiment ist kein einfaches Unterfangen, denn schon bei geringen Unregelmäßigkeiten im Blutfluss erstarrt der Herzmuskel. Doch nur mit dem isolierten Herzen – so Langendorffs Überzeugung – könne man herausfinden, wie genau das Organ arbeite. Das bereits über 100 Jahre alte Langendorff-System wird auch heute noch eingesetzt, um aktuelle Fragestellungen zu untersuchen.

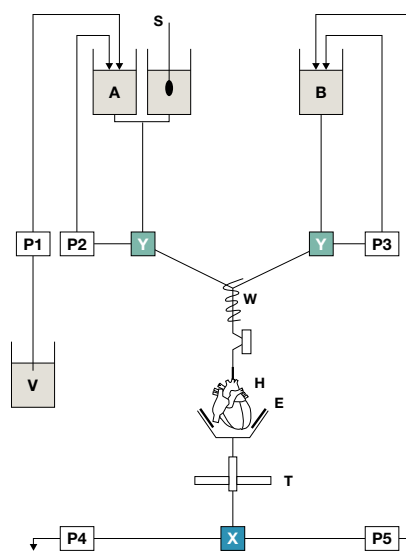
Wie Langendorff misst auch der Biophysiker Andreas Stampfl vom Institut für Toxikologie des Helmholtz Zentrums München die Herzfrequenz und zusätzlich das EKG des Herzens. Stampfl möchte herausfinden, wie das Herz auf bestimmte künstliche Nanopartikel reagiert. Das gemeinsam mit Prof. Reinhard Nießner, dem Direktor des Instituts für Wasserchemie und Chemische

Balneologie der TU München, durchgeführte Projekt soll vor allem wichtige Erkenntnisse für die Medizinforschung liefern. Beeinflussen die winzigen, höchstens 100 Nanometer großen Teilchen Herzfrequenz und EKG? Und wenn ja, mit welchen Mechanismen? Zu diesen Fragen gibt es bislang kaum Erkenntnisse, und das obwohl die Nachfrage nach künstlichen Nanopartikeln in Medizin und Industrie stetig ansteigt.

Ein ganzes Organ als Testsystem

Die genauen Einflüsse der Partikel auf die Funktion einzelner Organe sind im komplexen System Körper nur schwer auszumachen. Zwar stellen epidemiologische Studien an Herzpatienten bereits seit Jahrzehnten eine schädliche Wirkung von Feinstaub aus der Luft auf das Herz-Kreislauf-System fest. Doch ob die Schäden direkt durch Nanopartikel ausgelöst werden oder indirekt, zum Beispiel durch Stoffwechselprozesse oder Entzündungsreaktionen, lässt sich nicht feststellen. Auch Studien an einzelnen Herzzellen in Kultur lassen viele Fragen offen. „Testet man Nanopartikel an einer Zellkultur, können kaum Funktionsveränderungen ▶

Langendorff-Herz schematisch



An einem sogenannten Langendorff-Herzen, einem isolierten, mit Nährlösung als Blutersatz durchspülten Nagetier-Herzen, testen die Wissenschaftler, ob Nanopartikel eine Wirkung auf die Herzfunktion haben.

Das System besteht aus zwei Perfusionswegen: Gefäß A mit Lösung zum Auswaschen des Herzens H und Gefäß B, das die rezirkulierende und partikelhaltige Lösung enthält. Beide Lösungen werden mit Carbogen durchströmt, damit sie sauerstoffgesättigt sind. Pumpe P4 sorgt dafür, dass das Perfusat während der Auswaschphase verworfen wird. Durch ein Dreiwegeventil X wird nach der Auswaschphase auf den Perfusionskreislauf mit P5 umgeschaltet. Die Pumpen P2 und P3 sorgen dafür, dass die Lösungen jeweils in dem gerade nicht verwendeten Kreislauf A oder B zirkulieren, damit die Schläuche immer sauerstoffgesättigte Lösung enthalten. Pumpe P1 ist durch eine Lichtschranke S gesteuert, um die Menge an Perfusionslösung in Gefäß A konstant zu halten. Zwischen den Perfusionslösungen wird durch zwei gegenläufig gekoppelte Dreiwegehähne Y auf Kreislauf A bzw. B umgeschaltet. Mit dem Tropfenzähler T wird die das Herz durchströmende Lösungsmenge bestimmt. Mit den Elektroden E wird das Elektrokardiogramm abgeleitet

der Zellen und nur wenige ausgeschiedene Substanzen untersucht werden. Welche dieser Substanzen jedoch letztlich eine Veränderung der tatsächlichen Organfunktion hervorrufen, weiß man nicht“, erklärt Stampfl. Dem Wissenschaftler war klar: Ein ganzes Organ musste als Testsystem etabliert werden. Dafür ist das Langendorff-Herz optimal geeignet.

