

ISSN 14453022
9 77 1865 502004

Schutz-
gebühr
€ 3,-

Das Wissenschaftsmagazin

Ausgabe 3 Oktober 2008

Technische Universität München

TUM

Faszination Forschung

Quanten als Computer

Wie TUM-Forscher eine neue Ära
der Informationstechnik einleiten

Keine Chance für Piraten

Urheberschutz mit neuen Mitteln

Fliegen beginnt im Kopf

Wie Sportler Erfolg lernen können

Stammzellen-Suche · Auto der Zukunft · Das Skelett der Zellen



SSF Ingenieure

BMW Welt München | Architekt: COOP HIMMELB(L)AU
Wolf D. Prix/W. Dreibholz & Partner ZT GmbH

Foto: Schreiber

Im Auftrag der Architekten haben wir beim Neubau der BMW Welt für die Ausführungsplanung, die Ausschreibung der Bauleistungen und die Bauüberwachung die Verantwortung übernommen.

In enger Zusammenarbeit mit der Grundlagenforschung von Universitäten entwickeln wir anwendungsorientiert neue Bauverfahren und bringen sie auf den internationalen Markt. Unser Fundament und Rückgrat sind gut ausgebildete Bauingenieure und Architekten.

SSF Ingenieure GmbH
Beratende Ingenieure im Bauwesen

www.ssf-ing.de

Liebe Leserinnen und Leser!

Tiefgang und Horizont – Faszination Forschung

Vom Kleinsten zum großen Ganzen – Faszination Forschung präsentiert die ganze Breite der Wissenschaft an der Technischen Universität München: von der Forschung mit Quantencomputern, die mit Spins rechnen, blutbildenden Stammzellen oder dem äußerst dynamischen Zellskelett über das „kognitive Automobil“ bis zu Sportpsychologen, die Stoffwechselfvorgänge im Gehirn während sportlicher Höchstleistungen erforschen. Von der Idee zum konkreten Wissen und zur Anwendung.



Herzchirurgen am Deutschen Herzzentrum München an der TUM haben lange Erfahrung mit dem Einsatz von Telemanipulatoren. Vor etlichen Jahren schon meisterten sie die weltweit erste totalendoskopische Mitralklappen-Rekonstruktion. Jetzt bringen sie dem Operationsroboter das Feingefühl bei, den Tastsinn. So bekommen die Operateure ein hochsensibles haptisches Feedback. Für die Patienten sind die Vorteile einer Operation mit dem Telemanipulator groß. In der minimalinvasiven Herzchirurgie muss der Brustkorb nicht geöffnet werden, die Erholungszeiten verkürzen sich erheblich.

Wissenschaft aus der TU München findet auch den Weg in die Politik. Prof. Martin Faulstich ist Visionär und Treiber, wenn es um die Entwicklung effizienter Verfahren zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Energiegewinnung oder in der Chemieproduktion geht. Als Vorsitzender des Sachverständigenrats für Umweltfragen findet er mit seinen Ideen das Gehör der Bundesregierung. Prof. Holger Magel hat die bayerische Dorferneuerung zum Exportschlager gemacht und bis in das chinesische Dorf Nan Zhang Lou gebracht. Überzeugt davon, dass die Landfrage vor allem in Entwicklungs- und Transformationsländern im 21. Jahrhundert von zentraler Bedeutung ist, setzt er sich in Wissenschaft, Lehre und Politik für eine gerechte Landverteilung ein.

Schwergevigentlich und wichtig ist die Arbeit von Prof. Hans Hauner – unserem Ernährungsmediziner, der Weihenstephan mit dem TUM-Klinikum Rechts der Isar verbindet. Will er doch mit Aufklärung und Überzeugungsarbeit einen Trend stoppen, der ganz Europa erfasst hat, das grassierend zunehmende Übergewicht schon im Kindesalter mit allen seinen Krankheitsfolgen.

Tiefgang und Horizont, das sind die Attribute der TUM-Spitzenforschung. Mit einem gewissen Stolz gebe ich heute auch das dritte Heft unserer Faszination Forschung in Ihre Hände. Was Sie, liebe Leser, heute erfahren, ist Interdisziplinarität pur.

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

In dieser Ausgabe

Seite 38

Chemie/Physik:
Quanten als Computer

Bild: Glaser, TUM

Seite 24

Medizin:
Auf der Jagd
nach Mister X

Bild: Massberg, TUM

Seite 62

Geodäsie:
Ein bayerischer
Exportschlager

Foto: Magel

Elektrotechnik:
Ein Traum auf
vier Rädern

Seite 6

Foto: Matthias Goebel, RCS/TUM

Bayerische Dorferneuerung als Vorbild für China:
TUM-Forscher begleiten ein Modellprojekt

Einparken, Notbremsen, Staufahren: Forscher
bringen dem Auto der Zukunft das Fahren bei

Titelgeschichten

- Ein Traum auf vier Rädern**
TUM-Forscher entwickeln das kognitive Auto 6
- Auf der Jagd nach Mister X**
Wie Forscher das Rätsel der Alleskönner lösen 24
- Fliegen beginnt im Kopf**
Neue Trainingsmethoden für den perfekten Salto . . . 32
- Quanten als Computer**
Wie wir morgen rechnen werden 38
- Produktpiraten – bald ohne Enterhaken?**
Die TUM tritt an, Fälschern das Handwerk zu legen . 46
- Zellen in Bewegung**
Biophysiker finden das dynamische Skelett 76

Forschung und Technik

- Diabetes: Schwer im Kommen**
Was Wissenschaftler jetzt empfehlen. 14
- Gewässerüberwachung per Handy**
Wie TUM-Forscher für saubere Flüsse sorgen 31
- Durchleuchtung einmal anders**
Neutronen – Detektive in der Materialforschung . . . 52
- Roboter mit viel Gefühl**
Forscher entwickeln Telemanipulator mit Tastsinn. . . 56
- Ein bayerischer Exportschlager**
Dorferneuerung auf chinesisich 62
- Die Technik aus dem Kuhmagen**
Wie aus Reststoffen wertvolles Biogas wird 71
- Die Hülle für gesunde Keime**
Nahrung mit Zusatznutzen 72

Sportpsychologie: Fliegen beginnt im Kopf

Seite 20

Seite 72

Interview mit Prof. Faulstich Biomasse hat Zukunft

Lebensmittelforschung: Die Hülle für gesunde Keime

Energie und Rohstoffe aus der Natur:
TUM-Forscher entwickelt Lösungen für morgen

Nahrung mit Zusatznutzen:
Probiotika als Helfer für den gestressten Darm

Rubriken

| | |
|---|----|
| Editorial | |
| Tiefgang und Horizont | 3 |
| Energie aus der Natur – eine Lösung für morgen | |
| 7 Fragen an Prof. Martin Faulstich | 20 |
| Autoren | 75 |
| Impressum | 75 |
| Standpunkt: Prof. Hans-Jörg Bullinger | |
| Der Kreative ist König. | 82 |

Weise Worte der Wissenschaft

Sir Bertrand Russell (1872-1970)

Darin besteht das Wesen der Wissenschaft. Zuerst denkt man an etwas, das wahr sein könnte. Dann sieht man nach, ob es der Fall ist und im allgemeinen ist es nicht der Fall.

Hermann Hesse (1877-1962)

Jede Wissenschaft ist, unter anderem, ein Ordnen, ein Vereinfachen, ein Verdaulichmachen des Unverständlichen für den Geist.

Immanuel Kant (1724-1804)

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

Links

www.rcs.ei.tum.de
www.kognimobil.org





Illustration: edlundsepp

Es ist spät geworden. Nach einem Besuch im Theater waren Sie mit Freunden in Ihrem Lieblingslokal. Das eine oder andere Glas Wein haben Sie auch getrunken. Eigentlich zu viel Alkohol, um selbst noch mit dem Auto nach Hause zu fahren. Doch es kommt Ihnen nicht in den Sinn, ein Taxi zu bestellen. Sie steigen selbstverständlich in den eigenen Wagen – und nehmen auf der Rückbank Platz. Der Bordcomputer begrüßt Sie mit vertrauter Stimme und fragt nach dem Fahrziel. „Nach Hause“, rufen Sie ihm zu und los geht's. Zufrieden lächelnd winken Sie den Freunden im Fond ihrer fahrerlosen Vehikel zu, die sich ebenfalls im Großstadtverkehr auf den Heimweg machen. Willkommen in der Zukunft!

Der Fahrer nimmt Platz – auf dem Rücksitz

Heute klingt solch ein Szenario unrealistisch. Noch. Denn was sich liest wie ein Traum, wird in wenigen Jahrzehnten technisch machbar sein. Das Fahrzeug der Zukunft ist Teil eines intelligenten, sich selbst organisierenden Verkehrssystems, in dem sich Autos autonom bewegen und miteinander kommunizieren. Wissenschaftler der TU München arbeiten an dieser neuen Form von Mobilität, die uns mehr Komfort und Sicher-

heit verspricht und zudem umweltfreundlicher ist. Sie entwickeln „Kognitive Automobile“. So nennt sich auch der transregionale Sonderforschungsbereich (SFB) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), an dem neben der TU München die Universität der Bundeswehr in Neuburg und die Technische Universität Karlsruhe beteiligt sind.

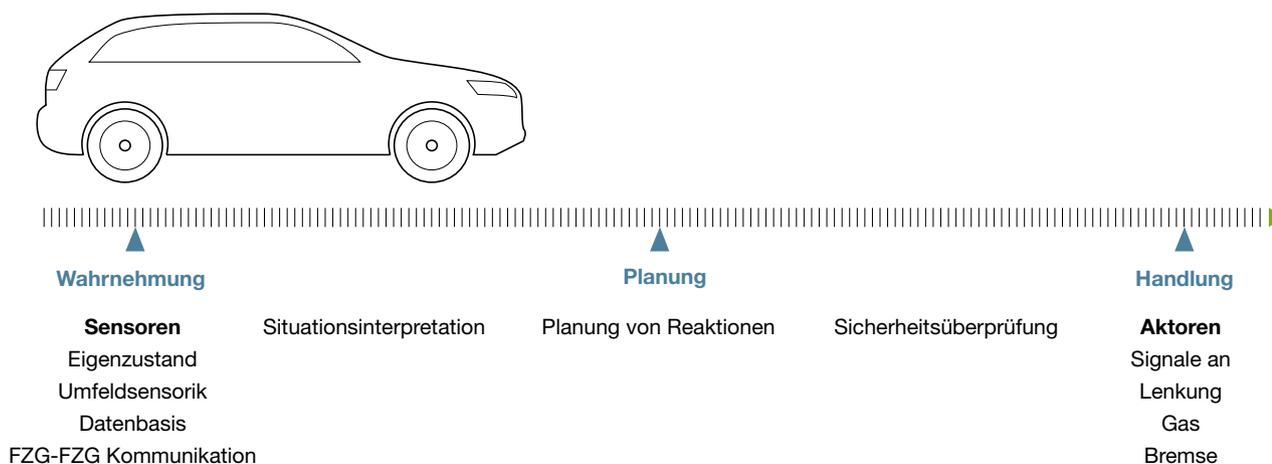
Vorbild Mensch

Professor Georg Färber, Inhaber des Lehrstuhls für Realzeit-Computersysteme (RCS), koordiniert die Beiträge der TU München an dem seit Anfang 2006 laufenden Sonderforschungsbereich, kurz: SFB. Er erklärt: „Was wir machen, ist Grundlagenforschung. Ein Auto, das seinen Fahrer unterstützen oder diesen ganz ersetzen soll, muss verschiedene Dinge können.

Zunächst einmal muss es die Umwelt wahrnehmen und sich ein realistisches Bild von der Situation machen, in der es sich bewegt. Hat das Fahrzeug diese Informationen verarbeitet, kann es seine Aktionen planen und diese schließlich ausführen. Das sind auch die drei Aufgabenbereiche, in die unser SFB aufgeteilt ist: Wahrnehmung, Planung und Ausführung.“ Färber betont, dieses auf zwölf Jahre angelegte Projekt, an dem derzeit 25

Bei einer autonomen Fahrt laufen verschiedene Einzelprozesse ab. Zunächst müssen Daten, die die unterschiedlichen Sensoren erfassen, zusammengeführt und ausgewertet werden, um ein realistisches Bild der Fahrzeugumgebung und Verkehrssituation zu bekommen. Daraus plant das System eine Aktion, die nach einer Sicherheitsüberprüfung von den Aktoren Lenkung, Gas und Bremse ausgeführt wird

Grafik: edlundsepp nach RCS



Wissenschaftler arbeiten, sei nicht direkt auf eine Revolution des Straßenverkehrs gerichtet: „Wir lernen vielmehr am Beispiel des Autofahrens, wie wir Menschen funktionieren, und suchen nach Wegen, den Maschinen unsere Fähigkeiten beizubringen.“

Das menschliche Gehirn ist der Ausgangspunkt der interdisziplinären Erforschung einer wissenschaftlichen Theorie der Kognition im Anwendungsbeispiel Automobil. Es kann Bewegungsabläufe erlernen, steuern, und das Verhalten des „Systems Mensch“ je nach Umgebung und Aufgabe anpassen. Das Beispiel Autofahren zeigt, welche komplexen Aufgaben wir dank der Leistung unseres Gehirns alltäglich bewältigen (siehe oben stehende Grafik). Ausgestattet mit solchen kognitiven Fähigkeiten könnten technische Systeme zuverlässiger und flexibler agieren, mit weniger Detailprogrammierung auskommen und sich selbst an neue Herausforderungen anpassen.

Denkende Maschinen, die ihre Leistung selbstständig verbessern und immer mehr Kontrolle übernehmen – das klingt nach Science-Fiction und weckt bei Menschen, die das Steuer selbst in der Hand halten möchten, ein mulmiges Gefühl. Doch es ist eine Sache des Vertrauens, wie ein Blick in die Forschungspraxis zeigt.

Testfahrt im rollenden Labor

Ein silberfarbener Audi Q7 rollt über das Testgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg. Am Steuer sitzt ein Sicherheitsfahrer. Seine Hände berühren das Lenkrad nicht. Der Wagen lenkt selbst. Auch über Gas und Bremse führt der Hochleistungsrechner im mit Elektronik vollgepackten Heck des Q7 das Kommando. Ein Bildschirm zeigt den Ingenieuren an Bord, was die Sensoren des Wagens messen und wie er reagiert. Der Mann auf dem Fahrersitz müsste nur im Notfall eingreifen.

Er fungiert mehr als eine Art Fahrlehrer, der mit seinem Schüler übt. Wenn er das Lenkrad leicht bewegt, korrigiert der Roboter sofort mit einer Gegenbewegung und bleibt in der Spur. Seit Januar 2007 fährt dieser Prototyp der TU München – eines von drei Fahrzeugen, die dem SFB „Kognitive Automobile“ zur Verfügung stehen. Seitdem entwickelt er ständig neue Fähigkeiten.

Für die Ingenieure, die öfter in diesem rollenden Labor unterwegs sind, ist der Eigensinn ihres Testfahrzeugs Normalität. „Wir haben uns schon so sehr daran gewöhnt, dass wir manchmal vergessen, ob wir gerade im autonomen Betrieb laufen oder nicht“, sagt Florian Ratte, ein Mitarbeiter des RCS. Mit einem Lächeln

Elektrotechnik

cheln fügt er hinzu: „Wenn wir Gäste mitnehmen, sind diese meistens sichtlich beeindruckt von ihrer ersten autonomen Autofahrt.“ Die Versuchs- und Demonstrationsfahrten sind Höhepunkte in der langwierigen und diffizilen Arbeit der Wissenschaftler, die ansonsten volle Konzentration auf jedes Detail erfordert.

Wie Autos mit Maschinen sehen lernen

Rattei befasst sich in seinem Teilprojekt mit dem Thema Wahrnehmung, gewissermaßen mit Augen und Verstand des KogniMobils. Hier ist Pionierarbeit gefordert, denn eine ideale Technik für maschinelle Wahrnehmung im Automobil gibt es noch nicht. Ultraschall eignet sich nur für den Nahbereich bei sehr langsamen Geschwindigkeiten. Solche Sensoren kommen bereits in neuen Automodellen als Einparkhilfen zum Einsatz.

Radar ist eine gute Lösung für große Vorausschauweiten, auch bei schlechter Sicht. Es kann aber nur einen kleinen Bereich erfassen. LIDAR ist eine vielversprechende, dem Radar verwandte Methode, die Entfernungen mit Laserlichtstrahlen misst. Viele Experten sind

davon überzeugt, dass vor allem Videokameras großes Potenzial für das Auto der Zukunft bieten. Diese passiven Sensoren liefern Bilder, wie sie auch das menschliche Auge sieht.

„An der Position des Rückspiegels haben wir zwei schwenkbare Weitwinkelkameras und eine Telekamera angebracht“, erklärt Rattei den Aufbau im Fahrzeug der TU München. „So können wir mit verschiedenen Brennweiten gleichzeitig Wahrnehmungsaufgaben im Nah- und Fernbereich lösen.“

Die Telekamera ist zudem inertial stabilisiert und kann damit die im Fahrzeug auftretenden Nickbewegungen weitgehend ausgleichen. Während die Telekamera einzelne Objekte fokussieren kann, beobachten die Weitwinkel-Optiken das periphere Verkehrsumfeld. Der Wagen orientiert sich an den Fahrbahnmarkierungen. Auf der Autobahn ist das noch verhältnismäßig einfach. Auf einer Landstraße mit vielen engen Kurven müssen sich die Kameras ständig in die optimale Blickrichtung drehen, genauso wie der Autofahrer den Kopf bewegen würde. Auch das funktioniert bereits gut. Rattei be-

Ein realzeitfähiger Hochleistungsrechner interpretiert die Daten von Kameras, Radar, Infrarot-Sensoren und dem GPS-Empfänger und steuert die autonome Testfahrt



Fotos: links oben und unten: Matthias Goebel, RCS/TUM; rechts oben: Robert Nagel, LKN/TUM; rechts unten: Florian Rattei, RCS/TUM

stätigt: „Wir können mit unserem Q7 auch auf kurvenreicher Strecke die Spur halten. Im Juni haben unsere Fahrzeuge bei Tests im Rahmen der Tagung Intelligent Vehicles in Eindhoven sogar schon Autos vor sich erkannt und überholt. Alles in sehr gemächlichem Tempo natürlich. Aber das war ein weiterer Meilenstein für uns im SFB.“

Das Ziel: Orientierung auch bei Nacht

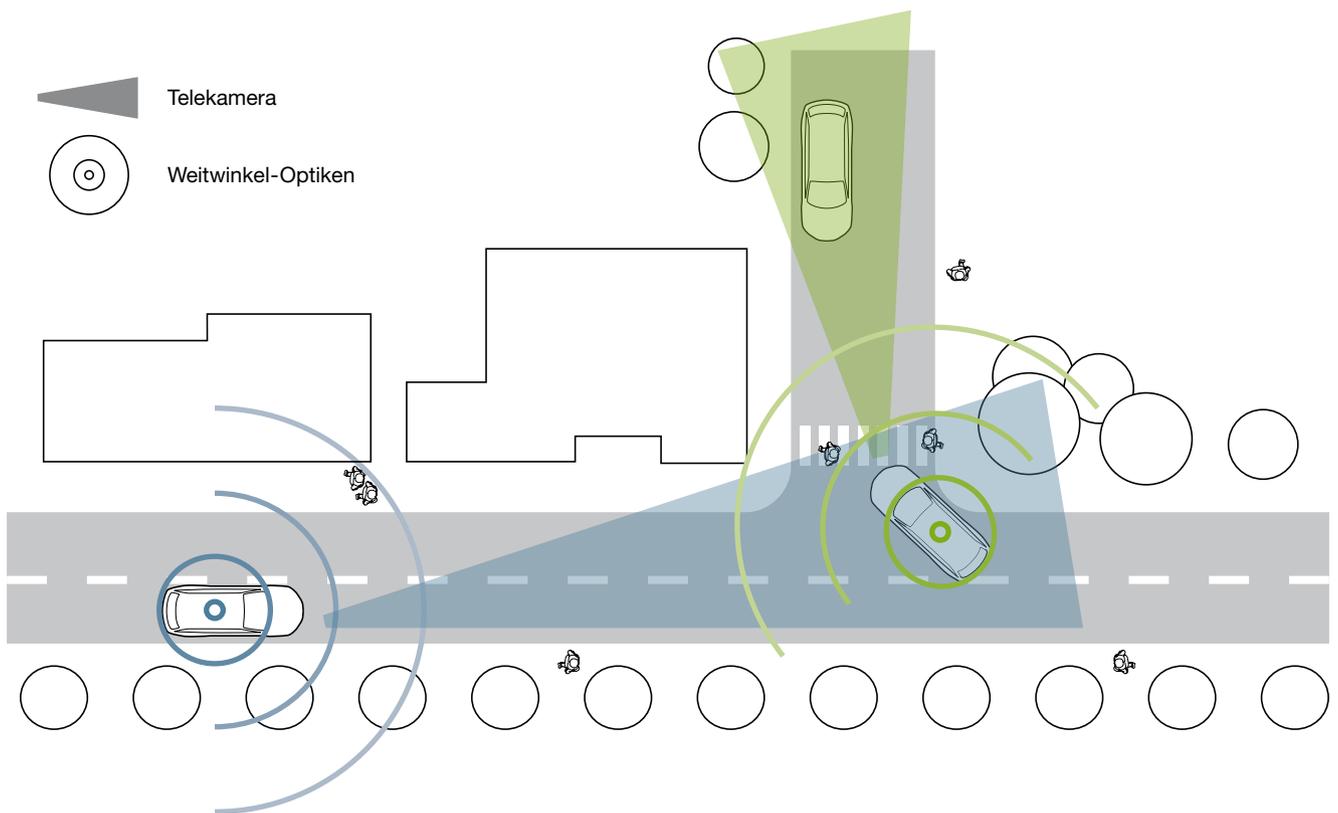
Eine große Herausforderung sieht der Forscher darin, die verschiedenen Informationen und Informationsquellen des KogniMobils, zu denen auch ein GPS-Empfänger und ein Infrarot-Nachtsichtgerät gehören, zu integrieren und intelligent zu kombinieren. Dazu arbeitet er mit weiteren Projektgruppen zusammen, die sich mit der Fusion von Daten befassen.

„Insgesamt muss die Wahrnehmung noch viel robuster werden“, sagt Rattei. „Wir haben zum Beispiel noch Probleme, mit unseren visuellen Sensoren alle Lichtverhältnisse richtig abzubilden.“ Die Suche nach den besten Lösungen organisiert der SFB „Kognitive Automobile“

mit sich ergänzenden Beiträgen aus den Teilprojekten, aber auch im Wettbewerb seiner Forscherteams. Professor Färber erklärt: „Die Kollegen in Karlsruhe haben beim Thema Wahrnehmung einen Ansatz, der das Stereosehen betont. Das bringt gute Ergebnisse bei der räumlichen Tiefe. Wir konzentrieren uns auf die bioanaloge Interpretation. Das heißt, wir geben dem Auto möglichst viel gespeichertes Vorwissen und Erfahrungswerte zur Hilfe beim Verstehen von Situationen und der Zuordnung von Objekten.“

Ein autonomes Fahrzeug muss während der Fahrt beispielsweise zwischen einem Baum und einem Menschen unterscheiden können. Bei Letzterem ist Vorsicht angebracht. Er könnte die Straße überqueren! Färber: „Unser SFB trifft sich regelmäßig zu Leistungsvergleichen. Mindestens einmal im Jahr präsentieren die Teams ihre Ergebnisse anhand bestimmter Aufgaben, die ihre Fahrzeuge erfüllen müssen. Die beste Lösung gewinnt und wird von allen weiterverfolgt.“

Hinter diesem Streben nach intelligenten Fahrzeugen stehen natürlich auch wirtschaftliche Interessen. ▷



Das KogniMobil „sieht“ mit mehreren Kameras: Die Telekamera erfasst das weiter entfernte Fahrzeug, die schwenkbaren Weitwinkelkameras hingegen das nahe Fahrzeugumfeld und die Fahrbahnmarkierung



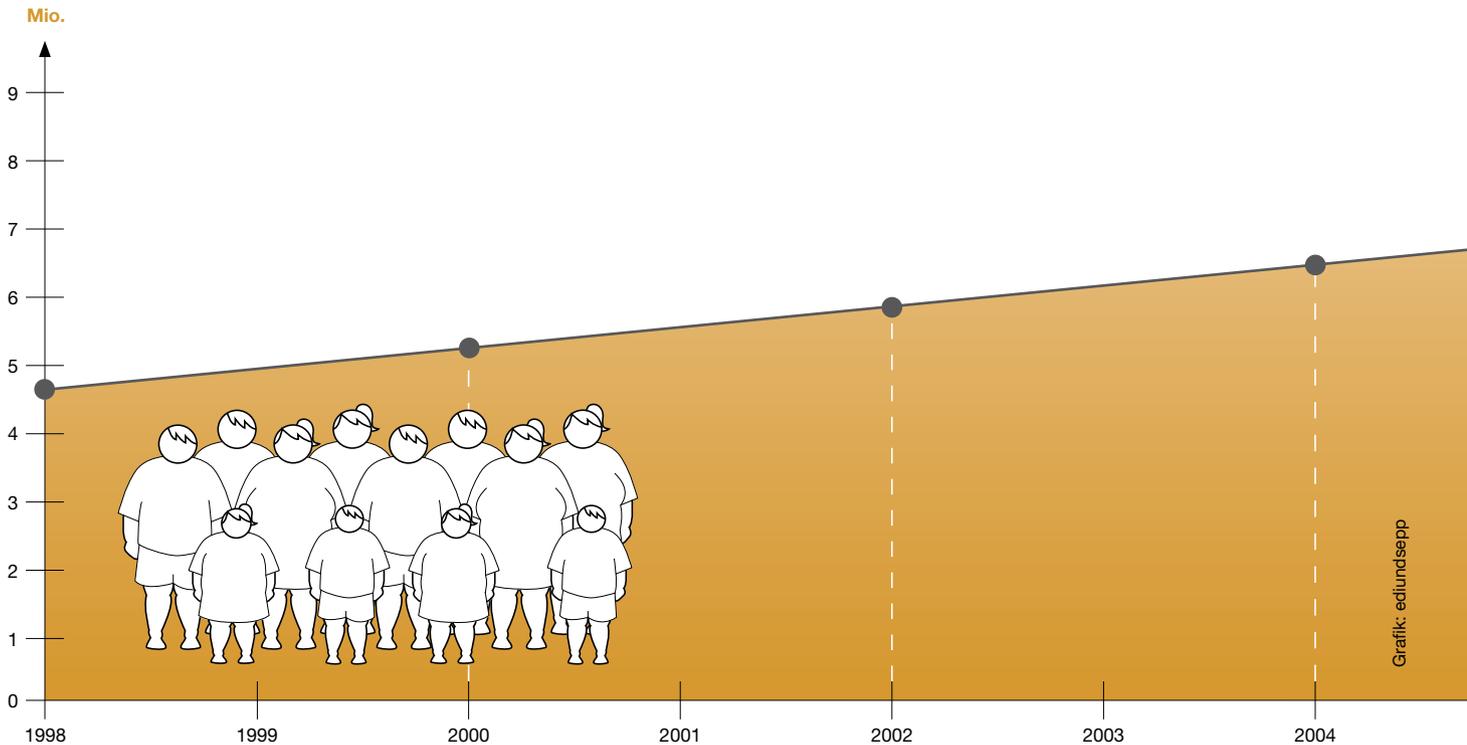
Die drei kognitiven Fahrzeuge des Sonderforschungsbereichs nach einer internen Leistungs-Demonstration im April 2008: Links der Q7 „MUCCI“ (Munich's Cognitive Car Innovation) der TUM, in der Mitte der Karlsruher Passat „AnnieWAY“ und rechts das Fahrzeug der Universität der Bundeswehr München „MuCar3“ (UniBW Munich Cognitive Autonomous Car)

Rechnerarchitektur entwickelt, sowohl die genutzte Hardware als auch die installierte Software ist standardisiert. In einer Echtzeit-Datenbank auf dem Fahrzeugrechner werden sämtliche Informationen – bis hin zu den vollständigen Kamerabildern – gesammelt, so dass sich alle Softwaremodule aller Teilprojekte bei der gemeinsamen Umgebungswahrnehmung optimal ergänzen können. Die Daten werden zudem zeitgenau mitprotokolliert und nach der Testfahrt auf unserem Simulationsrechner archiviert. Alle Beteiligten an allen Standorten können so zu jeder Zeit darauf zugreifen und bereits in der Simulation das Zusammenspiel neuer Wahrnehmungs- und Verhaltensalgorithmen testen.“ Die Vorbereitung einer Testfahrt dauert oftmals Tage im Labor. Erst auf dem Testgelände sehen die Ingenieure dann, ob sich die Arbeit gelohnt hat und sich das Fahrzeug auch in der rauen Wirklichkeit korrekt verhält. „Bei technischen Systemen muss alles perfekt funktionieren, alle Parameter müssen stimmen. Wenn wir testen, fangen wir in der Frühe an zu arbeiten, und bis alles fehlerfrei funktioniert, wird es meistens Nacht“, sagt Goebel.

Gesucht: Das Superhirn

Im vergangenen November war Goebel Teil eines Teams des SFB „Kognitive Automobile“, das bei einer prestigeträchtigen Veranstaltung in den USA antrat: der mit 3,5 Millionen US-Dollar dotierten Urban Challenge der

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), einer Forschungsbehörde des US-Verteidigungsministeriums. Auf einem ehemaligen Militärflugplatz in Kalifornien trafen sich die international führenden Autoroboterbauer. Die Aufgabe für die KogniMobile lautete, in weniger als sechs Stunden unfallfrei 60 Meilen in einem Stadtparkkurs zurückzulegen, dabei Verkehrsregeln zu beachten, Hindernisse zu vermeiden und Einparkübungen zu bestehen. Mit dem vergleichsweise geringen Budget von 100 000 Euro für die gesamte Veranstaltung feierte der von der TU Karlsruhe ausgerüstete Passat „AnnieWay“ einen beachtlichen Erfolg und stand sogar im Finale. Dass es am Ende nicht fürs Siegerpodium reichte, lag daran, dass sein Zentralrechner einmal kein für die Verkehrssituation geeignetes Verhalten errechnen konnte. Färber erklärt: „Es kommt vor, dass so ein Auto einfach stehen bleibt und nichts mehr macht. Denn zum Nachdenken hält es sicherheitshalber an. Bei der Urban Challenge war die Bedenkzeit auf zehn Sekunden begrenzt und das wurde unserem AnnieWay zum Verhängnis. Aber das spornt uns natürlich an, unsere Autos weiter zu verbessern.“ Dank der hervorragenden Arbeit der Münchner, Karlsruher und anderer Forscher lernt das KogniMobil schnell. Der Tag scheint nicht mehr fern, an dem das Automobil seinem Namen endlich wirklich gerecht werden wird: als „Selbstbeweger“. Freuen Sie sich auf ein völlig neues Fahrgefühl! *Karsten Werth*



Diabetes: Schwer im Kommen

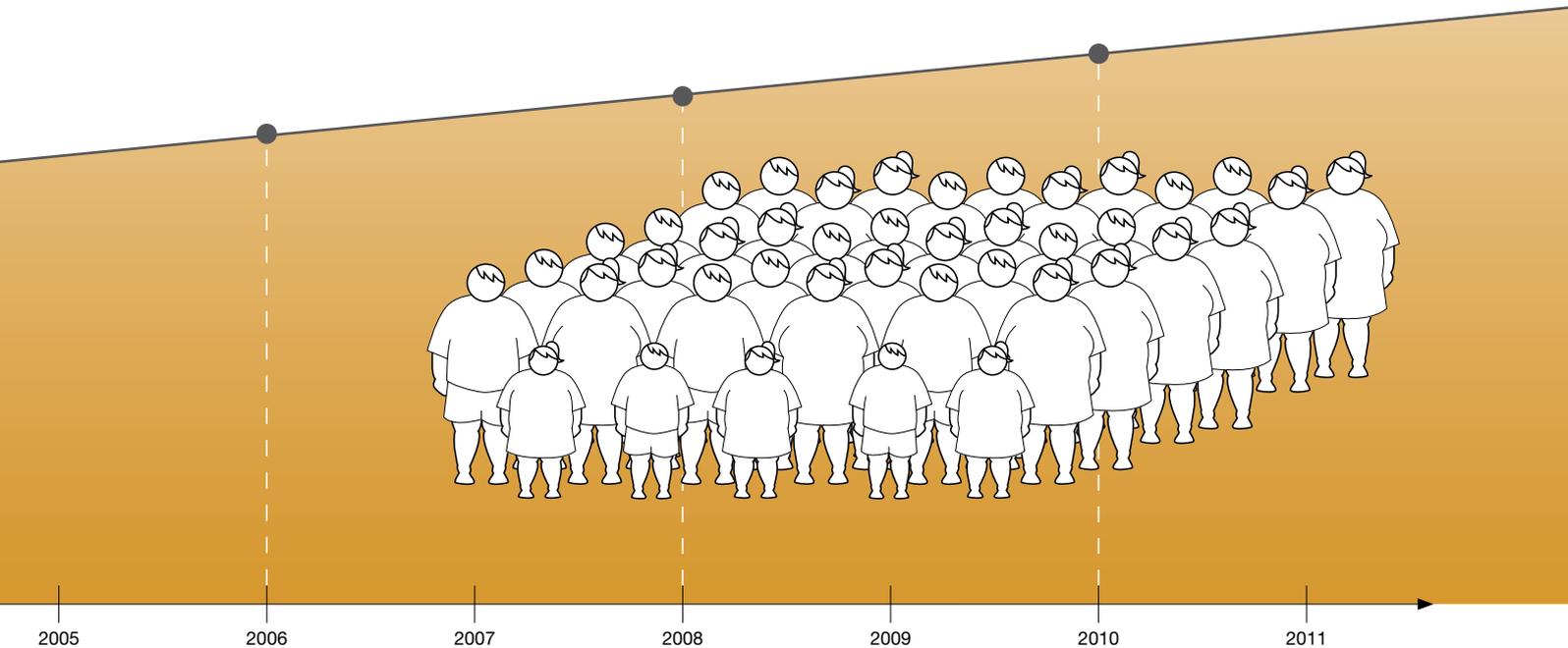
Viel Speck, wenig Sport – unsere Lebensweise macht Diabetes zur Volkskrankheit. Ernährungsmediziner der TUM setzen auf Prävention. Am besten schon im Mutterleib

Im Café. Genießerisch schiebt die alte Dame den letzten Bissen Sahnetorte in den Mund und seufzt: „Jetzt habe ich aber wieder mal gesündigt.“ Was sie meint: Eigentlich ist Süßes für sie tabu, denn seit einigen Jahren leidet sie an Altersdiabetes – der Blutzucker wird nur unzureichend abgebaut. Dass ältere Leute an einem solchen Diabetes Typ 2 leiden, zumal wenn sich mit den Jahrzehnten auch die Pfunde angesammelt haben, ist nicht neu. Neu ist, dass die Krankheit immer jüngere Patienten erfasst und heute zu den häufigsten chronischen Erkrankungen zählt.