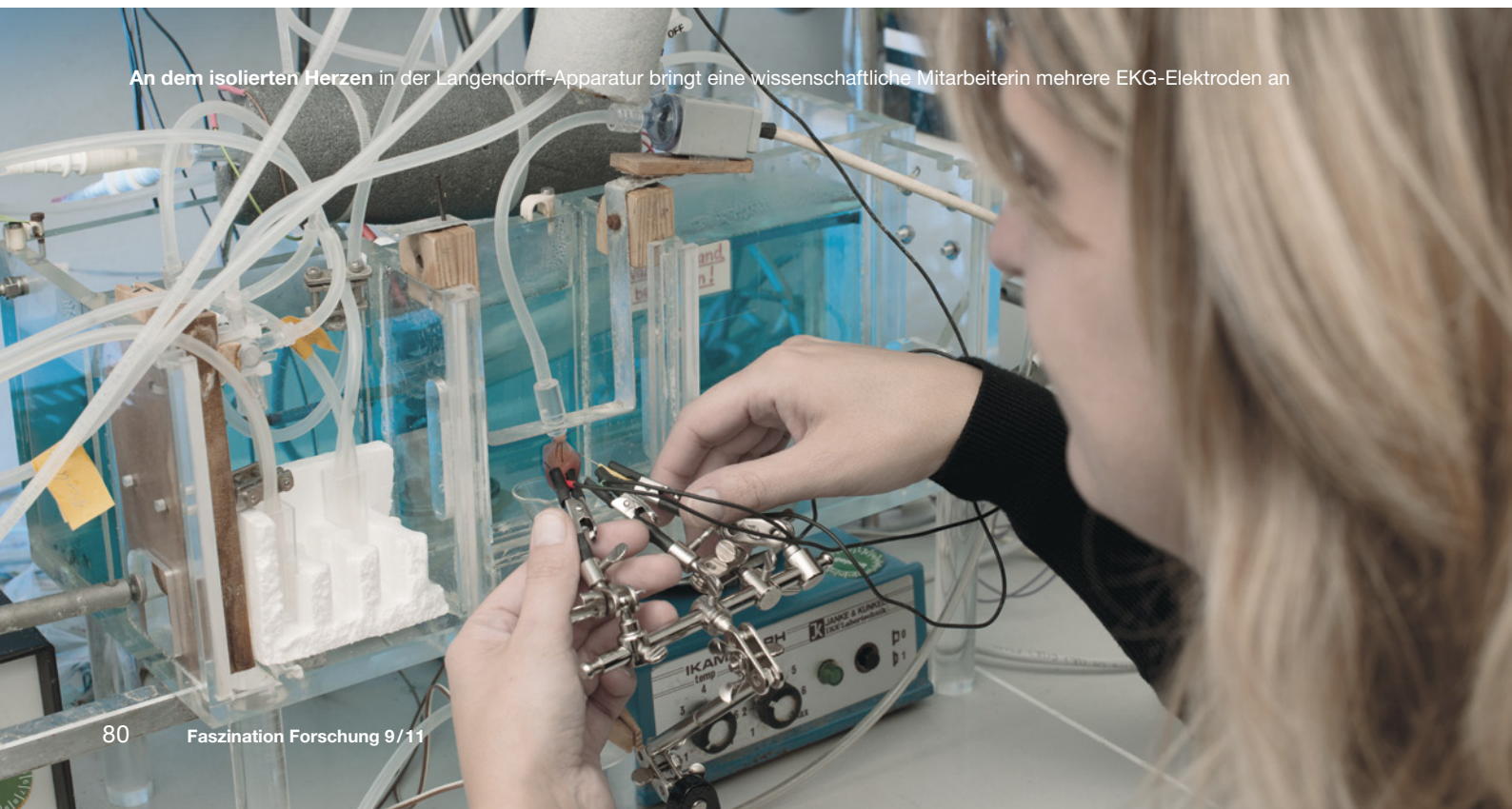
Erhöhte Frequenz und Rhythmusstörungen

Um das isolierte Herz kontinuierlich dem Einfluss künstlicher Nanopartikel aussetzen zu können, entwickelte Stampfl den ursprünglichen Versuchsaufbau Langendorffs weiter. Er fügte einen zweiten Kreislauf hinzu, in dem die Lösung, die durch das Herz geflossen war, nach einer Stabilisierungsphase wieder zurückgepumpt wurde und das Herz dann wieder durchströmte. Auf diese Weise können die Forscher Botenstoffe, die das Herz ausschüttet, anreichern und so die genauen Reaktionen des Herzens auf die Nanoteilchen nachvollziehen. Stampfl setzte das isolierte Herz einer Reihe gängiger künstlicher Nanopartikel aus – mit deutlichem Ergebnis: Das Organ reagierte auf bestimmte Typen der Partikel

mit einer erhöhten Frequenz, Rhythmusstörungen und veränderten EKG-Werten, wie sie für Herzerkrankungen typisch sind. Diese Veränderungen hängen von der Art und der Konzentration der Partikel ab.

Verantwortlich für die Schädigungen des Herzens durch Nanopartikel ist nach Ansicht von Stampfl und Nießner sehr wahrscheinlich der Botenstoff Noradrenalin, der von Nervenzellendenungen im Herzen ausgeschüttet wird. Er beschleunigt die Herzfrequenz und spielt im zentralen Nervensystem eine wesentliche Rolle. Andere Forschergruppen konnten bereits nachweisen, dass Nanopartikel auch hier eine schädliche Wirkung haben. Die Versuche der Arbeitsgruppe Stampfl zeigen vor allem eine wichtige Charakteristik des Herzmodells: Es kann zwischen verschiedenen Nanopartikeltypen unterscheiden. Diese wesentliche Eigenschaft macht es zu einem hochsensiblen Beurteilungssystem für die Medizinforschung. Hier werden künstliche Nanopartikel immer öfter als Transportvehikel eingesetzt. Der Grund: ihre große Oberfläche. An ihr lassen sich gut Wirkstoffe anheften, die von den Teilchen dann zu einem Zielort im Körper, etwa zu einem Tumor, transportiert werden.

An dem isolierten Herzen in der Langendorff-Apparatur bringt eine wissenschaftliche Mitarbeiterin mehrere EKG-Elektroden an



Die Eigenschaften eines Wirkstoffes können sich durch das Anheften an solche „Nanocontainer“ gezielt verändern lassen: Einige herkömmliche Krebsmedikamente beispielsweise werden rasch aus dem Körper ausgeschieden oder wirken zu einem großen Teil auch auf Gewebe, in denen sie gar nicht benötigt werden. Sind sie jedoch an ein bestimmtes Nanopartikel angeheftet, verhalten sie sich ganz anders: Sie zirkulieren länger im Körper. Weitere Modifikationen können zudem dafür sorgen, dass die Partikel ganz spezifisch nur in Krebszellen aufgenommen werden oder die transportierte „Fracht“ zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt freigesetzt wird. Dies führt nicht nur dazu, dass das Medikament besser wirkt, der Tumorpatient muss es auch in geringeren Konzentrationen und weniger oft appliziert bekommen.

Transportvehikel im Nanomaßstab

Vor allem sogenannte „Carbon Nanotubes“ sind unter Nanoforschern als Transportvehikel im Gespräch. Die äußere Wand dieser kleinen Kohlenstoffröhrchen ist nur etwa einen Nanometer dick, die Röhrchen selbst sind um ein Vielfaches länger. Diese Struktur macht sie sehr

stabil und schafft viel Platz zum Anheften eines oder gar mehrerer Wirkstoffe. Zudem besitzen die Partikel noch eine weitere für Therapien sehr nützliche Eigenschaft: Sie absorbieren Licht aus dem nahen Infrarotbereich (NIR). Dieses Licht besitzt eine Wellenlänge zwischen 700 und 1100 Nanometern. Die Nanopartikel, die sich aufgrund der Therapie im Tumor angereichert haben, werden durch das Licht erhitzt. Diese Eigenschaft kann beispielsweise als eine Art Schalter verwendet werden, um einen Wirkstoff gezielt in die Zelle zu entlassen oder aber den Tumor direkt durch Hitze zu zerstören. Erste Versuche an Mäusen zeigten bereits Erfolge.

Jede Substanz muss getestet werden

Und doch, so vielversprechend Nanopartikel für die Medizin sein mögen, über ihre Wirkung im Körper ist bislang wenig bekannt. Hier könnte Stampfls neues Herzmodell einen entscheidenden Beitrag leisten, denn es zeigt, ob eine Substanz die Herzfunktion beeinflusst. Das Modellherz könnte als Testorgan dienen, um künftig diejenigen Partikeltypen auszuwählen, die das Herz nicht schädigen. „Das könnte beispielsweise für Pharmafirmen ▶

Mittels der EKG-Elektroden werden die Herzströme gemessen, während das Organ mit einer mit Nanopartikeln angereicherten Lösung durchspült wird und einige Zeit später, nachdem es mit Nanopartikel freier Lösung durchspült wurde

interessant sein, die ein neues Medikament auf Basis von Nanopartikeln herstellen möchten“, meint Andreas Stampfl. Der Bedarf der Hersteller an einem guten Testsystem sei dabei groß. Denn es reiche nicht aus, nur bestimmte Klassen von Partikeln zu testen. „Der gleiche Partikeltyp von verschiedenen Herstellern kann sich bereits vollkommen unterschiedlich verhalten“, erklärt der Biophysiker. Jede Substanz muss also einzeln getestet werden.