Mehr als sechs Millionen Menschen leiden in Deutschland daran, zunehmend sogar Kinder. Dazu kommt eine hohe Dunkelziffer, denn Diabetes Typ 2 entwickelt sich schleichend und bleibt oft jahrelang unerkannt. Das Fatale daran: Schon im frühen Stadium steigt das Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems. Wesent-

lichste Ursache für das massive Auftreten des Diabetes Typ 2 ist starkes Übergewicht. Bei allzu fülligen Menschen ist die Krankheit geradezu programmiert. Zuviel Fettgewebe im Körper vermindert die Wirkung des von der Bauchspeicheldrüse produzierten Hormons Insulin, auf das die Körperzellen dann nur noch schwach reagieren. Anfangs ist also durchaus noch reichlich Insulin vorhanden, der Blutzuckerspiegel aber dennoch krankhaft erhöht. Allmählich geht die Insulinproduktion zurück, und dann ist der Diabetes nicht mehr aufzuhalten. Damit die Krankheit sich manifestieren kann, muss zwar auch eine genetische Disposition vorliegen, eine familiäre Diabetesbelastung, doch entscheidend ist der Lebensstil. Falsche Ernährung + Bewegungsmangel = Übergewicht = Diabetes, so lautet die unheilvolle Formel.

Aus diesem Grund beschäftigt sich der Ernährungsmediziner Prof. Hans Hauner („Eigentlich bin ich Diabeto-



Schneller Anstieg: In Deutschland nimmt die Zahl der Diabetiker stark zu – von 4,8 Millionen im Jahr 1998 auf 7,1 Millionen im Jahr 2006. Bedenklich ist auch die hohe Zahl übergewichtiger Kinder. Eine aktuelle Studie des Robert-Koch-Instituts weist einen Anteil von 15 Prozent bei den 3- bis 17-Jährigen aus. Das entspricht rund 1,9 Millionen Kindern und Jugendlichen. Eine Entwicklung, die in ganz Europa zu beobachten ist und in den USA bereits in den 1980er Jahren einsetzte

| |
|--|
| Link |
| www.wzw.tum.de/ernaehrungsmedizin |

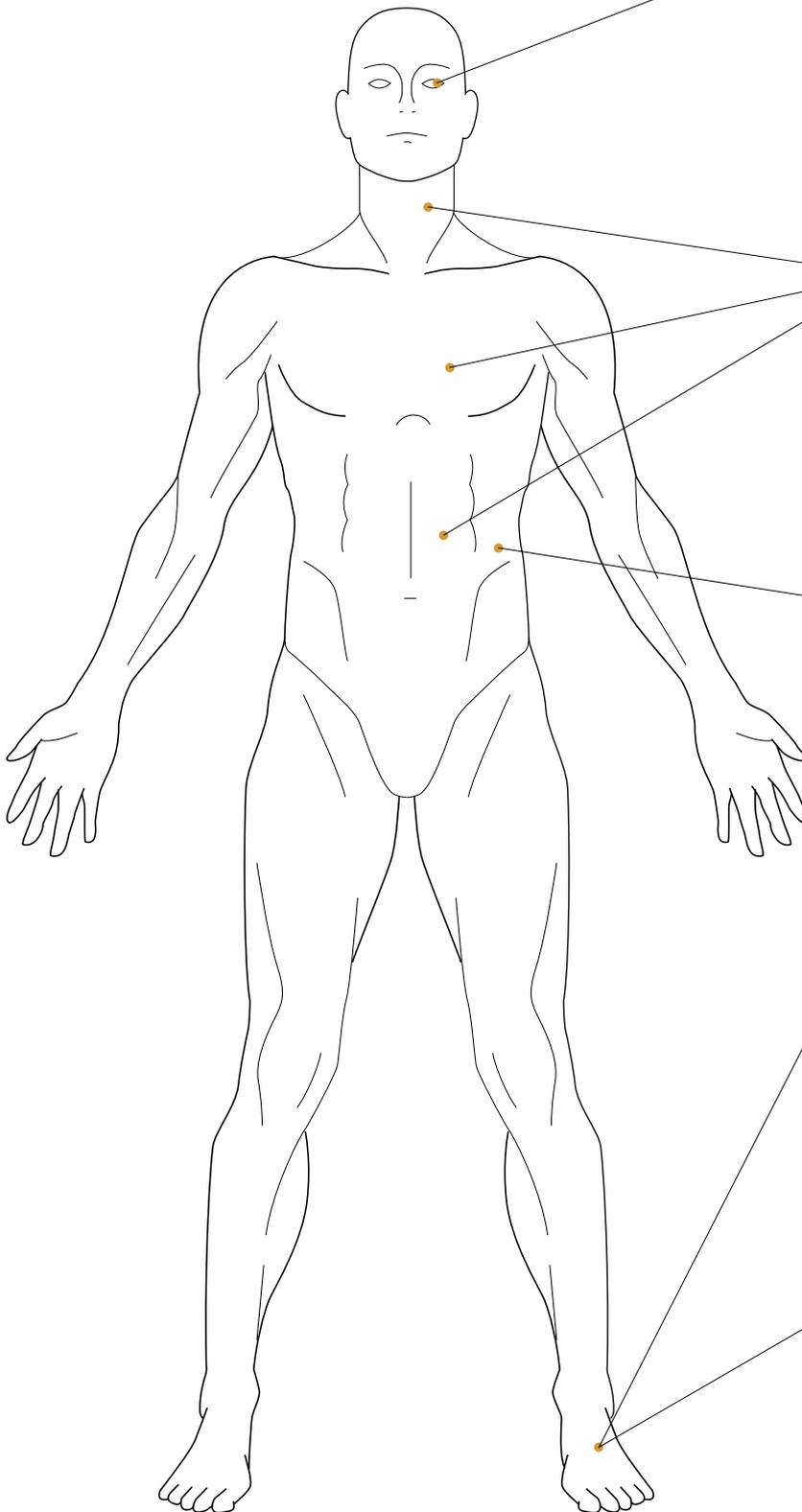
loge“) heute mehr und mehr mit dem Thema Fettleibigkeit – im Wissenschaftlerdeutsch: Adipositas. „Dort liegt die Ursache des Übels. Deshalb wollen wir mehr tun in Sachen Adipositas“. Der – ausgesprochen schlanke – Wissenschaftler leitet an der TUM das Else-Kröner-Fresenius-Zentrum (EKFZ), zu dem der Lehrstuhl für Ernährungsmedizin am Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) und die Klinik für Ernährungsmedizin am TUM-Klinikum Rechts der Isar gehören.

Vorbeugung? Für viele ein Fremdwort!

Verhaltensmuster werden schon in früher Jugend geprägt, und ein einmal etablierter Lebensstil lässt sich nur mühsam ändern. Darum kommt es auf frühes Eingreifen an. Kindliche Gewohnheiten lassen sich noch in Richtung gesunde Ernährung und körperliche Aktivität lenken. Zwar hält Hauner die Häufigkeit von Diabetes Typ 2

bei Kindern für noch nicht so problematisch, aber eines stellt er unmissverständlich klar: „Stark übergewichtige Kinder haben schlechte Karten.“ Es geht ja nicht nur um Diabetes. Übergewicht begünstigt auch andere Krankheiten, besonders des Herz-Kreislauf-Systems. Eine dänische Studie hat belegt, dass adipöse Kinder als Erwachsene ein erhöhtes Risiko für Herzkrankheiten und Krebs haben. Deshalb plädieren die Forscher dafür, bereits im Kindergartenalter anzusetzen. „Allerdings ist die Bereitschaft für Prävention noch unterentwickelt. Es gibt zu wenig Eigenverantwortung. Da setzen wir an“, erklärt Hauner.

Ganz zuoberst steht am EKFZ die fundierte, auf den Patienten zugeschnittene Ernährungsberatung. „Dafür nehmen wir uns viel Zeit, führen ausführliche Gespräche, halten die Gewohnheiten der Patienten akribisch fest und können dann ganz punktgenau beraten“, betont ▶



Diabetische Retinopathie

Wenn Menschen in westlichen Ländern erblinden, ist Diabetes mellitus eine der häufigsten Ursachen. Die Schädigung kleiner Blutgefäße (Mikroangiopathie) verursacht eine Minderung der Sehschärfe in der Netzhaut der Augen und kann im Verlauf zur Erblindung führen. Sie werden durchlässig („brüchig“), Flüssigkeit dringt ins Gewebe (Ödeme); es können Gefäße neu gebildet werden, bluten oder sich verschließen wie bei einem Infarkt. Der Arzt spricht von diabetischer Retinopathie (retina (lat.) = Netzhaut).

Erkrankung der großen Gefäße

Diabetes ist ein wesentlicher Risikofaktor für die Entwicklung von Durchblutungsstörungen an den größeren Gefäßen. Sie entstehen durch Ablagerungen und Verkalkungen in den Gefäßwänden. Dies führt häufig zu Herzinfarkt, Schlaganfall und Durchblutungsstörungen an den Beinen. Diese Erkrankungen sind die Haupttodesursache bei Diabetikern. Neben der guten Blutzuckereinstellung ist daher besonders auf den Blutdruck und die Blutfette zu achten.

Diabetische Nephropathie

Diabetes schädigt kleine Blutgefäße und kleinste Kapillargefäße (Mikroangiopathie). Durchblutungsstörungen in der Niere führen zu Niereninsuffizienz bis hin zum Nierenversagen. Diabetes ist in Deutschland die häufigste Ursache für eine Dialyseabhängigkeit.

Periphere Nervenschädigung (Polyneuropathie)

Lange und feine Nervenfasern werden zerstört. Dies führt zu verminderter Empfindung (Wärme, Berührung) an den unteren Extremitäten, besonders den Füßen. Die diabetische Polyneuropathie kann sich nicht nur in einem Verlust der Sensibilität äußern, sondern auch in Missempfindungen (Schmerzen, Brennen, Allodynie). Die diabetische Polyneuropathie ist die Hauptursache des Diabetischen Fußsyndroms. Sie ist für mehr als die Hälfte der nicht traumatischen Fußamputationen verantwortlich.

Diabetisches Fußsyndrom

Hauptsymptom sind schlecht heilende Wunden am Unterschenkel oder Fuß. Da die Polyneuropathie einen angemessenen Schmerz verhindert, werden kleinste Verletzungen oft nicht wahrgenommen. Das Risiko ist bei gleichzeitiger Durchblutungsstörung besonders hoch, da dies die Wundheilung verschlechtert. Es besteht die Gefahr, dass Hautgeschwüre (Ulcerationen) immer tiefer in das Bein hineinwachsen und mit multiresistenten Keimen besiedelt werden, die eine normale Wundversorgung massiv erschweren. Es droht im schlimmsten Fall die Amputation. Vorbeugende Fußpflege ist sehr wichtig und kann Schäden verhindern helfen.

Hauptformen des Diabetes: Typ 1 und Typ 2

Mediziner unterscheiden zwei Hauptformen des Diabetes: Typ 1 und Typ 2. Während bei Typ 2 der moderne Lebensstil der entscheidende Schrittmacher ist – mit Übergewicht als wichtigstem Risikofaktor – handelt es sich bei Typ 1 um eine Autoimmunerkrankung; der Lebensstil spielt hier nur eine untergeordnete Rolle. Beim Diabetes Typ 1 zerstört das körpereigene Immunsystem die insulinproduzierenden Zellen in der Bauchspeicheldrüse, es wird immer weniger Insulin gebildet. Sind kaum noch intakte Zellen vorhanden, wird die Krankheit manifest. Das ist zumeist im Kindes- oder Jugendalter der Fall. Dann können die Körperzellen den Blutzucker – Glucose (Traubenzucker) – nicht mehr aufnehmen, er sammelt sich im Blut an. Charakteristisch für Diabetes Typ 1 sind starke Gewichtsabnahme innerhalb kürzester Zeit, ständiger Durst und häufiges Wasserlassen. Behandelt wird die Krankheit mit sofortiger Insulintherapie, um das fehlende Hormon zu ersetzen.

Da Rohr- oder Rübenzucker unser üblicher Haushaltszucker, auch Saccharose genannt, aus je einem Molekül Glucose und Fructose besteht, ist er für Diabetiker ungünstig. Lebensmittel für Diabetiker wurden daher früher oft mit reiner Fructose, also Fruchtzucker gesüßt, die zum Abbau kein Insulin benötigt. Allerdings hat der Zuckeraustausch durch Fructose einige Nachteile - so kann die Insulinresistenz verstärkt werden, und der hohe Fettgehalt der Diabetikersüßwaren wird vernachlässigt. Deshalb raten Mediziner heute eher zu künstlichen Süßstoffen, empfehlen vor allem aber, generell wenig Süßes zu essen. Und das gilt nicht nur für Diabetiker.

Hauner. „Unser Ziel ist es, einen ungünstigen Lebensstil durch gute Gewohnheiten zu ersetzen. Vor allem geben wir genaue und lebensnahe Tipps für eine richtige Ernährung.“

Der Clou ist: Die Patienten essen zwar anders, aber nicht weniger, das Nahrungsvolumen wird nicht eingeschränkt. Denn die Erfahrung der Wissenschaftler lehrt, dass Einschränken nur selten gelingt. Besser ist es, den Patienten Alternativen zu nennen – magerer Kochschinken statt hoch kalorischer Wurst etwa. Denn ein totaler Verzicht auf ein bevorzugtes Lebensmittel wird meist nicht lange durchgehalten.

Wenn's zu dicke kommt, wird's drastisch

Bei außergewöhnlich schwergewichtigen Patienten allerdings sind drastischere Maßnahmen zu ergreifen. „Solche Personen spornen wir eindringlich an, 20 bis 30 Kilo abzunehmen. Für zwei, drei Monate verordnen wir eine Mahlzeitenersatztherapie: Die Mahlzeiten werden ganz oder teilweise durch Formula-Nahrung ersetzt, eine kalorienreduzierte, in der Nährstoffzusammensetzung ausgewogene Fertignahrung.“ Stark adipöse Patienten werden auch in kürzeren Abständen in die Ambulanz bestellt.

Bei der sehr individuellen Behandlung ist viel psychologisches Feingefühl erforderlich, um die speziellen Voraussetzungen des Einzelnen zu berücksichtigen. Sonst ist das Scheitern der Diät-Aktion abzusehen. Die langfristige Umstellung kann nur gelingen, wenn der Betroffene mitzieht – und bei der Stange bleibt. „Ein, zwei Jahre lang empfinden die meisten Patienten die ganze Sache als anstrengend“, weiß Hauner. „Sie müssen bei allem und jedem überlegen, was und wieviel sie davon essen dürfen. Dann aber läuft das halb automatisiert ab und fällt viel leichter.“

Noch besser wäre es natürlich, die Ernährungsforscher könnten ihr eigentliches Ziel erreichen, übermäßige Leibesfülle durch frühzeitige Intervention überhaupt zu vermeiden. Ganz früh, nämlich bereits beim ungeborenen Kind, setzen sie mit der INFAT-Studie an. Ihr Untertitel lautet: „Die Bedeutung des Fettsäuremusters in der mütterlichen Nahrung während der Schwangerschaft und Stillzeit für die frühe Fettgewebsentwicklung beim Menschen.“ Diese Studie soll Einblick geben in die fötale metabolische Programmierung im Mutterleib. Man weiß, dass übergewichtige Schwangere häufig besonders schwere Kinder gebären. Isst die werdende Mutter zu kalorienreich, wächst der Fötus sehr schnell und wird falsch „geprägt“. Dann ist es zum dicken Kind und schließlich zum adipösen Erwachsenen mit allen gesundheitlichen Folgen nicht weit.

Ansatzpunkt der Studie sind Hinweise, dass die Entwicklung des kindlichen Fettgewebes von der Art der Fettsäuren beeinflusst wird, die die Mutter zu sich nimmt. Besonders relevant sind die mehrfach ungesättigten Fettsäuren, die zu den essenziellen Fettsäuren zählen, also mit der Nahrung aufgenommen werden müssen. Sie liegen als Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren vor. Omega-6-Fettsäuren, die besonders in Fleisch und Wurst enthalten sind, scheinen das Wachstum von Fettzellen zu fördern, Omega-3-Fettsäuren dagegen sind nicht nur unter anderem für die Entwicklung von Gehirn und Nerven des Ungeborenen wichtig, sondern verhindern offenbar auch ein übermäßiges Wachstum seiner Fettzellen. Da sie vor allem in fetten Meeresfischen wie Makrele und Hering vorkommen, sind sie auch als „Fischöle“ bekannt. In der Nahrung sollte das Verhältnis von Omega-6- zu Omega-3-Fettsäuren idealerweise etwa 4-5:1 betragen. Bei der heutigen Ernährung liegt es im Durchschnitt bei 7-8:1. ▷

Das Metabolische Syndrom



In engem Zusammenhang mit Übergewicht und Fettleibigkeit steht das so genannte „Metabolische Syndrom“, mit dem Mediziner das Zusammentreffen von mehreren Gesundheitsrisiken umschreiben:

Mit dem „Wohlstandsbauch“ fängt alles an. Das Bauchfett lässt dann häufig mehrere Stoffwechselfunktionen entgleisen: Der Blutdruck und die Blutfette sind erhöht, und der Zuckerstoffwechsel funktioniert nicht mehr einwandfrei.

Der Patient entwickelt dann in den meisten Fällen ein Diabetes vom Typ 2.

Treffen all diese Risiken zusammen, erhöht das die Gefahr der Arterienverkalkung. Sind die Gefäße durch die Kalkablagerungen verengt, drohen Schlaganfall und Herzinfarkt.

Alle Aspekte des Metabolischen Syndroms lassen sich – rechtzeitig erkannt – durch dieselbe Behandlung bessern. Mit gesunder Ernährung und ausreichend Bewegung – mit dem Ziel der Gewichtsreduktion – kann in vielen Fällen das Auftreten schwerer Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems und die Ausbildung eines Diabetes mellitus verhindert werden.

Reicht das nicht aus, müssen Medikamente genommen werden, beispielsweise zur Senkung des Blutdrucks und der Blutfettwerte.

Die Idee hinter der seit eineinhalb Jahren laufenden INFAT-Studie ist: Nimmt die werdende Mutter mehr Omega-3-Fettsäuren zu sich, könnte das den Nachwuchs vor späterem Übergewicht bewahren. Bis Ende 2008 soll die Rekrutierung von insgesamt gut 200 Teilnehmerinnen abgeschlossen sein. Das Programm beginnt in der 14. Woche der Schwangerschaft und endet im vierten Monat nach der Entbindung, wenn die meisten Kinder abgestillt werden.

Während dieser Zeit ernährt sich ein Teil der Probandinnen wie bisher, die anderen essen bewusst weniger Fleisch und Wurst und nehmen Kapseln mit Fischöl ein. Drei Mal bestimmen die Wissenschaftler im Blut der Schwangeren das Fettsäuremuster und andere Parameter. Ebenso oft messen sie im ersten Lebensjahr der Säuglinge deren Körperfett – ganz schmerzlos über die Hautfaltendicke an verschiedenen Körperstellen. In Zukunft können sie deutlich mehr Daten erheben: Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat eine Verlängerung der Beobachtungszeit auf fünf Jahre bewilligt. Unterstützung erfährt die Arbeit auch durch das gerade vom BMBF eingerichtete Kompetenznetz Adipositas. Es soll die bestehenden Forschergruppen in Deutschland besser vernetzen und eine international wettbewerbsfähige und sichtbare Forschungsplattform schaffen.

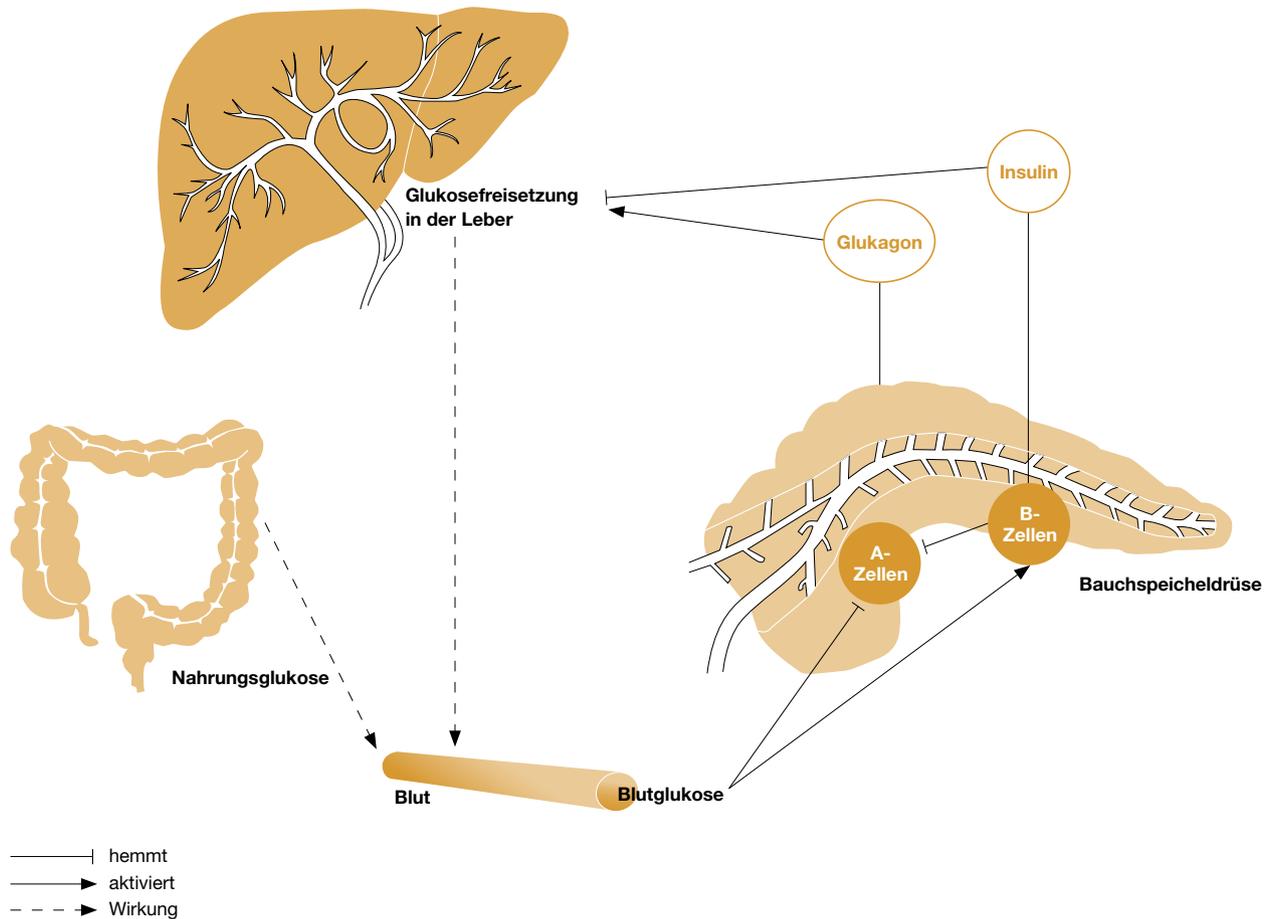
Die TUM-Ernährungsmedizin war hier doppelt erfolgreich: So ist einer der ausgewählten acht Verbünde (Perinatal prevention of obesity - PEPO) am EKFZ angesiedelt. Professor Hauner wurde zudem zum Sprecher des Netzes gewählt. Wegen der starken Überlappung mit der Diabetologie wird das Netz eng verzahnt sein mit dem ebenfalls neuen Kompetenznetz Diabetes. Auch dessen Geschäftsstelle findet sich an der TUM: Sprecherin ist die Professorin Anette-Gabriele Ziegler

vom Institut für Diabetesforschung an der TUM. Zur INFAT-Studie tragen ganz verschiedene Bereiche der Hochschule bei, Geburtshilfe und Kinderklinik ebenso wie Radiologie und Medizinische Statistik – ein gutes Beispiel für interdisziplinäre Zusammenarbeit und translationale Forschung. Zudem verknüpft die Studie effizient angewandte Medizin und Grundlagenforschung: Im Else-Kröner-Fresenius-Zentrum werden die Blutproben genommen, am Lehrstuhl für Ernährungsmedizin werden sie molekularbiologisch analysiert.

Neue Kekse und neue Ideen zur Prävention

Doch nach wie vor ist auch Diabetes ein Thema am EKFZ. Gemeinsam mit Würzburger Kollegen wird beispielsweise untersucht, welchen Effekt es hat, wenn man normalen Haushaltszucker durch Isomaltulose ersetzt. Rund 110 Patienten bekommen Kekse und Getränke, die diesen neuartigen Zucker enthalten. Da Isomaltulose nur langsam ins Blut übertritt, ist der Einfluss auf Blutzucker- und Insulinspiegel sehr viel moderater. Ein weiterer Aspekt sind Medikamente, die im Prädiabetes-Stadium die Krankheit verhindern oder hinauszögern können. „Alle Mittel greifen nur punktuell ein“, gibt Ernährungsmediziner Hauner zu bedenken. „Um die gründliche Umstellung des Lebensstils führt kein Weg herum, nicht zuletzt wegen der positiven Effekte im Hinblick auf Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen.“ Als Angebot möchte sein Team gemeinsam mit den Sportmedizinern der TUM ein Präventionszentrum einrichten. In den Vorsorgeprogrammen sollen Übergewichtige Pfunde verlieren und gesundheitsbewusste Menschen in mittleren Jahren altersbedingte Beschwerden hinauszögern. Diabetiker profitieren ebenso: Körperliche Aktivität macht auf längere Sicht Muskelzellen empfindlicher für Insulin und senkt so den Blutzuckerspiegel. *Sibylle Kettembeil*

Der Kohlenhydrat-Stoffwechsel



Beim Kohlenhydratstoffwechsel kommt der Verwertung des Zuckers, der Glukose, besondere Bedeutung zu. Denn Glukose ist der wichtigste Energielieferant, der alle Organe und Zellen versorgt. Eine unzureichende Versorgung mit Glukose führt zu Störungen der Organe und des Zellstoffwechsels.

Der Blutzuckerspiegel steht im Mittelpunkt des Kohlenhydratstoffwechsels. Er wird wesentlich durch die Zufuhr, den Verbrauch und die Speicherung von Glukose in Form von Glykogen in der Leber bestimmt. Die Steuerung der Glukosekonzentration im Blutkreislauf wird durch zwei Hormone übernommen, die in Zellen der Bauchspeicheldrüse, den so genannten Langerhansschen Inseln, gebildet werden:

B-Zellen produzieren Insulin

A-Zellen produzieren Glukagon

Glukose kann ebenso wie andere Nährstoffe wie Wasser, Fette, Eiweiße, Vitamine und Spurenelemente im Dünndarm in die Blutbahn aufgenommen werden und steht dann dem Zellstoffwechsel zur Verfügung.

Steigt der Blutzuckerspiegel, kommt Insulin ins Spiel. Es aktiviert in der Leber und in den Muskelzellen Enzyme, die für die Verbrennung von Glukose sorgen. Zusätzlich sorgt das Insulin auch dafür, dass weniger Glukose aus dem Glykogenvorrat der Leber ins Blut gelangt. Dadurch sinkt der Blutzuckerspiegel.

Der wichtigste Gegenspieler für das Insulin ist das Glukagon. Der Reiz für die Glukagonausschüttung ist ein erniedrigter Blutzuckerspiegel. Es sorgt für den Abbau von Glykogen in der Leber, so dass sich der Blutzuckerspiegel erhöht.

Insulin kann nur bis zu einem bestimmten Grad den Aufbau von Glykogen aus Glukose in den Leber- und Muskelzellen fördern. Sind die Speicher voll, wird die darüber hinaus vorhandene Glukose in den Leberzellen umgebaut und als Fett gespeichert.



Professor Martin Faulstich

Professor Martin Faulstich ist ein Paradebeispiel für die Unternehmer-Universität TUM. Für ihn ist Wissenschaft ohne Anwendung nicht vorstellbar. So sieht er sich nicht nur als Wissenschaftler, sondern auch als Wissens-Manager, der viele informieren möchte, seien es Politiker (als Vorsitzender des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung), Unternehmer (als Vorstandsvorsitzender des ATZ Entwicklungszentrums, Verfahren und Werkstoffe für die Energietechnik in Sulzbach-Rosenberg) und nicht zuletzt Wissenschaftler und Studierende (als Gründungsdirektor des Wissenschaftszentrums Straubing, wo er den Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnik innehat). Er wurde vor 51 Jahren in Hagen geboren, studierte an der RWTH Aachen und promovierte an der TU Berlin, bevor er nach Lehr- und Wanderjahren 1994 als Professor für Abfallwirtschaft erstmals an die TU München kam. Seit 2003 baut er das Wissenschaftszentrum Straubing auf und genießt es durchaus, dass in der Region – ganz anders als in der Wissenschaftsstadt München – ein Professor noch eine Ausnahmeerscheinung ist.

Energie aus der Natur – eine Lösung für morgen

Faszination Forschung präsentiert Wissenschaftler der TUM – Menschen mit Prinzipien, Motiven und Zielen. In dieser Ausgabe den Direktor des Wissenschaftszentrums Straubing, Professor Martin Faulstich, Inhaber des Lehrstuhls für Rohstoff- und Energietechnologie. Seine Faszination: Energie und Rohstoffe aus Biomasse

Warum sind Sie Verfahreningenieur geworden?

Ich bin, was den Hang zum Technischen angeht, familiär vorbelastet. Meine Familie ist eher handwerklich geprägt. Wenn der Sohn studieren will, dann liegt der Ingenieurberuf nah. An der Verfahrenstechnik hat mich gereizt, dass sie sich mit der Umwandlung von Stoffen beschäftigt. Man hat auf der einen Seite Rohstoffe, aus der Natur oder aus der Erde, und dann geht es darum, die Prozesse zu entwickeln, mit denen daraus die Vielfalt von Stoffen entsteht, die uns heute in allen möglichen Produkten umgibt.

Was fasziniert Sie an Ihrem Forschungsfeld, der Verfahrenstechnik, die aus Biomasse Rohstoffe und Energieträger gewinnt?