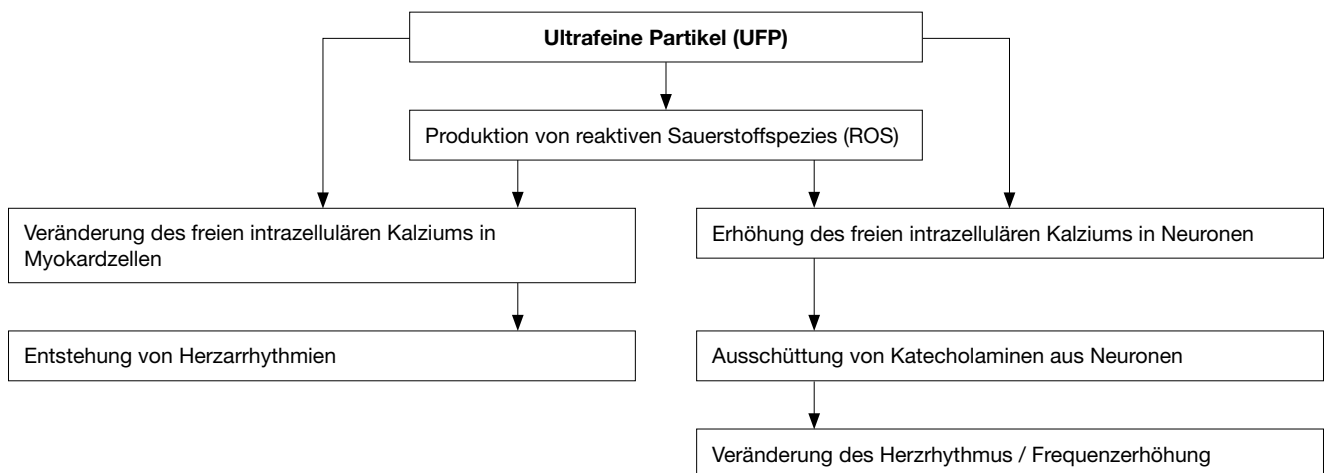
Doch nicht nur als Trägerstoff für Medikamente sind künstliche Nanopartikel interessant. Wir kommen auch ständig mit ihnen im Alltag in Kontakt. Nanopartikeltypen finden sich in zahlreichen Industrieprodukten. Sie färben Tinten und Lacke, machen Autoreifen belastbarer oder sorgen dafür, dass das Salz im Streuer nicht verklumpt. Die Nanopartikel verleihen den Produkten hierbei einzigartige Eigenschaften: Die große Oberfläche von Titandioxid (TiO₂) etwa verändert die Lichtbrechung und sorgt für einen hohen Brechungsindex, sodass die Substanz strahlend weiß erscheint. Es wird daher oft als weiße Deckfarbe, als UV-Blocker in Sonnencremes, aber auch als Färbemittel in Zahnpasten verwendet.

Eine große wirtschaftliche Bedeutung hat der sogenannte Flammruß, von dem jährlich mehr als acht Millionen Tonnen produziert werden. Er findet sich vor allem in Autoreifen und Plastik. Die geringe Größe der nur 14 Nanometer großen Teilchen macht sie zudem zu einem geeigneten Färbemittel – beispielsweise für Druckerfarbe in Fotokopierern.

Nimmt das Herz dauerhaften Schaden?

An ihrem Herzmodell testeten Stampfl und sein Team Flammruß und Titandioxid sowie funken erzeugten Kohlenstoff. Auch Siliziumdioxid, mehrere Aerosile®, die beispielsweise als Verdickungsmittel in Kosmetika eingesetzt werden, und der Kunststoff Polystyren wurden untersucht. Das Ergebnis: Einige der getesteten Partikel beeinflussten die Herzfunktion negativ. So führten Flammruß, funken erzeugter Kohlenstoff, Titandioxid und Siliziumdioxid zu einer Erhöhung der Herzfrequenz von bis zu 15 Prozent. Außerdem veränderten sie die EKG-Werte, die sich, auch nachdem das Herz mit Nanopartikel-freier Lösung durchspült wurde, nicht normalisierten. „Das ist ein deutlicher Hinweis auf eine

Ultrafeine Partikel können den Herzrhythmus beeinflussen. Im Vorfeld ihrer Experimente haben die Wissenschaftler die verschiedenen Reaktionswege, auf denen dies passieren kann, zusammengestellt



dauerhafte Schädigung des Herzens, beispielsweise im Reizleitungssystem“, erklärt Stampfl. Aerosile® und Polystyren hingegen beeinflussten die Herzfunktion nicht. Mit ihrer Weiterentwicklung des Langendorff-Herzens haben die Forscher nun erstmals einen Messaufbau entwickelt, mit dem sich die Wirkung von Nanopartikeln auf ein ganzes intaktes Organ untersuchen lässt, ohne dass die Reaktionen anderer Organe das System beeinflussen. Gerade das Herz eignet sich dabei als Testobjekt besonders gut. „Es besitzt einen eigenen Taktgeber, den Sinusknoten, und kann daher außerhalb des Körpers über mehrere Stunden hinweg weiterarbeiten“, erklärt Stampfl. „Außerdem lassen sich Veränderungen der Herzfunktion deutlich an Herzfrequenz und EKG-Kurve erkennen.“

Dem Einfluss auf den Grund gehen

„Wir haben nun ein Modell für ein höheres Organ, an dem sich der Einfluss von künstlichen Nanopartikeln testen lässt“, erklärt auch Nießner, der das Projekt mit betreute. „Als Nächstes möchten wir herausfinden, weshalb bestimmte Nanopartikel einen Einfluss auf die Herz-

funktion besitzen, andere jedoch nicht.“ Herstellungsart und Form könnten hier eine wichtige Rolle spielen. In folgenden Studien möchten die Wissenschaftler daher die Oberflächen der unterschiedlichen Nanoteilchentypen und deren Interaktion mit den Zellen der Herzwand genauer untersuchen.

Und noch in einem weiteren Gebiet findet Stampfls umgebautes Herzmodell seit Neuestem Anwendung: in der Strahlenforschung. Im Rahmen eines gerade angelaufenen Kooperationsprojekts mit dem Institut für Strahlenbiologie des Helmholtz Zentrums München, bei dem die kombinierte Wirkung von ionisierender Strahlung und Nanopartikeln auf das Herz untersucht werden soll, hat Stampfl den Aufbau der Langendorff-Apparatur erneut modifiziert. Es ist damit nun möglich, das schlagende Herz ionisierender Strahlung auszusetzen, zum Beispiel einer Dosis wie sie bei der Computertomografie auftritt oder wie sie Tumorpatienten erhalten.

So steht fest: Langendorffs Versuchsaufbau mag über 100 Jahre alt sein – doch er wird auch noch in Zukunft Wissenschaftlern gute Dienste leisten.

Anja Wagner

Der Versuchsaufbau ist eine komplizierte Apparatur aus Schläuchen und Behältern. In diesen Schläuchen fließt die Lösung mit den Nanopartikeln aus dem Herzen zurück

Impressum

Faszination Forschung

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



Herausgeber:

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

Chefredakteurin:

Tina Heun, Technische Universität München,
Corporate Communications Center

Lektorat: Angela Obermaier

Gestaltung:

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Autoren dieser Ausgabe: Sabine Hölper, Dr. Brigitte Röthlein, Dr. Christine RÜth, Dr. Evdoxía Tsakiridou, Anja Wagner, Dr. Karsten Werth

Redaktionsanschrift:

Technische Universität München, Corporate
Communications Center, 80290 München

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

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

Auflage: 38.500

ISSN: 1865-3022

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Verantwortlich für den

redaktionellen Inhalt: Tina Heun

Verantwortlich für die Anzeigen: Tina Heun

Titelbild: Eckert, TUM

© 2011 für alle Beiträge Technische Universität München, Corporate Communications Center, 80290 München. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Aufnahme in Onlinedienste und Internet, Vervielfältigung auf Datenträgern nur mit ausdrücklicher Nennung der Quelle: „Faszination Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München.“ Anmerkungen zu den Bildnachweisen: Wir haben uns bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte zu ermitteln. Sollte der Redaktion gegenüber dennoch nachgewiesen werden, dass eine Rechtsinhaberschaft besteht, entrichten wir das branchenübliche Honorar nachträglich.



Die Autoren

Sabine Hölper ist freie Journalistin im Bereich Wirtschaft. Sie schreibt für Zeitschriften und Zeitungen, etwa für „wirtschaft“, das Magazin der IHK München, oder die Berliner Tageszeitung „Der Tagesspiegel“. Sabine Hölper ist gelernte Bankkauffrau. Sie hat in Köln und London Betriebswirtschaftslehre studiert und als Diplom-Betriebswirtin abgeschlossen. Sie lebt nach weiterer Station in München, wo sie unter anderem für die „Süddeutsche Zeitung“ tätig war, mit Mann und Tochter in Berlin.

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 Technologiema-gazin „Innovate“. Sie veröffentlichte Sachbücher unter anderem über Hirnforschung, Atomphysik und Quantenphysik. 2008 erschien ihr Buch „Der Mond“.

Dr. Christine RÜth ist Physikerin und betreibt ein Büro für Wissenschaftskommunikation in Regensburg. Als Fachjournalistin schreibt sie für Technologie-Unternehmen und Forschungsinstitute. Außerdem ist sie Redakteurin des Newsletters „Fusion News“, einer Publikation des European Fusion Development Agreement (EFDA) in Garching. Zuvor war sie in der Elektronikindustrie in Marketing und Öffentlichkeitsarbeit tätig. Ein Masterstudium Wissenschaftskommunikation führte zu ihrer heutigen Tätigkeit.

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

Anja Wagner studierte in München Biologie und absolvierte nach Abschluss ihres Studiums das Mentoringprogramm der Initiative Wissenschaftsjournalismus. Dieses Förderprogramm der TU Dortmund ermöglicht jungen Wissenschaftlern den qualifizierten Einstieg in den Journalismus. Im Anschluss arbeitete sie zwei Jahre lang als Trainee und Redakteurin in der Redaktion Naturwissenschaft und Technik des ZDF und verfasste Beiträge für die Tageszeitung „Die Welt“ und die „Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung“. Seit Anfang dieses Jahres promoviert sie an der Universität München im Fachgebiet Biomechanik und ist nebenberuflich als freie Wissenschaftsjournalistin tätig.

Dr. Karsten Werth ist Referent für Medien- und Öffentlichkeitsarbeit bei der Kraftanlagen München GmbH. Für die Stuttgarter Agentur WortFreunde Kommunikation war er zuvor als Textchef tätig. Er studierte in Tübingen Geschichte und Amerikanistik und promovierte über die öffentliche Wahrnehmung des US-Raumfahrtprogramms der 1960er-Jahre. Erfahrung in Wirtschaft und Journalismus sammelte er außerdem 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.

B/S/H/

BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERÄTE GMBH



Check-in *for innovation*

Willkommen beim Innovationsführer für Hausgeräte, willkommen im Team! Mit unseren Produkten der Marken Bosch, Siemens, Neff, Constructa, Gaggenau sowie unseren Regional- und Spezialmarken machen wir Ihnen das Leben leichter und begeistern anspruchsvolle Kunden auf der ganzen Welt: durch erstklassiges Design und klimaschonende Technologie. Dafür wurden wir 2008 als „Deutschlands nachhaltigstes Unternehmen“ und 2010 mit dem „Innovationspreis für Klima und Umwelt“ ausgezeichnet. Denken auch Sie mit uns weiter.

iKU
Der Innovationspreis für
Klima und Umwelt



www.bsh-group.de



Foto: Heider-Sawall

„Der Ausstieg stellt uns vor Herausforderungen, die es so noch nie gegeben hat“

Deutschland verabschiedet sich von der Atomkraft. 2022 soll der letzte Meiler vom Netz gehen. Gleichzeitig will die Regierung den Ökostrom-Anteil bis 2020 auf 35 Prozent verdoppeln. Welche Folgen hat das für Bürger, Unternehmen und den Wirtschaftsstandort? Und wie lässt sich die Energiewende effizient gestalten? Darüber diskutieren Prof. Hans-Werner Sinn und Prof. Martin Faulstich

Der Atomausstieg in Deutschland ist beschlossene Sache. Sitzen wir demnächst alle im Dunkeln oder wird Deutschland das Musterland der Energieversorgung werden?

Sinn: Wir werden nicht im Dunkeln sitzen. Wir haben ja zum Glück den tschechischen und den französischen Atomstrom. Der wird uns schon die Lampen und den Fernseher nicht ausgehen lassen. Auch die deutschen Energiekonzerne beteiligen sich ja an Atomkraftwerken an unseren Grenzen, um von dort aus Deutschland zu versorgen. Das Problem ist nicht eine Frage der Versorgungssicherheit. Die Frage ist wirtschaftlicher Art: Sollen wir tatsächlich 17 Atomkraftwerke versenken mit all den Werten, die da gebunden sind? Und sollen wir das technische Know-how, das wir haben, aufgeben? Gut, diese Entscheidungen sind getroffen worden von der deutschen Politik. Ich halte sie für extrem irrational und für falsch.

Gilt auch für Bayern, dass die Versorgungssicherheit nach dem Atomausstieg gewährleistet ist? Schließlich ist der Freistaat besonders abhängig von der Kernenergie. Anders als im Bundeschnitt, wo sie einen Anteil von 22 Prozent an der Stromerzeugung hat, sind es in Bayern 60 Prozent.

Faulstich: Wir werden auch in den nächsten Jahren nicht im Dunkeln sitzen. Es ist allerdings schon erstaunlich, dass ausgerechnet Bayern einer der maßgeblichen Treiber dieser Energiewende war. Bayern hat mit 60 Prozent Atomstrom eine vergleichsweise ungünstige Ausgangssituation, um umzuschalten. Wenn der Treiber Mecklenburg-Vorpommern gewesen wäre, dann hätte man das eher verstanden.

War der Ausstieg überhastet?

Faulstich: Jetzt schon. Hätte die Politik den ursprünglichen Ausstiegsbeschluss gelassen, wäre es entspannter gewesen. Dieser unerwartete Ausstieg stellt uns nun vor Herausforderungen, die es wahrscheinlich im Laufe der Industriegesellschaft so noch nie gegeben hat. Wird in starkem Maße auf erneuerbare Energien gesetzt – was ich uneingeschränkt befürworte –, dann brauchen wir zusätzliche Netze und zusätzliche Speicher, um die fluktuierenden Einspeisungen aus Wind und Sonne abzufangen. Und das Ganze muss in wenigen Jahren auf den Weg gebracht werden. Dazu kommt, dass viele Speichertechnologien nicht ausgereift sind. Die Pumpspeicher sind zwar etabliert, aber es sind nicht genügend vorhanden. Deutschland muss also Technologien, die gerade einmal im Ansatz im Labor funktionieren, in wenigen Jahren nicht nur in den großtechnischen ▶



Foto: Heider-Sawall

„Würden wir langfristig nicht auf erneuerbare Energien setzen, müssten wir folglich den gesamten Strombedarf in Deutschland mit Atomkraft decken. Das aber wird nie geschehen und das will auch keiner“

Martin Faulstich

Kurzbiografie	Prof. Martin Faulstich
<p>Der Ingenieur Prof. Martin Faulstich, 54, ist Inhaber des Lehrstuhls für Rohstoff- und Energietechnologie der TU München und Gründungsdirektor des Wissenschaftszentrums in Straubing, ferner Wissenschaftlicher Leiter des ATZ Entwicklungszentrums in Sulzbach-Rosenberg sowie Vorsitzender des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU bzw. Umweltrat) in Berlin. Der SRU hat mehrere Publikationen zur Energiewende verfasst, zuletzt das Sondergutachten „Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung“, erschienen im Juni 2011. Faulstich befürwortet den massiven Ausbau erneuerbarer Energien.</p>	

Maßstab überführen, sie müssen auch in großer Anzahl gebaut werden.