Zunächst einmal sind alle fossilen Rohstoffe, die wir seit Jahrhunderten nutzen, nämlich Kohle, Erdöl oder Gas, ursprünglich Biomasse gewesen. Aber das ist schon einige Millionen Jahre her. Wir wissen jetzt, dass diese Rohstoffe zur Neige gehen, und dass durch ihre intensive Nutzung der Treibhauseffekt entsteht, der das Weltklima und damit die Lebensbedingungen von Milliarden Menschen gefährdet. Ich denke, es ist eine große Herausforderung, diese fossilen Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Sie entstehen im Jahreszyklus immer wieder neu und man kann bei ihrer Nutzung große Mengen Kohlendioxid einsparen. Einsparen, denn sie sind nicht gänzlich klimaneutral. Bei der Verarbeitung fossiler Rohstoffe kennen wir viele Wege, denn wir haben über hundert Jahre Erfahrung. Wie wir aus nachwachsenden Rohstoffen Chemikalien oder Energieträger gewinnen, damit beschäftigen wir uns intensiv gerade einmal seit zehn oder zwanzig Jahren. Diese Rohstoffe aber werden die nächsten Jahrhun-

Link

www.rohstofftechnologie.de

derte der Menschheit bestimmen. Da müssen wir noch viel erforschen und entwickeln, um zu nachhaltigen und umweltverträglichen Lösungen zu kommen.

Wir dürfen nicht vergessen, welche wichtige Rolle Biomasse in unseren Zukunftsplanungen spielt. Sonnen- und Windenergie sind nicht überall ausreichend verfügbar. Wenn wir heute über Erneuerbare Energien reden, dann stammen immer rund 70 Prozent dieser Erneuerbaren Energien aus Biomasse.

Allerdings muss man Energieeffizienz auch einmal anders herum betrachten: Wollen wir bis 2020 das Ziel von 20 Prozent Erneuerbare Energien erreichen, dann bedeutet dies auch, dass wir dann für 80 Prozent unseres Energieverbrauchs weiter unwiederbringliche Ressourcen verbrauchen und den Treibhauseffekt verstärken. Eigentlich müssten wir also vier Mal so viel Engagement in das Einsparen von Energie stecken. Im Umkehrschluss macht dann ein Erfolg die Erneuerbaren Energiequellen umso wertvoller. Biomasse ist keine unendliche Energiequelle, denn die Erde ist eine Kugel, hat also eine begrenzte Oberfläche. Davon sind 70 Prozent Wasserfläche, außerdem wollen auf der Fläche auch noch Menschen leben, sich bewegen und sich ernähren. Die Fläche für Rohstoffe und Energieträger aus Biomasse ist also auch begrenzt. Daher müssen wir damit pfleglich und sparsam umgehen. Wir können auf Dauer etwas von der Biomasse haben, aber sie wird nicht die eine Lösung sein, die uns von allen Sorgen für die Zukunft befreit. ▶

Sieben Fragen an Professor Faulstich

Was wollen Sie in Ihrem Forschungsgebiet einmal erreichen? Was ist Ihr wissenschaftlicher Traum?

Mein Traum sieht so aus: Wir entwickeln Technologien, die nicht nur für ein Land, sondern weltweit eine erfolgreiche Lösung von Energieproblemen bringen. Wohl nicht für alle Energieprobleme, aber wenigstens so, dass Menschen ein gutes Leben führen können. Als Ingenieur weiß ich, dass Kapital ein begrenztes Gut ist. Daher wünsche ich mir, dass wir mit jedem eingesetzten Euro ein Maximum an Energieeffizienz, ein Maximum an Produkt, ein Maximum an Klimaschutz erzielen können und zugleich die Ressourcen und die Natur schonen. Davon sind wir noch weit entfernt. Auf einigen Gebieten leisten wir uns sehr „teure“, also ineffiziente Lösungen, in andere stecken wir gar kein Kapital – weder geistiges noch finanzielles. Ich wünsche mir, dass wir bei der Nutzung unserer Rohstoffe und unserer Energie Nachhaltigkeit und Effizienz in den Mittelpunkt rücken. Es gibt heute schon viele Möglichkeiten, um Energieträger effizient zu nutzen, von erdgasbetriebenen Fahrzeugen bis zur Umgestaltung unserer Verkehrssysteme. Wir sollten darauf achten, wie wir mit den verfügbaren Mitteln die größten Spareffekte erzielen. Warum nicht ein Ranking aufstellen? Da ist zum Beispiel die Nutzung von Biomasse für die Kraft-Wärme-Kopplung, also die gemeinsame Produktion von Strom und Wärme, sehr viel sinnvoller als die zunehmende Beimischung von Biosprit zu Kraftstoffen.

Derzeit steht die Bioenergie im Vordergrund, nicht nur wegen der hohen Energiepreise. Hier können wir recht kurzfristig Lösungen anbieten. Bei den neuen Rohstoffen dagegen stehen wir noch ganz am Anfang, etwa wenn es darum geht, aus Biomasse Grundstoffe für die Chemieproduktion zu gewinnen, aus der viele Hunderttausende verschiedene Substanzen entstehen. Langfristig ist dies sicher die viel wichtigere Frage. Denn wir werden unsere Energieprobleme eines Tages vielleicht durch Sonnenstrom oder solaren Wasserstoff lösen, theoretisch auch ohne Biomasse. Die Chemische Industrie aber benötigt weiterhin originäre Rohstoffe – wir sind darauf angewiesen – von Kunststoffen bis zu Medikamenten, vom Zeitungspapier bis zu Baumaterialien. Das ist eine große Aufgabe in den nächsten Jahrzehnten.

Warum sind Sie Wissenschaftler geworden und nicht Rechtsanwalt oder Lehrer?

Mich haben seinerzeit auch andere Gebiete interessiert. Ich hätte mir auch vorstellen können, Jura oder Theolo-

gie zu studieren. Vor allem in Krisenzeiten des Studiums, die jeder einmal erlebt. In so einer Phase habe ich mir auch überlegt, wem das Wissen, das ich mir angeeignet hatte, eigentlich dienen soll. In den damals umweltbewegten Zeiten wollte ich Positives leisten und habe daher in Umwelttechnik promoviert. Selbst rückblickend würde ich heute sagen: Ich könnte mir durchaus vorstellen, Jurist oder Pfarrer zu sein.

Dass ich Wissenschaftler geworden bin, hat sicher auch mit den Prägungen und den Zufälligkeiten des Lebens zu tun. Heute bin ich ohnehin mehr Wissenschaftsmanager als Wissenschaftler, aber ich bin nach wie vor begeisterter Akademiker und auch begeisterter Universitätswissenschaftler. Ich schätze sehr die geistige Weite an einer Universität.

Wie zufrieden sind Sie mit dem heutigen Zustand der Wissenschaft und damit, wie die Gesellschaft mit der Wissenschaft umgeht.

Ich denke, dass die Gesellschaft ein sehr ambivalentes Verhältnis zu Wissenschaft und Technik hat. Die Menschen benutzen mit viel Begeisterung jedes technische Produkt, ob MP3-Player, Laptop, Auto oder Flugzeug. Kaum einer hegt da die geringsten Zweifel, dass Technik auch scheitern kann, also Risiken birgt. Wenn man auf der anderen Seite eine Müllverbrennungsanlage baut oder eine große Biogasanlage, dann erlebt man sehr viel

Widerstand von den gleichen Bürgern, die Technik so begeistert nutzen, die vielleicht sogar vehement für Umwelt- und Klimaschutz eintreten. Wenn die Technik aber vor ihre Haustüre kommt und der Nutzen eher abstrakt ist, tun sie sich schwer damit.

Es ist eine Herausforderung für jeden Wissenschaftler und Ingenieur, seine Technik, die Gründe dafür und die Probleme, die dahinter stecken, allgemeinverständlich darzulegen. Ich stelle mich bewusst den Diskussionen mit den Betroffenen, etwa indem ich Vorträge in Planfeststellungsverfahren halte, über Vor- und Nachteile spreche. Dabei habe ich die Erfahrung gemacht, dass sich viele Vorurteile ausräumen lassen, wenn man sich die Mühe macht, die Menschen zu informieren, auf ihre Argumente einzugehen und sie zu überzeugen.

In der Politik gehört es heute ja zum guten Ton, zu behaupten, man fördere Wissenschaft und Technik. Wenn man sich aber anschaut, wie schleppend bisweilen reale Innovationsprozesse verlaufen, dann können schon Zweifel aufkommen, ob es mit der politischen Unter-

“Es ist eine Herausforderung für jeden Wissenschaftler und Ingenieur, seine Technik, die Gründe dafür und die Probleme, die dahinter stecken, allgemeinverständlich darzulegen”



Fotos: Stephan Vavra

stützung so ernst gemeint ist. Ich leide vor allem darunter, dass es in Deutschland von einer guten Idee bis zur Realisierung so furchtbar lang dauert. Wenn es rund zehn Jahre dauert, ein Verfahren umzusetzen, was in Deutschland schon als schnell gilt, dann ist das im internationalen Wettbewerb zu langsam.

Oft müssen wir für den Antrag eines Forschungsprojekts mehr schreiben als für den Ergebnisbericht. Da wünsche ich mir mehr Mut und mehr Vertrauen. Unsere Förderorganisationen wären gut beraten, wenn sie etwas mutiger auf innovative Ideen der Wissenschaft vertrauen und in Köpfe investieren.

Welches konkrete Problem aus Ihrem Arbeitsgebiet möchten Sie selbst unbedingt lösen?

Wir arbeiten an vielen Fragestellungen. Dennoch: In der ganzen Wirtschaft gibt es Reststoffe und Abfälle. Die fallen ohnehin an, allein in Deutschland rund 100 Millionen Tonnen biogene Abfälle im Jahr. Ich möchte gern diese Abfälle und Reststoffe mit kleinen, effizienten Anlagen in hochwertige Produkte, Chemikalien und Energieträger umwandeln. Das ist ein Projekt, an dem ich sehr hänge.

Ich sehe dennoch keinen Gegensatz zwischen zentralen und dezentralen Techniken. Manche Technologien lassen sich nur als große, zentrale Anlagen realisieren, etwa ein Kohlekraftwerk. Es gibt aber viele Länder und Regionen, die dünn besiedelt sind, wo die Reststoffe vor Ort anfallen und verwertet werden müssen, wenn sie nicht die Umwelt belasten sollen. Hier helfen nur kleine dezentrale Anlagen, die hochwertig, anspruchsvoll und intelligent arbeiten. Wir müssen sie zur Serienreife ent-

wickeln. Auch die ersten Automobile waren handwerkliche Unikate – teuer und störanfällig. Warum sollen wir nicht am Fließband Hightech-Kläranlagen oder Biogasanlagen bauen, preiswert und zuverlässig, so dass sie überall in der Welt ohne aufwändige Infrastruktur eingesetzt werden können.

Sie sind ein ungewöhnlicher Verfahreningenieur. Normalerweise stehen diese im Hintergrund. Um Sie reißen sich Politiker und Kongressveranstalter. Alle wollen von Ihnen wissen, wie es mit der Energie weiter geht.

Dies ist wissenschaftliche Politikberatung. Ich denke, an Themen wie Müllverwertung oder Biomassenutzung kann man nicht arbeiten, wenn man nicht auch ein politisch denkender Mensch ist und den Dialog mit der Politik sucht. Seitdem ich im Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen sitze, habe ich natürlich einen noch viel engeren Kontakt zur Politik.

Ich sehe aber auch, dass Politikberatung und Politik zwei verschiedene Paar Stiefel sind. Ich erkenne dies an, denn Politiker werden durch Mehrheiten legitimiert. Wir als Wissenschaftler sind in der Regel weniger interessegebunden – ich will gar nicht von Objektivität reden, denn die gibt es auch in der Wissenschaft nicht. Aber wir haben die Freiheit, nach bestem Wissen und Gewissen Perspektiven aufzuzeigen für eine gute Politik. Dass die Politik dann unter Umständen aus dem Rat etwas anderes macht, dass Politik oft auch nach anderen Kriterien agiert, das müssen wir akzeptieren. Sonst bleibt nur der Weg, selbst in die Politik zu gehen.

Interview: Reiner Korbmann

Link

www.dhm.mhn.de

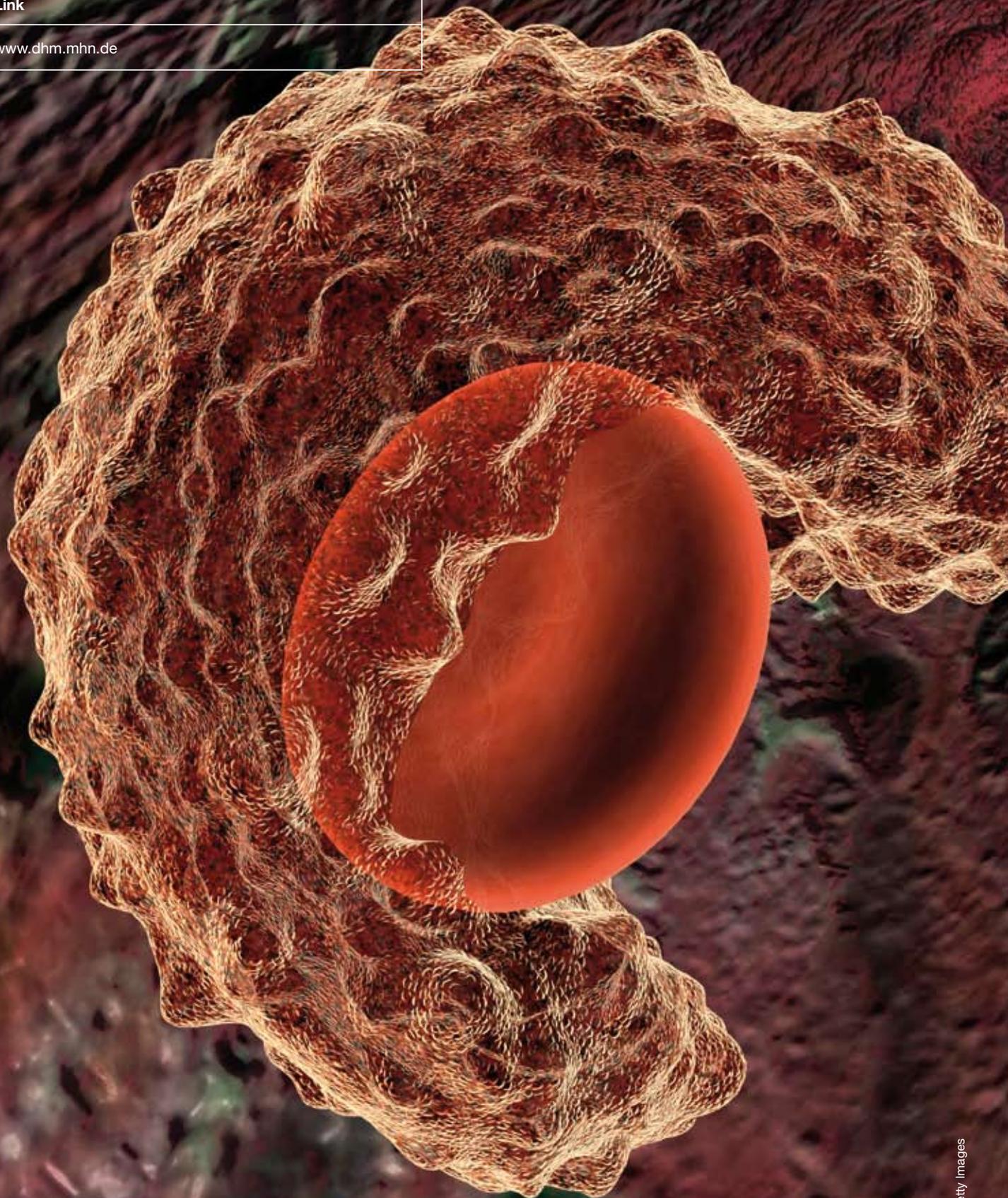
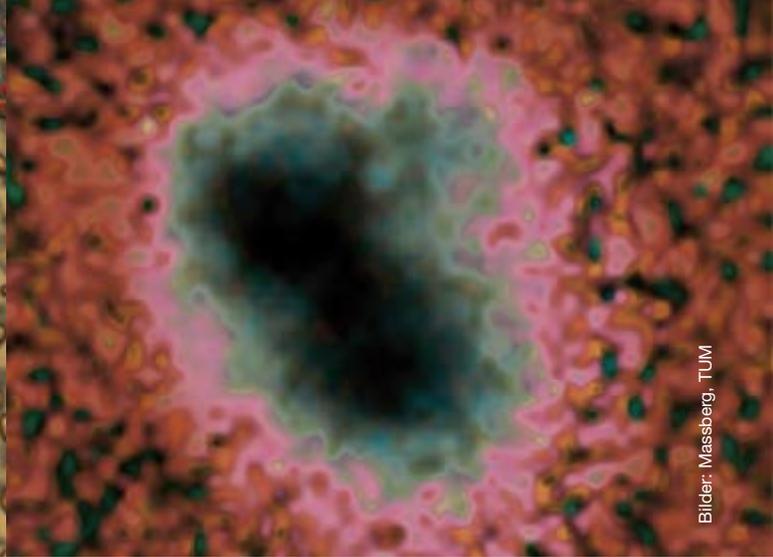
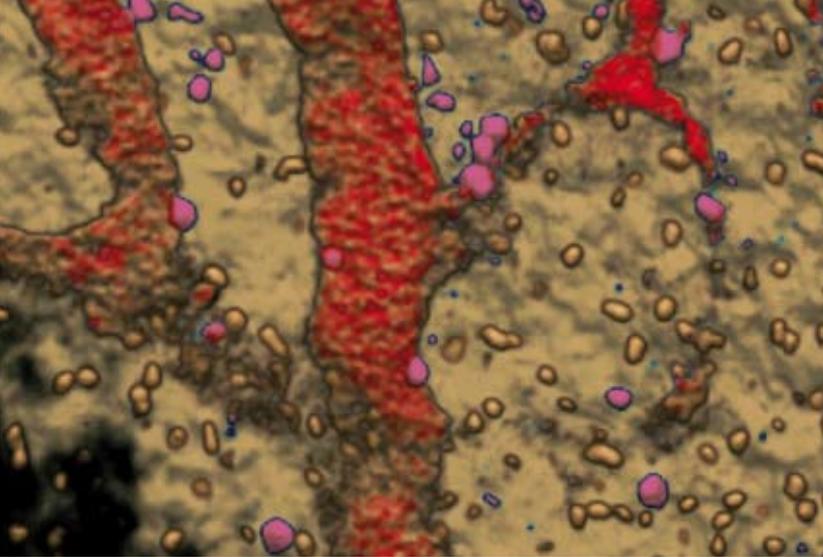