Ist die Energiewende unter diesen Voraussetzungen zu schaffen, Herr Prof. Sinn?

Sinn: Wir werden den Atomstrom verstärkt aus dem Ausland beziehen. Insofern kriegen wir das auf jeden Fall hin. Die Meinung, die manche haben, wir könnten erhebliche Teile unserer gesamten Energieversorgung mit Wind und Sonnenstrom decken, halte ich indes für nicht gut begründet. Man macht sich ja gar keine Vorstellung davon, wie klein der Beitrag und wie gering die Leistungsfähigkeit dieser Stromquellen ist. Wenn Sie eine Umfrage in der Bevölkerung machen, was trägt der Windstrom heute zur Endenergieversorgung Deutschlands bei, dann werden Prozentsätze zwischen 20 und 40 genannt. Das ist der gefühlte Anteil. Aber das ist natürlich falsch. In Wahrheit macht der Windstrom nur kaum nennenswerte 1,4 Prozent des Energieverbrauchs der Bundesrepublik aus. Der Atomstrom trägt auch nicht viel bei, etwas mehr als fünf Prozent. Selbstverständlich kann man rein technisch den Atomstrom durch Windstrom ersetzen. Wenn wir die Anzahl der Windflügel verdreifachen, vervierfachen, verfünffachen – je nachdem, wie man rechnet –, kommt man schon hin. Das ist aber doch alles nur ein Tropfen auf den heißen Stein. Das wahre Problem besteht darin, dass 85 Prozent unserer Energieversorgung auf fossiler Basis beruhen und insofern massiv den Treibhauseffekt begünstigen. Die Alternativtechnologie, die man bislang meinte zu haben, um die Welt vor dem Klimatod zu retten, war die Atomkraft. Der Rest der Welt glaubt das ja auch immer noch. Nur die Deutschen glauben es nicht mehr. Deutschland wird seine Energiewende, so wie sie jetzt angelegt ist, faktisch in Richtung ausländischen Atomstrom und Kohlekraftwerke machen und dann noch ein bisschen Gas dazunehmen. Das ist eine ziemlich frustrierende und ernüchternde Erkenntnis.

Faultich: Wir müssen doch die Potenziale richtig abschätzen. Herr Sinn, Sie haben jetzt die Atomenergie auf den Endenergiebedarf bezogen. Das ist möglich, aber der Endenergiebedarf in Deutschland setzt sich in etwa so zusammen: 50 Prozent der Energie geht in den Wärmebereich, also heizen, Warmwasser etc. Das hat bis auf den einen oder anderen Boiler mit Atomstrom oder Kohlestrom überhaupt nichts zu tun. 20 Prozent

der Energie gehen in den Strom und der Rest, etwa 28 Prozent, ist für die Mobilität. Die Wärme ist weitestgehend stromfrei, die Mobilität ebenfalls. Also reden wir von etwa 20 Prozent Strom, die wir durch andere Quellen ersetzen müssen. Nun müssen wir uns fragen, was wir denn langfristig bis 2050 überhaupt für Alternativen haben? Gehen wir mal davon aus, Kohlekraftwerke könnten nur noch mit CCS, also mit Kohlendioxid-Abscheidung und -Speicherung, betrieben werden: Da sind wir uns sicher einig, dass das eine Sackgasse ist. Würden wir langfristig nicht auf erneuerbare Energien setzen, müssten wir folglich den gesamten Strombedarf in Deutschland mit Atomkraft decken. Das aber wird nie geschehen und das will auch keiner.

Das will keiner? Herr Prof. Sinn, wie soll Ihrer Meinung nach in Zukunft Strom erzeugt werden?

Sinn: Ich bin der Meinung, dass die Atomenergie der richtige Weg war, und deshalb halte ich den Ausstieg für falsch. Ich hätte unsichere Kraftwerke lieber durch sichere ersetzt. Im Übrigen halte ich es nach wie vor für richtig, wenn Deutschland auf die Kernfusion setzt. Wir sind hier bei der Kernfusion sehr weit. Die Max-Planck-Gesellschaft erforscht in Greifswald die physikalischen Grundlagen für ein Fusionskraftwerk. Sie forscht parallel zum Iter in Frankreich, beschreitet also einen eigenen deutschen Weg. Doch dafür werden pro Jahr nur 200 Millionen Euro ausgegeben, während dieses Jahr 17 Milliarden Euro allein für die Einspeisetarife ausgegeben werden. Das ist ein unglaubliches Missverhältnis. Würden wir dieses Geld für die Kernfusion aufwenden, hätten wir die Chance, in ein paar Jahrzehnten grenzenlos Strom aus dieser sicheren Quelle zu produzieren.

Faultich: Rein technisch gesehen haben Sie recht, natürlich könnte ganz Deutschland komplett mit Atomstrom versorgt werden. Dann müssten wir aber, je nach Maßstab, 50, 60 oder 100 neue Reaktoren bauen. Vor allem schnelle Brüter. Ich glaube, selbst diejenigen, die für Kernkraft in Deutschland sind, werden sagen, dass das im Reich der Fantasie ist.

Herr Prof. Faultich, die Bundesregierung will den Ökostrom-Anteil bis 2020 auf 35 Prozent verdoppeln. In Bayern ist man noch ehrgeiziger. Hier sollen die erneuerbaren Energien in zehn Jahren die Hälfte des Stroms produzieren. Bis 2021 ▷

sollen zusätzlich 1000 bis 1500 neue Windenergieanlagen gebaut werden. Ist das im windarmen Bayern sinnvoll? Mal abgesehen davon, dass die Windräder die Landschaft verschandeln ...

Faulstich: Eine Verschandelung der Landschaft, auch der bayerischen, wird es nicht geben. Der Umweltrat hat der Regierung empfohlen, stärker auf Offshore-Wind zu setzen. Und es gibt überhaupt keinen Zweifel, dass das Potenzial in der Nord- und Ostsee – alleine auf den Flächen, die zur allgemeinen Wirtschaftszone Deutschlands zählen – ausreichen würde, 60 bis 70 Prozent des Stroms in Deutschland zu decken. Dort können 7000, 8000 Windkraftanlagen der neuen Generation installiert werden. Zukünftig haben diese pro Turm eine Leistung von zehn Megawatt. Deshalb wird Windenergie schon in 15 oder 20 Jahren preiswerter sein als jede andere Energieform, mit der wir derzeit Strom produzieren – außer abgebaute Kernkraftwerke, das will ich gerne einräumen, in die aber viele Kosten, wie beispielsweise für Versicherungen und Endlager, nicht eingerechnet wurden.