Bild: Getty Images

Auf der Jagd nach Mister X

Warum flitzen Stammzellen, die Alleskönner aus dem Knochenmark, durch den Körper? Ein Team der TUM ging dem Phänomen nach. Und fand eine verblüffende Antwort – die wiederum spannende Fragen aufwirft



Bilder: Massberg, TUM

Blutbildende Stammzellen in vivo (links) und in vitro (rechts). Links: blutbildende Stammzellen (violett) und Knochenzellen so genannte Osteoblasten (gelb) im Knochenmark der Maus, dargestellt mit Hilfe der so genannten 2-Photonenmikroskopie. Im Zentrum sind Knochenmarksgefäße erkennbar (rot-orange). Rechts: in Kultur teilen sich blutbildende Stammzellen exponentiell und bilden so genannte Kolonien, bestehend aus vielen tausend differenzierten Tochterzellen

Die Arbeit von Steffen Massberg erinnert irgendwie an die Jagd nach Mister X. Jenem Gauner, der durch das Gewirr der Londoner Gassen geistert und dann und wann da und dort auftaucht, um gleich darauf wieder zu verschwinden. Wer Mister X im Brettspiel „Scotland Yard“ schnappen will, braucht Fantasie, denn er muss vorausahnen, wohin der Verbrecher flieht, und auch, warum es ihn gerade an diesen Ort zieht. Massbergs Mister X sind Immunzellen, genauer blutbildende – so genannte hämatopoetische – Stammzellen. Der Kardiologe vom Deutschen Herzzentrum an der Technischen Universität München hat geschafft, was manchem Scotland-Yard-Spieler misslingt: Er hat seinen Mister X dingfest gemacht.

Der Mister X in der Blutbahn

Blutbildende Stammzellen bevölkern eigentlich das Knochenmark. Sie sind die Wandlungskünstler unter den Körperzellen, die schnelle Eingreiftruppe des Organismus. Dringen irgendwo Krankheitserreger in den Körper ein, beginnen sich die Stammzellen auf ein biochemisches Alarmsignal hin tausendfach zu teilen und in Abwehrzellen zu verwandeln – in Fresszellen, so genannte T-Zellen zum Beispiel, die dann zum Infektionsherd eilen und sich über die Angreifer hermachen. Auch in andere Blutzellen, wie etwa rote Blutkörperchen, wandeln sich blutbildende Stammzellen um. Hämatopoetische Stammzellen sind wahre Tausendsassas und derart flexibel, dass sie nach einer Knochenmarktransplantation das zerstörte Immunsystem eines Chemotherapie-Patienten wieder aufbauen können.

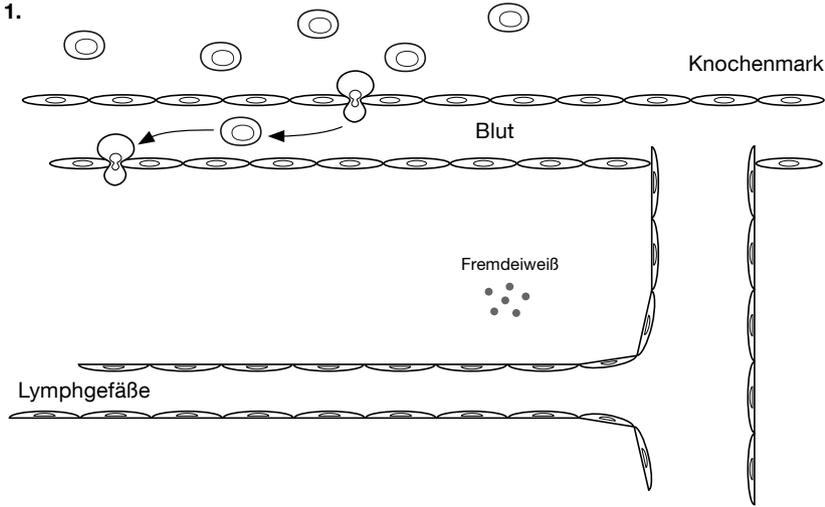
Seit fast 50 Jahren weiß man, dass sich die Multifunktionszellen nicht nur im Knochenmark tummeln, sondern in geringer Zahl auch im Blut schwimmen. Im gesamten Blutkreislauf einer Maus sind gerade einmal einige we-

nige Hundert unterwegs. Doch warum sie das Knochenmark verlassen und durch den Körper zirkulieren und wohin sie später verschwinden, lag seit einem halben Jahrhundert völlig im Dunkeln. Gemeinsam mit Ullrich von Andrian von der Harvard Medical School in Boston startete Massberg deshalb vor drei Jahren seine Fahndung nach blutbildenden Stammzellen im Mäusekörper, die Suche nach ihren Verstecken und Aufenthaltsorten. Die Idee der Forscher: Früher oder später müssten die vagabundierenden Stammzellen in den Abflussleitungen des Körpers landen, dem Lymphsystem, das auch jene Flüssigkeit abtransportiert, die sich ganz natürlich in den inneren Organen sammelt.

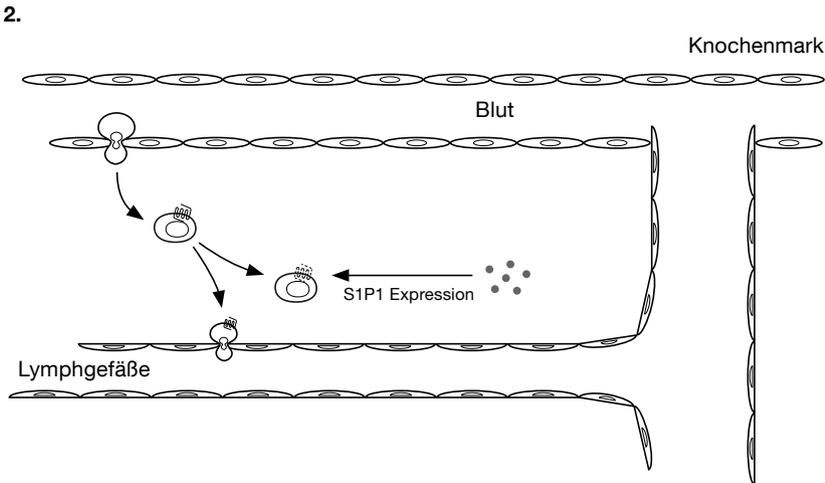
Die Suche beginnt 2005 in Boston: Um den Stammzellen auf die Schliche zu kommen, nehmen die Forscher den Mäusen aus dem so genannten Ductus thoracicus, einer Art Hauptabflussleitung, Lymphe ab. Sie filtern die Flüssigkeit und suchen unter dem Mikroskop stundenlang nach Zellen, die den bekannten hämatopoetischen Stammzellen ähneln. Sie werden tatsächlich fündig: Nach und nach sammelt sich in den Experimentierschälchen eine winzige Menge vielversprechender kleiner Zellen. In Laborversuchen teilen sie sich wie gewöhnliche hämatopoetische Stammzellen – eine erste heiße Spur.

Angespornt vom Erfolg machen sich die Wissenschaftler auf zur Rasterfahndung in genetisch veränderten Mäusen: Die blutbildenden Stammzellen dieser Tiere leuchten im Fluoreszenzlicht. So kann man unter dem Mikroskop verschiedene Gewebeproben gezielt nach Stammzellen durchsuchen. Massberg und seine Kollegen prüfen vor allem jene Organe, die eng mit dem Lymphsystem verbunden sind – die Leber oder die Lunge. Tatsächlich: Wie Silvesterraketen am Nachthimmel leuchten im mikroskopischen Bild Stammzellen auf. ▷

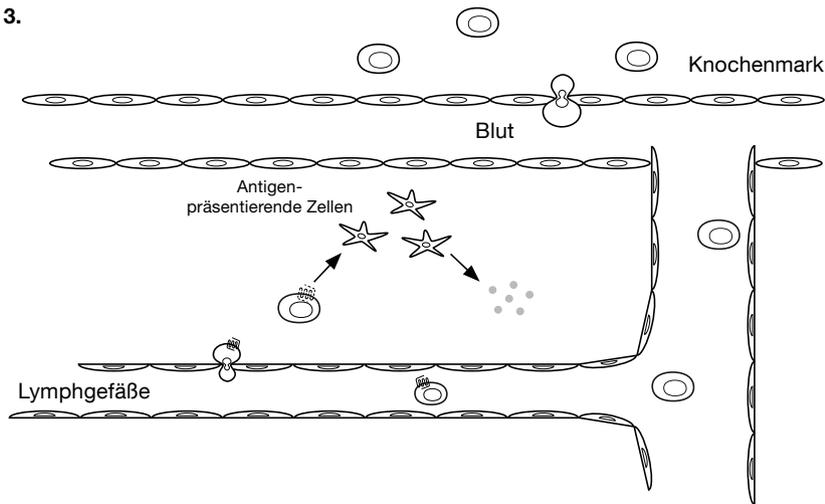
Wanderung blutbildender Stamm- und Vorläuferzellen (HSPCs)



Blutbildende Stammzellen (HSPCs) sind im Organismus des Erwachsenen überwiegend im Knochenmark lokalisiert. Ein kleiner Teil der HSPCs verlässt jedoch kontinuierlich das Knochenmark und wandert ins zirkulierende Blut.



Über das zirkulierende Blut gelangen die Zellen in periphere Organe wie Leber, Lunge und Nieren. In diesen Organen verweilen die HSPCs für im Schnitt knapp 2 Tage und wandern dann über das Lymphgefäßsystem aus den Organen wieder ins zirkulierende Blut zurück. Gesteuert wird die Wanderung von HSPCs über einen Botenstoff, das Sphingosin 1-Phosphat (S1P). Während in den Organen selbst nur sehr geringe S1P-Konzentrationen vorliegen, finden sich in der Lymphflüssigkeit sehr große Mengen des Botenstoffs. HSPCs besitzen auf ihrer Oberfläche einen Rezeptor für S1P, den so genannten S1P1-Rezeptor. Über diesen Rezeptor sind sie in der Lage, die hohen S1P-Konzentrationen in der Lymphflüssigkeit zu erkennen und wandern dem S1P-Gradienten folgend in das Lymphgefäßsystem ein.



Bei ihrer Wanderung durch periphere Organe teilen sich einige der HSPCs und bilden ortsansässige Zellen der Immunabwehr nach. Kommt es jedoch zu einer Infektion des Organes und kommen die HSPCs auf ihrer Wanderung mit Fremdeiweiss in Kontakt, so verlieren die Stammzellen ihren S1P1-Rezeptor und können die infizierten Organe nicht mehr verlassen. Sie beginnen sich vor Ort rapide zu teilen und zu vermehren und stellen vor Ort höchst-effizient und in großer Zahl die für die Infektabwehr wichtigen Zellen, insbesondere Antigen-präsentierende Zellen, bereit.

Stammzellen – die Tausendsassas im menschlichen Körper

Stammzellen sind Vorläuferzellen von hoch differenzierten Zellen. Nach einer Teilung können die Tochterzellen entweder wieder zu Stammzellen werden (self-renewal) oder sich gewebespezifisch, z.B. zu Herz-, Nerven-, Haut- oder Muskelzellen, differenzieren. Deshalb halten Forscher sie für geeignet, um aus ihnen in Zukunft Ersatzgewebe für Patienten mit Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson, Diabetes oder nach einem Herzinfarkt zu züchten.

Stammzellen treten zuerst in der frühen Embryonalentwicklung auf. Bereits die befruchtete Eizelle (Zygote) stellt eine totipotente Stammzelle dar, die die frühen Embryonalstadien durchläuft und aus der sich später alle Gewebe des menschlichen Körpers bilden. Je weiter die Spezialisierung der Tochterzellen einer Stammzelle voranschreitet, desto stärker wird das Spektrum ihrer Differenzierungsmöglichkeiten in verschiedene Gewebe eingeschränkt. Man unterscheidet zwischen embryonalen Stammzellen, die entweder aus überzähligen Embryonen, abgetriebenen Föten oder durch Klonen einer Eizelle gewonnen werden, und adulten Stammzellen, die vom erwachsenen Menschen stammen. Adulte Stammzellen

können sich im Vergleich zu embryonalen Stammzellen nur begrenzt vermehren und entwickeln.

Nach der Geburt sind alle Organe grundsätzlich vollständig ausgebildet und funktionsfähig. Dennoch finden zeitlebens zelluläre Umbau- und Reparaturvorgänge statt. Adulte Stammzellen liefern den Nachschub an den dafür notwendigen Ersatzzellen. In über 20 Organen bzw. Geweben wurden inzwischen adulte Stammzellen identifiziert. Sie sind neben den embryonalen Stammzellen die großen Hoffnungsträger auf dem Gebiet der regenerativen Medizin, nicht zuletzt, weil die Gewinnung – im Gegensatz zu den embryonalen Stammzellen – ethisch unbedenklich ist.

Adulte Stammzellen lassen sich im Labor nur schwer vermehren und müssen deshalb in großer Zahl aus dem Körper gewonnen werden. Das gelingt vor allem beim Knochenmark und Blut recht gut. Aus anderen Geweben sind die Zellen wesentlich schwerer herauszulösen – auch, weil ihr Anteil hier sehr gering ist. Selbst im Knochenmark beträgt er nur rund 0,1 Prozent, in anderen Organen ist er zum Teil noch wesentlich geringer.

Auf einmal wird der verworrene Wanderweg der Stammzellen klar: „Alles zusammen deutete darauf hin, dass die Stammzellen vom Knochenmark mit dem Blut zum Organgewebe wandern“, sagt Massberg, „anschließend über den Ductus thoracicus in die Lymphe und von dort zurück zum Knochenmark.“ So weit, so gut. Mister X Fluchtweg wäre damit klar gewesen. Warum die lebenswichtigen Stammzellen eine solche Wanderung überhaupt auf sich nehmen, war aber noch immer offen. „Für uns stellte sich die Frage, was die Stammzellen in den Organen eigentlich tun.“

Arzt und Forscher arbeiten Hand in Hand

Massberg ist nicht nur Forscher, sondern auch Kliniker, Oberarzt in der Klinik für Erwachsenenkardiologie am Deutschen Herzzentrum. Nach seinem Forschungsaufenthalt in Boston arbeitet er jetzt in der „Chest-Pain-Unit“: Zu ihm kommen Patienten, mit unklaren Schmerzen in der Brust, Menschen mit Verdacht auf Herzinfarkt. Er trägt ständig einen Pieper bei sich, der ihn ruft, wenn wieder ein Krankenwagen mit zuckendem Blaulicht an der Notaufnahme vorfährt. Massberg legt den Patienten Herzkatheter, prüft, ob die Herzgefäße tatsächlich verengt sind.