Sinn: Die Wattenmeere reichen nach unserer Rechnung nicht aus. Wollte man auch nur den jetzigen Stromverbrauch durch Windflügel ersetzen, bräuchte man fünf Wattenmeere und nicht eines, und die müssten dicht an dicht im technischen Mindestabstand vollständig bestückt werden mit Riesenrotoren.

Faulstich: Im Wattenmeer dürfen ja gar keine Windkraftanlagen installiert werden. Deutschland hat beschlossen, die Windräder 30 Kilometer vor der Küste zu bauen. Das ist bekanntermaßen technisch schwieriger, hat aber den Vorteil, dass der Wind weit draußen im Meer relativ kontinuierlich weht. Und: Lernkurven, ich weiß, Herr Sinn, Sie mögen diesen Begriff nicht, aber es gibt die Lernkurven, ob beim Kühlschrank, beim Auto oder beim Kraftwerk. Ein Kohlekraftwerk hat um die Jahrhundertwende aus einer Tonne Kohle mit einem Wirkungsgrad von sieben Prozent Strom erzeugt. Moderne Kraftwerke schaffen fast 50 Prozent. Diese Fortschritte wird es auch bei der Windkraft geben. Im Jahr 2050 wird die Windkraft die preiswerteste Energieform sein.

Sinn: Wenn Sie nicht ins Wattenmeer gehen wollen, müssen Sie riesige Ständer unter der Wasseroberfläche bauen, die den Strom extrem verteuern. Der Betrieb solcher Anlagen ist keine einfache Angelegenheit.

Wie sollte der Energiemix der Zukunft aussehen? Ein Energiemix, der nicht nur die Versorgungssicherheit gewährleistet, sondern auch die Einhaltung der Klimaziele. Die Bundesrepublik hat schließlich das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren.

Sinn: Es wird sehr schwierig, dieses Ziel noch zu erreichen, wenn man eine klimaneutrale Energiequelle wie die Atomenergie abschaltet ...

... und den Bau klimaschädlicher Kohlekraftwerke fördert, so wie es die Bundesregierung plant ...

Sinn: Der Energiemix ist überhaupt nicht vom Staat zu planen. Wir leben in einer Marktwirtschaft, nicht in einer Planwirtschaft. Auch wenn man aus der Atomkraft aussteigen will, muss die Politik der Wirtschaft nicht im Einzelnen vorschreiben, wie sie die Stromlücke schließen soll. Da wir in Europa den Emissionshandel haben, kann man es den Energieunternehmen überlassen, die billigsten Ausstiegs- und Ersatzstrategien zu finden. Egal, ob die deutschen Unternehmen auf Kohlestrom oder Windstrom setzen, die Menge an CO₂, die in Europa ausgestoßen wird, wird davon nicht berührt. Wenn wir den grünen Strom zusätzlich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fördern, verdrängen wir zwar fossilen Strom in Deutschland, doch wir verdrängen auch Emissionszertifikate in andere EU-Länder, was diese Länder in die Lage versetzt, mehr fossilen Strom zu produzieren. Das EEG ist schlichtweg doppelt gemoppelt. Es ist vollständig wirkungslos und macht unseren Strom nur unnötig teuer, ohne dass das Weltklima davon irgendetwas hat. Das EEG hilft noch nicht einmal den grünen Technologien selbst, denn was wir hier zusätzlich an grünen Technologien induzieren, geht in anderen Ländern verloren, weil unsere Förderung die Emissionspreise senkt und damit den fossilen Strom in anderen EU-Ländern subventioniert. Der grüne Strom hat dort dann keine Chance mehr. Das EEG behindert die Windflügel in der Bretagne, wo der Wind weht, und die Sonnenpanels in der Estremadura, wo die Sonne besonders intensiv scheint.

Faulstich: Einspruch. Das EEG hat doch eine ganz andere Funktion. Der Umweltrat hat in den letzten Jahren eine Menge ökonomische Literatur ausgewertet, die ▶



„Deutschland wird seine Energiewende, so wie sie jetzt angelegt ist, faktisch in Richtung ausländischen Atomstrom und Kohlekraftwerke machen und dann noch ein bisschen Gas dazunehmen. Das ist eine ziemlich frustrierende und ernüchternde Erkenntnis“

Hans-Werner Sinn

Kurzbiografie	Prof. Hans-Werner Sinn
Der Ökonom Prof. Hans-Werner Sinn, 63, ist seit 1999 Präsident des ifo Instituts für Wirtschaftsforschung in München und Geschäftsführer der CESifo GmbH. Sinn ist außerdem Direktor des Center for Economic Studies (CES) an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Eine von Sinns wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist „Das grüne Paradoxon – Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik“ aus dem Jahr 2008. In dem Buch setzt Sinn sich kritisch mit der europäischen Klimapolitik auseinander. Er hält den Atomausstieg für falsch.	

den Emissionshandel untersucht hat. Und da zeigt sich, dass der Elektrizitätsmarkt ein paar Besonderheiten hat: Der Emissionshandel führt dazu, dass die bestehenden Anlagen inkrementell verbessert werden. Aber wenn wir auf völlig neue Technologien umsteigen wollen, wie jetzt zum Beispiel auf Wind, dann kann der Emissionshandel den Wind nicht angemessen berücksichtigen, weil zusätzlich Netze und Speicher benötigt werden, und die wird der Emissionshandel nicht induzieren, da er nicht hinreichend langfristig wirkt.

Sinn: Das stimmt nicht. Wenn wir den Atomstrom abschalten, werden die Emissionszertifikate mehr nachgefragt, der fossile Strom wird teurer, und der grüne Strom kommt weiter nach vorn, inklusive all der Zusatzanlagen, die er braucht, von den Fernleitungen bis hin zu den Gaskraftwerken, die man bereithalten muss, Strom zu liefern, wenn der Wind nicht weht. Auch die Speicherkraftwerke lohnen sich eher, wenn die Emissionspreise höher sind. Und wenn sie sich immer noch nicht lohnen, dann ist es eben so, dann sollte man sie auch nicht bauen. Diese diffizilen Entscheidungen kann nicht der Staat treffen, sondern nur der Markt ganz allein, wohlgerne ein Markt, der durch den Emissionshandel bereits gezwungen ist, die Umwelt zu schonen.

Faulstich: Das EEG hat aus unserer Sicht eine richtig gute Funktion. Und das ist, Lernkurven und Skaleneffekte in Gang zu setzen.

Sinn: Das ist kein Argument. Lernen kann man auch in einem System, in dem die Preise der Emissionszertifikate die grünen Technologien wettbewerbsfähig machen. Und wenn die Preise immer weiter steigen, haben die privaten Marktpartner den vollen Anreiz, heute schon in Technologien von morgen zu investieren, die ohne fossile Brennstoffe auskommen. Der Staat kann mit dem EEG auch in dieser Hinsicht nichts zu den Anreizeffekten beitragen, die ohnehin schon vom Emissionshandel ausgehen. Der Staat kann nicht besser wissen als die Firmen, wo innoviert werden sollte, wo Marktchancen sind. Das können immer nur die entscheiden, die ihr eigenes Geld riskieren.

Geld ist ein gutes Stichwort. Der Atomausstieg verursacht steigende Strompreise. Auf die Wirtschaft, insbesondere auf die energieintensiven Branchen, kommen hohe Kosten zu.

Faulstich: Es ist keine Frage, dass die Preise bei einem kontinuierlichen Umstieg auf 100 Prozent erneuerbare Energien zwischenzeitlich ansteigen. Der Grund sind die Netze und Speicher, und weil die erneuerbaren Energien derzeit noch relativ teuer sind. Aber wenn es bis 2050 einen Mix aus 100 Prozent erneuerbaren Energien gibt, dann sind diese bei einem relativ gut vernetzten System, und dazu existieren – unter vielen anderen – Studien von renommierten Unternehmensberatungen, preiswerter als jeder konventionelle Mix.

Bis 2050 sind es noch fast 40 Jahre. Wollen Sie in der Zwischenzeit Firmen wie BASF oder Wacker ziehen lassen?

Faulstich: Natürlich will ich sie nicht ziehen lassen. Aber: Energieintensive Branchen wandern ohnehin seit Jahren ab, nämlich dorthin, wo der Strom am allergünstigsten ist. Es gibt nicht ohne Grund so viele Aluminiumhütten in Skandinavien oder Brasilien. Da ist die Wasserkraft sehr preiswert. Das heißt: Solche Branchen könnten selbst dann nur schwer hier gehalten werden, wenn der Strom zu durchschnittlichen Erzeugungskosten konventioneller Energieerzeugung angeboten würde. Wenn man aber die Unternehmen anderer Branchen, die ihre Wertschöpfung ins Ausland verlagert haben, betrachtet, beispielsweise den Dienstleistungssektor, dann muss doch ohnehin erst einmal untersucht werden, welchen Anteil die Energiekosten an den Gesamtkosten eines Unternehmens überhaupt ausmachen.

Sinn: Wenn die grünen Technologien billiger sind, muss man sie nicht fördern. Dann wählt der Markt sie von ganz allein. Fördern muss man sie nur, wenn sie teurer sind. Insofern ist klar, dass jedwede Sonderförderung der grünen Technologien die Stromkosten in Deutschland nochmals erhöhen wird, ohne dass das der Umwelt irgendetwas bringt. Die Sonderförderung über das EEG hat bereits zu extrem stark steigenden Energiepreisen in Deutschland geführt, und sie wird das weiterhin tun. Das geht zulasten des Lebensstandards der Verbraucher und, weil es energieintensive Industrien vertreibt, auch zulasten der Löhne und Arbeitsplätze.

Bietet der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht auch Chancen für die Wirtschaft? Werden nicht Arbeitsplätze geschaffen?

TUM.Energy	
<p>TUM.Energy ist die größte fakultätsübergreifende Forschungsinitiative der TU München. Nahezu 100 Professoren aus zehn Fakultäten widmen sich den technischen Herausforderungen des Nachhaltigkeitspostulats. Die Wissenschaftler aus unterschiedlichen Fachrichtungen bearbeiten das zentrale Thema Energie mit</p>	<p>unterschiedlichen Methoden, Ansätzen und mit jeweils andersartigem Wissen. Hieraus ergibt sich eine ganzheitliche Betrachtung der relevanten Fragestellungen, woraus sich völlig neue und innovative Ansätze ergeben, die in der zukünftigen Energieversorgung Anwendung finden werden.</p>
<p>Die Arbeit verfolgt folgende übergeordnete Ziele:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Ausbau der Nutzung von erneuerbaren Energien 2 Elektromobilität zur Reduktion von Ölverbrauch und CO₂-Emissionen im Transportsektor 3 Erforschung und Entwicklung von Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Bereitstellung und dem Transport von Energie 4 Sinnvolle und effiziente Nutzung von Energie besonders im Gebäudebereich, der einen erheblichen Anteil am Primärenergiebedarf einnimmt 	
<p>Diese Schwerpunkte werden durch Netzwerke abgebildet, in denen sich Wissenschaftler verschiedenster Fakultäten detailliert mit innovativen Lösungsansätzen zu Problemen ihres Themenfeldes beschäftigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Center for Power Generation wird erforscht, wie die Effizienz und die Klimaverträglichkeit des bestehenden und zukünftigen Kraftwerksparks durch moderne, innovative Technologien ausgebaut und verbessert werden kann. • Im Netzwerk Regenerative Energien wird Grundlagenforschung im Bereich neuer Technologien und Materialien betrieben und es werden Verbesserungen von bestehenden Technologien angestrebt, um deren Anwendbarkeit zu steigern. • Das Wissenschaftszentrum Elektromobilität beinhaltet ein breites Spektrum an Themen von grundlegender Batterieforschung über die Entwicklung und Auslegung von Elektrofahrzeugen bis hin zu zukünftigen Mobilitätskonzepten. • Das Zentrum für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen beschäftigt sich mit Energieeffizienz bei der Gebäudenutzung und deren Berücksichtigung von der Planungsphase an. Dabei werden nicht nur technologische Aspekte berücksichtigt, sondern es werden auch sozio-ökologische Rahmenbedingungen in städteplanerischen Ansätzen mit einbezogen. <p>Alle Einzelbereiche arbeiten sowohl innerhalb als auch untereinander vernetzt und ermöglichen hervorragende Forschungsergebnisse und besonders umfassende Lösungsansätze.</p>	

Link
www.tum-energy.de

Faulstich: Dass in bestimmten Branchen wie beispielsweise der Windkraft viele Arbeitsplätze geschaffen worden sind, ist gar keine Frage. Nur, diese Arbeitsplätze sind in anderen Branchen weggefallen. Ingenieure, die vorher Kohlekraftwerke gebaut haben, bauen jetzt Windkraftanlagen. Wenn Unternehmen nun sagen, wir haben Tausende Arbeitsplätze im Bereich Windenergie geschaffen, dann heißt das nicht, dass diese netto Ar-

beitsplätze geschaffen haben. Was unterm Strich rauskommt, kann man nicht so einfach sagen. Die neu zur Verfügung gestellten Arbeitsplätze sind auf jeden Fall zukunftssicher.

Das Interview führte Sabine Hölper

Das Streitgespräch wurde erstmals veröffentlicht im IHK-Magazin für München und Oberbayern – 09/2011



Wolfgang Reitzle

Erinnerung an die Vielfalt der Existenz

„Was zählt, ist unsere Stärke. Aber ebenso sehr kommt es auf den Geist an, der die Grundlagen für diese Stärke liefert und der sie kontrolliert.“ US-Präsident John F. Kennedy, der mit diesen Worten im Jahre 1963 den Dichter Robert Frost ehrte, pflegte den Kontakt zu Kunst und Kultur in besonderer Weise.

Die von ihm vorangetriebene Öffnung des Weißen Hauses für Repräsentanten des geistigen Lebens war damals fast so etwas wie eine Revolution. Nicht wenigen galt sie als weiterer Beleg für eine gewisse Naivität gegenüber der Welt der harten Fakten im politischen Tagesgeschäft. In der Rückschau indes stellen sich andere Fragen: Hätten die USA je einen Mann auf den Mond gebracht ohne das tiefe Verständnis des Präsidenten für Symbole und die Kraft einer bewegenden Vision? Hätte es den Erfolg der Civil-Rights-Bewegung gegeben ohne die politisch und philosophisch begründeten Überzeugungen des Harvard-Absolventen? Und: Wie wäre die Kuba-Krise ausgegangen, hätten Kennedy und seine Berater nicht verstanden, auf welchem verschlungenen Wegen Kommunikation miteinander funktioniert?