Als Oberarzt, sagt er, bleibt ihm trotzdem genug Zeit zum Forschen in seiner zwölfköpfigen Arbeitsgruppe aus Biologen, Human- und Veterinärmedizinern und technischen Assistentinnen. Massberg interessiert sich vor allem für jene Phänomene, die das Herz und die Blutgefäße krank machen. Chronische Entzündungen der Adern, die Bildung von Ablagerungen, von Plaques, Gefäßverengungen, die Ursachen der so genannten Atherosklerose. Forscher wie Massberg gehen davon

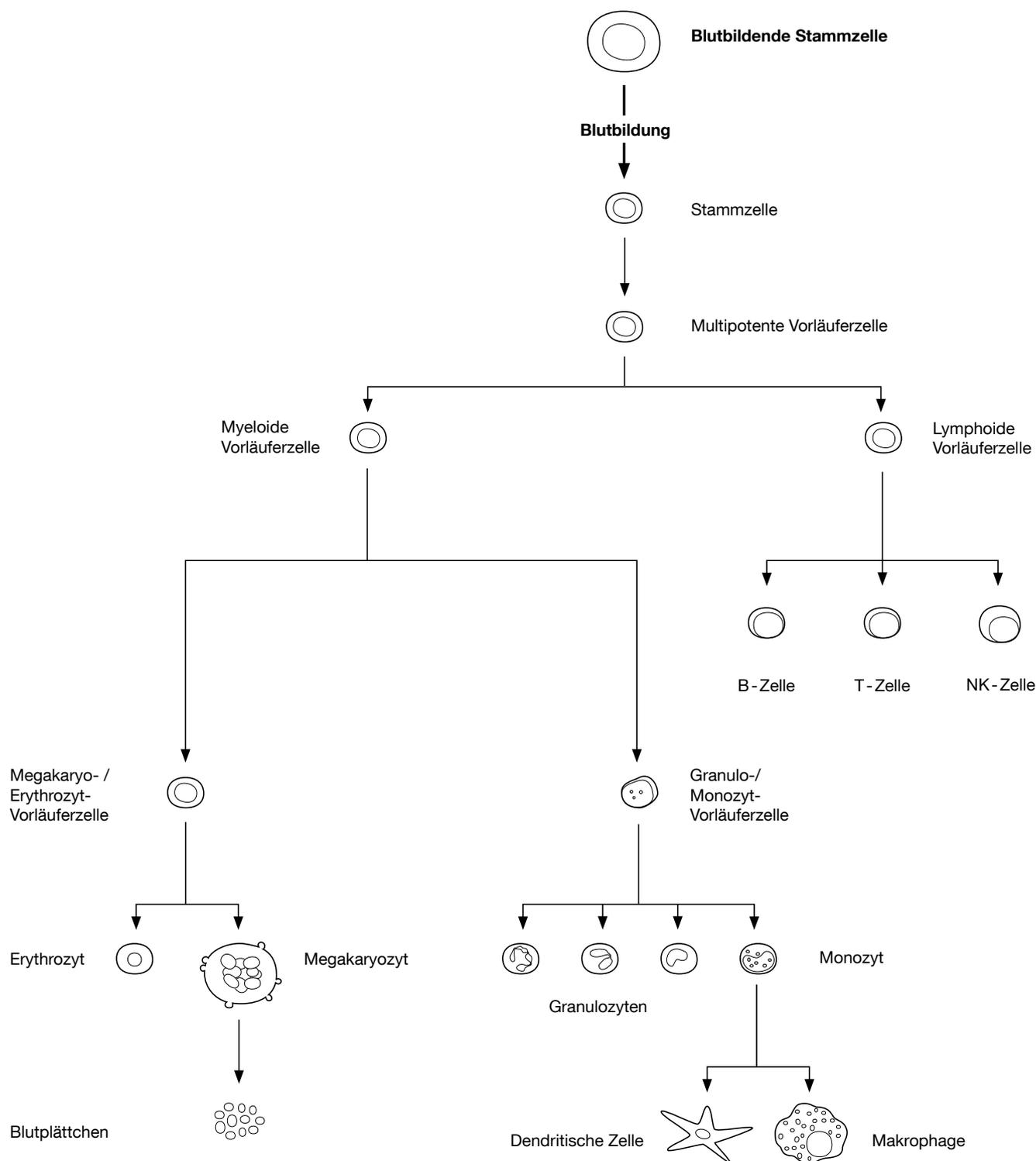
aus, dass die blutbildenden Stammzellen an diesen Prozessen beteiligt sind.

Gemeinsam mit den Bostoner Kollegen stellte Massberg fest, dass die Stammzellen für gewöhnlich 36 Stunden im Organ bleiben und das Gewebe danach fast schlagartig wieder in Richtung Ductus thoracicus verlassen. Neue Stammzellen rücken nach. Offensichtlich übernehmen sie für diese Zeit eine Art Wache-Funktion, bevor sie wieder zurück ins Knochenmark wandern. Um diese These von den Stammzellen auf Raumpatrouille zu überprüfen, injizierten die Experten ein Bakteriengift in das Mausegewebe.

Innerhalb weniger Tage entwickelte sich an den Einstichstellen aus eingewanderten blutbildenden Stammzellen ein ganzer Tross von spezifischen, auf das Bakterium zugeschnittenen Abwehr- und Immunzellen. Für Massberg gab es nur einen Schluss: „Immunzellen werden am Infektionsherd schnell verbraucht. Da ist es sinnvoll, wenn sich vor Ort teilungsfreudige Stammzellen befinden, die Nachschub für die Abwehr liefern.“ Stammzellen machen sich folglich nicht nur im Knochenmark nützlich – eine völlig neue Erkenntnis.

Dann gingen die Forscher um Massberg den entscheidenden Schritt: Sie deckten den molekularen Mechanismus auf, der die Sanitärer-Funktion der Stammzellen erklärt. Wie sich zeigte, wird die Aktivität der Stammzellen durch zwei Rezeptoren auf ihrer Zelloberfläche gesteuert. Schon vor etwa drei Jahren hatte ein anderes Forscher-Team herausgefunden, dass die hämatopoetischen Stammzellen auf ihrer Hülle Rezeptoren tragen, die bestimmte Stoffwechselprodukte feindlicher Bakterien erkennen – so genannte „Toll-Like-Rezeptoren“ TLR. Dockt ein solches Mikrobenfragment an, startet ▶

Wandlungsfähige Stammzelle



Grafik: eciundsepp

Die blutbildende Stammzelle (HSPC) ist die Mutter aller zirkulierenden Blutzellen wie Blutplättchen, weißen Blutzellen (dendritischen Zellen, Granulozyten, Monozyten, B- und T-Lymphozyten) und roten Blutkörperchen. Die Mehrzahl der HSPCs ist im Knochenmark lokalisiert und bewerkstelligt dort die kontinuierliche Nachbildung von Blutzellen. Hierzu teilt sich die Stammzelle in sog. Vorläuferzellen. Die Vorläuferzellen (HPCs) sind hinsichtlich ihres Differenzierungspotentials festgelegt und können nur in bestimmte Blutzellreihen ausdifferenzieren. So entsteht beispielsweise aus einer lymphoiden Vorläuferzelle eine T- oder B-Zelle, jedoch kein Blutplättchen. Umgekehrt können Megakaryo- / Erythrozyten-Vorläuferzellen nur rote Blutkörperchen und Blutplättchen bilden

die Stammzelle ihr rasend schnelles Teilungsprogramm. Massberg konnte jetzt klären, wie dieser TL-Rezeptor mit einem zweiten zusammenwirkt.

Zunächst bemerkte er, dass die Stammzellen aufgrund des zweiten Rezeptors, des so genannten S1P1-Rezeptors, offenbar für einen Botenstoff aus dem Lymphsystem empfindlich sind, mit dem sie für gewöhnlich nach 36 Stunden aus dem Organgewebe in die Lymphbahnen gelockt werden.

Die Stammzellen folgen diesem Botenstoff vermutlich wie ein Käfermännchen dem duftenden Weibchen. Dieses Rattenfänger-von-Hameln-Spielchen endet allerdings jäh, wenn durch eine Infektion Bakterien eindringen, deren Stoffwechselprodukte den TL-Rezeptor aktivieren. Die Stammzelle spricht dann nicht mehr auf den S1P-Botenstoff an und findet nicht mehr aus dem Organ in die Lymphbahn. Stattdessen beginnt sie sich zu teilen. Ein wirkungsvoller Mechanismus: Durch das Rezeptorwechselfpiel werden die Stammzellen dort eingepfercht, wo der Körper sie gerade braucht.

Kann die Hilfe tödlich werden?

Massberg und seine Bostoner Kollegen haben damit einen wesentlichen Baustein zum Verständnis der Immunabwehr entdeckt. Denn ganz offenbar spielt das Anlocken, die Rekrutierung, von hämatopoietischen Stammzellen bei Heilungsprozessen eine entscheidende Rolle. Schon vor längerer Zeit hatte Massberg festgestellt, dass Blutplättchen, jene Blutbestandteile, die zur Gerinnung des Bluts beitragen, offensichtlich Stammzellen anlocken können.

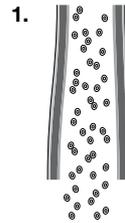
Wo der Körper verwundet wird, ist die Sanitätspatrouille somit flugs zur Stelle. Damals ging es freilich um die im Blut zirkulierenden Stammzellen. Die jetzt beobachtete Wanderung durch die Organe und die Lymphgefäße ist da eine ganz neue Dimension.

Doch ganz gleich ob Blut oder Organ, Massberg hofft, dass alle diese Entdeckungen letztlich auch zum Verständnis der Atherosklerose beitragen. Inzwischen sind sich die Fachleute weitgehend darin einig, dass chronische Entzündungen der Gefäßwände zur Bildung von Plaques beitragen.

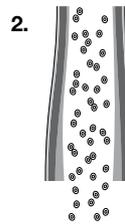
Ein Herzinfarkt entsteht, wenn die Plaques einreißen. Der Körper erkennt eine Verletzung und versucht, sie durch Blutplättchen-Aktivität zu stillen. Das Blut gerinnt, das Gefäß verstopft. Möglicherweise tun die Stammzellen in diesem Fall zu viel des Guten. „Es ist denkbar, dass die Stammzellen durch starke Immunzellproduktion die chronische Entzündung der Gefäßwände noch verstärken und die Situation verschlimmern“, sagt er. Noch hat man die Mechanismen erst zu einem Teil verstanden. Und noch verstecken sich in der komplexen Welt des Immunsystems viele Mister X. Doch die Fahndung geht weiter.

Tim Schröder

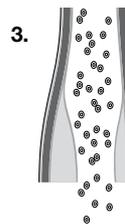
Atherosklerose



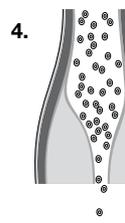
1. Unter normalen Bedingungen bestehen arterielle Gefäße aus einer dünnen inneren Gefäßauskleidung (Intima, hellgrau), umgeben von einer Muskelschicht (dunkelgrau).



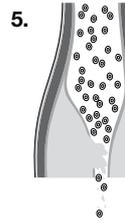
2. Im Rahmen der Atherosklerose (Gefäßverkalkung) kommt es bedingt durch sogenannte Risikofaktoren (Rauchen, Diabetes mellitus, Bluthochdruck und erhöhte Blutfette) zu einer Schädigung der innersten Zellschicht der Gefäße, des so genannten Endothels.



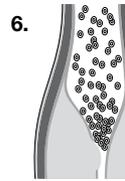
3. Durch die Schädigung des Endothels werden Entzündungszellen in die Gefäßwand rekrutiert. Die führt zu einer zunehmenden Verdickung der inneren Gefäßschicht, der Intima.



4. Die in die Gefäßwand eingewanderten Entzündungszellen setzen zahlreiche Wachstumsfaktoren frei. Dies führt zum Wachstum von weiteren Zellen in der Gefäßwand, insbesondere von glatten Muskelzellen und Bindegewebszellen. Bedingt durch die Entzündung kommt es z.T. auch zur Ablagerung von Kalk in der Gefäßwand, daher Gefäßverkalkung.



5. Die Entzündung der Gefäßwand, insbesondere der Intima, sowie das Wachstum von glatten Muskelzellen und Bindegewebszellen bewirkt eine zunehmende Einengung des Gefäßes. Betrifft die Gefäßverengung Herzkranzgefäße, so macht sich die zunehmende Gefäßeinengung als Angina pectoris bemerkbar, sind die Beinarterien betroffen, leidet der Patient unter der so genannten Schaufensterkrankheit.



6. Der dramatischste Verlauf der Atherosklerose entsteht dann, wenn es – bedingt durch fortschreitende entzündliche Veränderungen in der Intima – zu Einrissen in der Gefäßwand, in der inneren Gefäßauskleidung, dem Endothel, kommt. Zirkulierende Blutplättchen versuchen den entstandenen Gefäßdefekt abzudecken. Sie binden an Strukturen, die im Bereich der Gefäßverletzung freigelegt werden. Es entsteht ein Thrombus, der die Arterie plötzlich komplett verschließt. Sind die Herzkranzgefäße betroffen, kommt es zu einem unter Umständen lebensbedrohlichen Herzinfarkt.

Gewässerüberwachung per Handy

TUM-Wissenschaftler haben einen Sensor entwickelt, mit dem man die Ausbreitung von Giftstoffen in Flüssen und Bächen in Realzeit verfolgen kann

Link

www.lme.ei.tum.de/

Insbesondere in Gewässern, in die regelmäßig Abwässer eingeleitet werden, kann die Schnellerkennung von Giftstoffen im Wasser helfen, Umweltschäden auf ein Minimum zu begrenzen. Das Team um Prof. Bernhard Wolf vom Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der TU München hat einen Sensor entwickelt, der an Bächen und Flüssen dauerhaft installiert werden soll, um permanent die Konzentration von Giftstoffen im Wasser zu messen und die Ergebnisse über ein handelsübliches Mobiltelefon an einen Internetserver zu übermitteln. So kann man Umweltsünden schnell auf die Schliche kommen und den Abwasserzulauf sperren, bevor es zu größeren Umweltschäden kommt. Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung kann so z.B. der Eintrag von Bioziden online verfolgt werden.

Über eine kleine Pumpe wird im Abstand weniger Minuten Wasser entnommen und einem mit Mikroorganismen bestückten Biohybrid-Sensorchip zugeführt. Biohybride Sensorchips messen Volumen, Ansäuerungsverhalten, Sauerstoffumsatz und Adhäsion lebender Zellen. Werden diese Sensorchips mit Algen bestückt und regelmäßig mit frischem Wasser versorgt, so beobachtet man nach dem Abschalten der Pumpe eine weitgehend gleichförmige Änderung des pH-Wertes und der Sauerstoffkonzentration (unter Beleuchtung der Algen auf dem Sensorchip) sowie eine unveränderte elektrische Impedanz. Bei Einwirkung umweltschädlicher Stoffe (Toxine, Biozide, Pharmaka, organische Kohlenwasserstoffe etc.) verändert sich der Stoffwechsel der Algen je nach Konzentration des Giftstoffs im Wasser. Die Sensoren mit ihrer in einem „Intelligent Mobile Lab“ integrierten Messelektronik detektieren diese Veränderungen. So kann die nachgeschaltete Elektronik der Messanlage die Änderung der Wasserqualität registrieren, sammeln und über eine Bluetooth-Verbindung per Mobiltelefon drahtlos an einen zentralen Server weiterleiten. Werden bestimmte Werte überschritten, wird Alarm ausgelöst. Durch die Nutzung der ohnehin quasi flächendeckend vorhandenen Mobilfunknetze zur Datenübertragung kann mit



Solarzellen versorgen das Wasserüberwachungsgerät mit Energie, die Daten werden per Mobiltelefon übermittelt

relativ geringem technischem Aufwand ein erheblicher Beitrag zum Erhalt sauberer Gewässer geleistet werden.

Die Messgeräte werden durch Akkus betrieben und mit Solarzellen aufgeladen. Das bedeutet, dass sie prinzipiell überall dort eingesetzt werden können, wo ein Mobilfunknetz verfügbar ist. Sind die Biohybrid-Sensorchips einmal installiert, kann innerhalb weniger Minuten die Veränderung der Wasserqualität online und in Realzeit mitverfolgt werden.

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass das Messsystem effektiv eingesetzt werden kann, um die Trinkwasserqualität zu überwachen oder Frühwarnsysteme zu etablieren. Eine äußerst kurze Ansprechzeit auf die bisher getesteten Schadstoffe sowie die hohe Sensitivität der Algen auf bereits geringe Schadstoffkonzentrationen gehören zu den Vorzügen des Systems.