Einer geläufigen Unterscheidung zufolge geht es in den Geisteswissenschaften um das Verstehen, in den Natur- und Technikwissenschaften hingegen um das Begreifen. Die einen haben es mit handfesten Fakten zu tun, mit zählbarer, messbarer Materie. Die anderen mit deren Bedeutung in bestimmten historischen, gesellschaftlichen oder geistigen Kontexten. Das heißt: Beide gehören zusammen. Gerade in Deutschland aber wollte es die Entwicklung der Wissenschaftsgeschichte, dass zwischen den Bereichen streng unterschieden wurde. Es entstanden Gräben, die zum Teil bis heute bestehen. Wer sie überwinden will, muss dazu beträchtliche Anstrengungen übernehmen – Anstrengungen, wie sie an der TU München seit einigen Jahren gute Tradition sind. Ein Beispiel von vielen ist die Carl von Linde-Akademie. Seit 2008 geht es hier um Fragestellungen der Ethik und der Kommunikation. Zum anderen geht es darum, die weitreichenden gesellschaftlichen Implikationen von Technologie zu beschreiben und zu verstehen, also um die Auseinandersetzung mit sozialwissenschaftlichen und historischen Fragestellungen.

Dass die TUM darüber hinaus die Gründung des Munich Center for Technology in Society vorbereitet, zeigt, dass dieser Weg weitergeführt wird. Gerade aus Sicht international tätiger Unternehmen sind solche Einrichtungen unentbehrlich. Unternehmen wie Linde

beschäftigen viele Tausend Mitarbeiter aus fast allen Nationen. Sie kommunizieren über die Grenzen der Länder, Sprachen und Kulturen hinweg und arbeiten gemeinsam am Erfolg des Unternehmens. Das ist ohne Verstehens-Kompetenz kaum erfolgreich zu leisten. Gleiches gilt für die inhaltlichen Herausforderungen, mit denen wir es zu tun haben. Denn: Die Anstrengungen, die notwendig sein werden, um beispielsweise unsere Energieversorgung weltweit nachhaltig sicherstellen zu können, werden wir als Gesellschaft, vor allem aber als Einzelne, nur auf uns nehmen, wenn uns ihr Sinn einleuchtet. Sinn ist der Schlüssel zu jeder persönlichen und kollektiven Motivation, die von Dauer und tragfähig sein soll. Sinn zu erschließen aber ist das Handwerk der Bedeutungswissenschaften, wie die Human- oder Geisteswissenschaften auch heißen könnten. Sie sind deshalb in einem sehr grundsätzlichen Sinne unverzichtbar. Für ihr Verhältnis zu den Technikwissenschaften gilt dasselbe, was John F. Kennedy über das Verhältnis der Kunst zur politischen Macht schrieb: „Wenn sich das Bewusstsein des Menschen unter dem Einfluss der Macht zunehmend verengt, erinnert ihn die Dichtung an den Reichtum und die Vielfalt seiner Existenz.“ Solche Erinnerung ist auch für die Ingenieurinnen und Ingenieure von morgen eine gute Begleiterin. □

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reitzle

Wolfgang Reitzle ist Vorsitzender des Vorstands der Linde AG und einer der renommiertesten Manager Deutschlands. Der promovierte Ingenieur ist 1976 in die BMW AG eingetreten, für die er 23 Jahre tätig war, davon 13 Jahre als Mitglied des Vorstands. Von 1999 bis 2002 fungierte Reitzle als Group Vice-President für die Ford Motor Company und war gleichzeitig Chairman und CEO der Premier Automotive Group, London. Im Mai 2002 wechselte er in den Vorstand der Linde AG, dessen Vorsitz er 2003 übernahm. Im Jahr 2006 wurde er zum Manager des Jahres gekürt. Im Oktober 2009 wurde Reitzle zum Vorsitzenden des Aufsichtsrats der Continental AG ernannt. Wolfgang Reitzle ist seit 2005 Honorarprofessor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der TU München.

Wir sind

mit technologisch anspruchsvollen und zukunftssträchtigen Produkten weltweit führend im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus. Schwerpunkt der Brückner-Gruppe in Siegsdorf sind komplette Produktionsanlagen und schlüsselfertige Fabriken für die Kunststoff-Verarbeitung. Die Mitglieder der Gruppe beschäftigen über 1.300 Mitarbeiter.

Wir suchen m/w

PROFESSIONALS

ABSOLVENTEN

VERFASSER VON ABSCHLUSSARBEITEN

PRAKTIKANTEN

in den Fachrichtungen

- Elektro-/Informationstechnik
- Mechatronik
- Maschinenbau
- Kunststoff-/Verfahrenstechnik
- Produktionstechnik

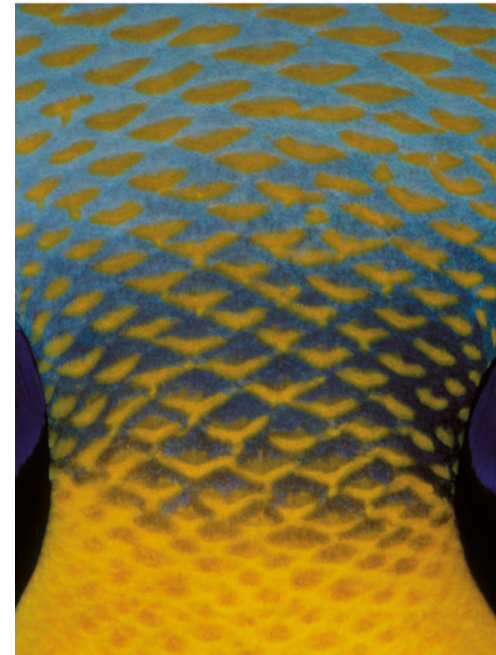
Wir erwarten:

- Fundierte Ausbildung
- Bereitschaft zu längeren Auslandsreisen
- Gute Englischkenntnisse

Wir bieten:

- Abwechslungsreiche Aufgaben
- Gute Sozialleistungen
- Leistungsgerechte Bezahlung
- Entwicklungsmöglichkeiten
- Internationales Umfeld

Stellenangebote unter www.brueckner.com



BRÜCKNER


BRÜCKNER
 **SERVTEC**

KIEFEL
 A Member of Brückner Group

PSG
 PackSys Global

Wir freuen uns auf Ihre
Bewerbung:

Brückner Maschinenbau
GmbH & Co. KG
Königsberger Straße 5-7
D-83313 Siegsdorf
Tel. +49- 8662/ 63 - 9627
hr@brueckner.com




Dimitri Meulaping Feyou arbeitet im Bereich Personal Entertainment. Und ist Teil unseres Erfolgs.

MEIN JOB HAT WAS. ZUKUNFT.

WERDEN AUCH SIE TEIL DES ERFOLGS. KARRIERE BEI DER BMW GROUP.

Mit welchem Antrieb fährt das Automobil von morgen?
Wie ist es mit seiner Umgebung vernetzt?
Und wie bewegt es sich klimaneutral von A nach B?
Entwickeln Sie gemeinsam mit uns die besten Antworten!

Sie suchen eine spannende Herausforderung? Detaillierte Informationen, aktuelle Stellenangebote zu Themen wie Elektromobilität, CFK, Softwareentwicklung und Business IT sowie 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