In dem aktuellen Forschungsprojekt verwendet der Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik der TUM die Zellkulturen auf Sensorchips zum Gewässerschutz. Darüber hinaus lässt sich mit diesem Verfahren zur Onlineerfassung metabolischer und morphologischer Parameter von Zellen aber noch mehr analysieren: Die Anwendungsbreite reicht vom Gewässermonitoring über allgemeine Toxikologie bis zur individualisierten Chemosensitivitätstestung in der Krebstherapie. □

Link

www.sport.tu-muenchen.de/sportpsychologie

Fliegen beginnt im Kopf

Wie schafft es der Körper von Leistungssportlern, den perfekten Salto zu wiederholen? Forscher der TUM enträtseln das Zusammenspiel von Muskeln und Hirn – und entwickeln neue Trainingsmethoden, die Sportlern helfen, noch besser zu werden

Eigentlich war alles perfekt: Der Schnee weder zu fest noch zu weich, die Sicht gut, etwas Sonne, kein Wind. Wie vor jedem Wettkampf tauchte Gerhard Blöchl oben am Start ab in seinen Kokon. Die 20 000 Menschen unten am Ziel nahm er nicht wahr und nicht die Musik aus den Lautsprechern. Wie immer spulte er Buckelpistenfahrt und Sprünge in seinem Kopf ab wie einen Film, tausendmal trainiert, verbessert, einwandfrei gemeistert – und dann fuhr er los. Tempo, Körperhaltung, Stellung der Ski, alles war stimmig. Fast alles: Blöchl setzte an zum Schraubensalto, drehte sich in sieben Meter Höhe korrekt einmal um die eigene Achse, drehte sich zudem einmal rückwärts, legte dabei in der Luft 14 Meter zurück – und dann öffnete er beim Landen plötzlich ganz kurz die Knie. In dieser einen Sekunde und mit diesem einzigen Fehler endeten für ihn die Olympischen Spiele 2006 in Turin. Der Weltcup-Athlet erreichte das Finale nicht. Was war passiert? „Man kann das leider nicht ganz genau rekonstruieren“, sagt Frieder Beck (37), Trainer der Deutschen Nationalmannschaft im Ski-Freestyle. Nirgendwo liegen Erfolg und Scheitern so dicht beieinander wie im Sport. Der Mensch kann seine Muskeln stählen, bis die T-Shirts spannen. Er kann joggen, bis er allen davon läuft. Und er feilt an Bewegungsabläufen, bis sie richtig sitzen. Trotzdem geht manchmal im

Wettkampf etwas schief. Weil der Mensch eben keine Maschine ist, bleibt immer ein Rest an Unsicherheit, an mangelnder Perfektion. Hätte der Trainer Frieder Beck einen Wunsch offen, würde er diesen Rest gern kennen und wegtrainieren. Gern würde er sich der perfekten Bewegung nähern, bei der alles passt, auf den Millimeter, auf die Zehntelsekunde. Deshalb ist Beck nicht nur Trainer, sondern auch Doktorand am Lehrstuhl für Sportpsychologie der TUM im Olympiapark.

Vom Kopf-Kino zum Zauberstoff Dopamin

Im Fokus seiner Forschung steht die Schaltzentrale für Bewegungen: das Gehirn. Ist es möglich, dort zum Beispiel den Ablauf eines Schraubensaltos so zu speichern, dass der Sportler ihn jederzeit optimal abrufen und ausführen kann, in jeder Situation? Diese Frage treibt Frieder Beck und seinen Doktorvater Professor Jürgen Beckmann um.

Das Wachstum von Muskeln kann man leicht vom Maßband ablesen. Die Schnelligkeit des Sportlers sieht man schlicht auf der Stoppuhr – doch mit der Messung von Bewegung im Gehirn ist es nicht so einfach: Bildgebende Ver-



fahren, wie die Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT), zeigen Aktivität im Kopf nur in Ruhelage. Die Lösung: Beim Experiment verharrt der Sportler ganz still und stellt sich einen gewohnten Bewegungsablauf nur vor, als Freestyle-Athlet zum Beispiel den Schraubensalto. Erstaunlich, was das fMRT zeigt: Im Kopf-Kino genügen allein Bilder von der verschneiten Piste oder von Sonnenschutzcreme und das Gehirn schüttet sofort große Mengen vom Botenstoff Dopamin aus. Das passiert in tieferen Regionen des Gehirns, im Belohnungszentrum. Und zwar immer dann, wenn der Mensch eine Handlung als besonders lohnend abgespeichert hat. Wie zum Beispiel ein Kleinkind, das es zum ersten Mal schafft, allein zu stehen. Das Dopaminsystem kodiert die Bewegung als gut, legt eine entsprechende Struktur an und speichert diese für ein ganzes Leben. Weitere Stehversuche werden folgen und wahrscheinlich bald die ersten Schritte.

Im Negativen funktionieren so Süchte: Dopamin sorgt dafür, dass der Alkoholiker einen starken Drang nach Schnaps und dem damit verbundenen schwummrigen Gefühl im Kopf verspürt. Viel gesunde Belohnung bietet der Sport: Das wissen schon Kinder nach dem ersten Sprung vom 5-Meter-Turm im Freibad; Jugendliche, die mit ihren Skateboards auf nur einem Rad kreisen; der Golfer, dem ein besonderer Abschlag gelingt. Sie alle erleben diese belohnenden Momente. Die Folge: Sie haben den Wunsch nach Wiederholung, das Verlangen nach der typischen Bewegung. Das alles hat mit Dopamin zu tun und ist Motivation fürs Lernen. Frieder Beck: „Springt das Belohnungszentrum im Gehirn an, verinnerlicht der Sportler Abläufe besonders gut. Er führt sie dann souveräner aus.“ ▶

Zu viel Dopamin: Wenn Sport zur Droge wird

Sport in Maßen ist gesund. Gefährlich wird er, wenn der Sportler an seine körperlichen Grenzen geht und immer mehr davon braucht. Auch das hängt sehr wahrscheinlich mit Dopamin zusammen. Es sorgt generell für einen hohen Anreiz, etwas zu wiederholen, was man als lohnenswert empfunden hat. Das heißt: Bei der Bewegung springt das Belohnungssystem an, Dopamin wird ausgeschüttet. Es entsteht der Wunsch, diese Bewegung nochmals auszuführen.

Dopamin versetzt also den Körper in einen Zustand des Wiederhaben-wollens. Das an sich ist ganz normal. Ist der Mensch jedoch nur noch auf die belohnenden Erlebnisse im Sport fokussiert, empfindet er sein sonstiges Leben als eintönig, kann daraus eine Sucht entstehen. Die im Belohnungssystem gespeicherten Reize nehmen überhand. Das Verlangen nach Sport (häufig tritt das bei Ausdauersportarten wie Joggen auf) steigt dann übermäßig an.

Um Belohnung zu empfinden, braucht der Süchtige aber immer neue Kicks und Herausforderungen. Er muss weiter laufen, mehr Gewichte im Fitnessstudio stemmen etc. – bis zum körperlichen Zusammenbruch. Gleichzeitig treten seine sozialen Kontakte mehr und mehr in den Hintergrund. Kann er einmal nicht trainieren, hat er Entzugerscheinungen (z. B. Stimmungsschwankungen). Im Hochleistungssport sind die Grenzen oft fließend: Bis wann gilt ein Sportler als sehr engagiert und diszipliniert? Ab wann ist er süchtig? Prof. Beckmann: „Der gesunde Leistungssportler verfolgt mit seinem Training ein sportliches Ziel. Der Süchtige benutzt den Sport als Medium, um andere bei ihm zugrunde liegende Probleme zu bewältigen.“ Zum Beispiel der Zwang, immer erfolgreich sein zu wollen, oder der besessene Wunsch nach einem perfekten Körper. Ein Trainer sollte das bei seinen Sportlern immer im Auge behalten und falls nötig für Phasen der Regeneration sorgen.

Für das Sporttraining heißt das: Etwas Dopamin sollte immer im Spiel sein.

Doch das ist schwierig, denn das Belohnungszentrum ist sensibel und vielen Störungen unterworfen. So hemmt zum Beispiel bewusste Aufmerksamkeit den Fluss von hoch trainierten Bewegungen – etwa, wenn gleichzeitig die Sprachzentren in der linken Hirnhälfte aktiv sind. Das ist der Fall, wenn dem Sportler während des Wettkampfes die Worte des Trainers durch den Kopf gehen. Dann lässt die Leistung nach, die Bewegung wird unsicher.

Das Sprachzentrum soll schweigen

Becks Doktorvater Jürgen Beckmann hat aus verschiedenen Studien einen Weg hergeleitet, das Gehirn zu überlisten: Drückt der Sportler während des Wettkampfes die linke Hand zur Faust, senkt das die Aktivität in den Sprachzentren. Doch der Bereich für die Motorik in der rechten Hirnhälfte wird angeregt. Eine Sprinterin verbesserte sich mit dieser Methode deutlich. Doch es gibt eine Einschränkung: Das Belohnungssystem wird nur dann aktiv, wenn eine Fifty-Fifty-Chance besteht,



eine Bewegungsaufgabe zu bewältigen. Eine solche Aufgabe darf dem Sportler also einerseits nicht zu vertraut sein (weil Routine langweilt) und nicht zu fremd sein (weil Unbekanntes verunsichert). Der Wissenschaftler Beck versucht deshalb als Trainer immer Neues zu bieten, den Schwierigkeitsgrad zu steigern und zu loben, wenn es angebracht ist. Der Trainer lässt seine Kandidaten wechseln zwischen komplizierten und einfachen Sprüngen; oder er variiert die Umgebung: Von der Schneepiste geht es zur Wasserschanze am See oder zum Trampolin in der Turnhalle.

Auch bei stupidem Wiederholen von Bewegungen rührt sich nichts im Belohnungssystem. Anders ist es, wenn der Trainer Aufgaben zum induktiven Lernen stellt: Es geht darum, Bewegung selbst auszuprobieren, zu erleben. Steht der Ski-Freestyle-Athlet zum Beispiel in einer Kurve zu starr, soll er beim nächsten Mal so fahren, dass mehr Druck auf dem Großzehenballen seines äußeren Fußes lastet. Er spürt dann selbst, wann er richtig in der Kurve steht. Frieder Beck: „Besser den Skifahrer so oft wie möglich die Piste runter schicken, als zu viel ▶

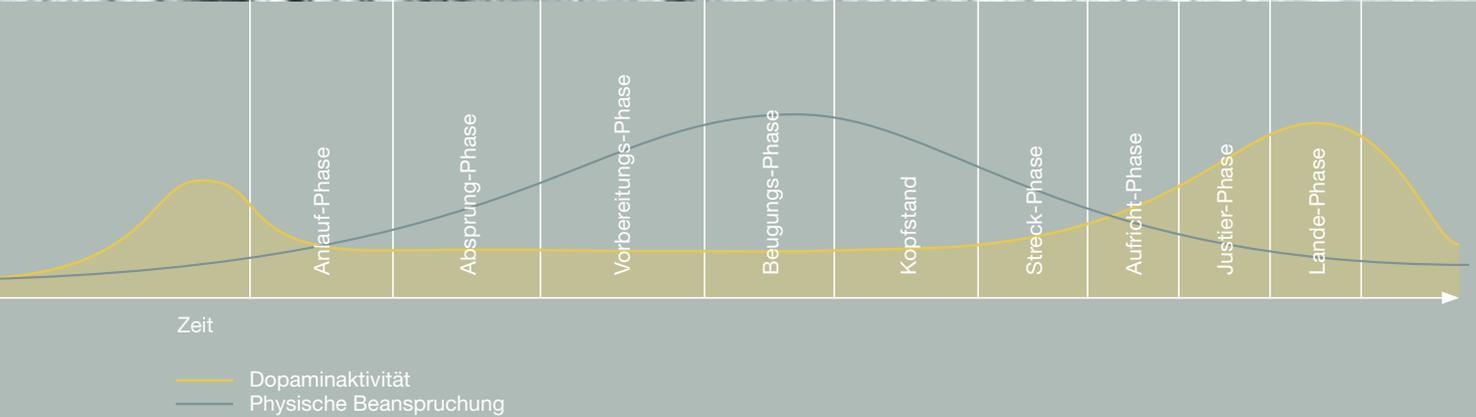


- 1 zum Striatum
- 2 präfrontaler Cortex
- 3 zu den Basalganglien
- 4 hinterer Hypothalamus
- 5 mesolimbisches System
- 6 Substantia nigra
- 7 vorderer tegmentaler Bereich

Blick ins Gehirn: Dopaminneurone der Substantia nigra (6) und Area ventralis tegmentalis (7) antworten auf unerwartet auftretende Belohnungen und auf Reize, die eine Belohnung vorhersagen. Dopaminerge Fasern der Substantia nigra ziehen v. a. ins Striatum (1) der Basalganglien (3). Man vermutet, dass eine Funktion der Basalganglien die Auswahl passender motorischer Aktionen ist. Hierbei scheinen nicht zur Situation passende Bewegungen gehemmt zu werden. Der Sportler wird also nicht plötzlich einen Vorwärtssalto machen, wenn eigentlich ein Rückwärtssalto vorgesehen ist. Dopaminerge Fasern der vorderen tegmentalen Bereiche ziehen u. a. in das limbische System, das Emotionen verarbeitet, und in den präfrontalen Cortex (2), dem die Verhaltensplanung zugeschrieben wird. Der präfrontale Cortex (2) und die Basalganglien (3) sind über viele Nervenverbindungen sehr stark miteinander verbunden und stehen im ständigen Austausch.



Foto: Blöchl/Blöchl (2005): New School – Faszination auf Skiern. Meyer&Meyer-Verlag, S. 78/79



Unerwartet auftretende Belohnungen und Reize, die eine zukünftige Belohnung vorhersagen, führen zur Ausschüttung großer Mengen von Dopamin. Beck vermutet, dass der Anblick der Schanze und die Anfahrt dorthin zu einer ersten Dopaminausschüttung führen werden, die das kommende belohnende Bewegungsereignis reflektiert. Eine zweite Dopaminausschüttung erfolgt bei erfolgreicher Bewältigung des Rückwärtssaltos mit Skiern, die den überraschenden Bewegungserfolg reflektiert.



Interne Bewegungsorganisation

Kodierung

Synaptische Plastizität

Stärkung der Verbindungen korreliert aktivierter Netzwerkelemente

Flexible Vernetzung

Entladungssynchronisationen

Wie lernt das „sportliche“ Gehirn? Beck vermutet, dass hierbei insbesondere drei Vorgänge eine wichtige Rolle spielen:

1 Synaptische Plastizität entwickle u. a. über Veränderungen der Übertragungsstärken der Verbindungen zwischen Gehirnzellen ein Bewegungsgedächtnis.

2 Das Feuern im Gleichtakt würde die dynamische Einbindung unterschiedlicher kortikaler Zellbereiche koordinieren, deren gemeinsame Aktivierung die sportliche Bewegung hervorbringe. Diese Synchronisation beschleunige auf Zellebene Lernprozesse.

3 Das kurzzeitige Ausschütten großer Mengen von Dopamin vermittele insbesondere in den Schaltkreisen zwischen Kortex und den Basalganglien Lernvorgänge, die u. a. für die Auswahl einer situationsangemessenen Bewegung bedeutend seien. Da Bewegungsereignisse, die besser sind als ursprünglich erwartet, solche Dopaminaktivierungen hervorrufen könnten, sei nach Beck überraschender Bewegungserfolg im Sport für Lernvorgänge sehr wichtig. Dopamin spiele weiterhin auch bei der Entwicklung des Verlangens nach sportlicher Betätigung eine bedeutende Rolle.

Interne Bewertung

Dopaminsignale

- Lernsignal
- Motivation

Aktivierungsanlass:
Unerwarteter Bewegungserfolg

Grafik: edlundsepp nach Frieder Beck; Foto: Laura Egger

reden. Wichtig sind zunächst die großen belohnenden Bewegungserlebnisse. An Feinheiten arbeiten wir danach.“

Fahren, ohne darüber nachzudenken

Schließlich die Sondersituation Wettkampf: Ist der Sportler zu nervös oder zu entspannt, passiert im Dopaminsystem wenig. Seine Leistung wird folglich schwächer. Vor dem Start soll der Sportler stattdessen gespannt und konzentriert sein. Er soll ruhig atmen und seinen Kopf frei machen. Dabei helfen langfristig Entspannungsmethoden. Dann lässt er die Pistenfahrt vor seinem inneren Auge Revue passieren. Während der Abfahrt soll er die gelernte Bewegung ausführen, ohne darüber nachzudenken. Scheitert er trotzdem, muss er mit Misserfolg umgehen können und motiviert weitermachen.

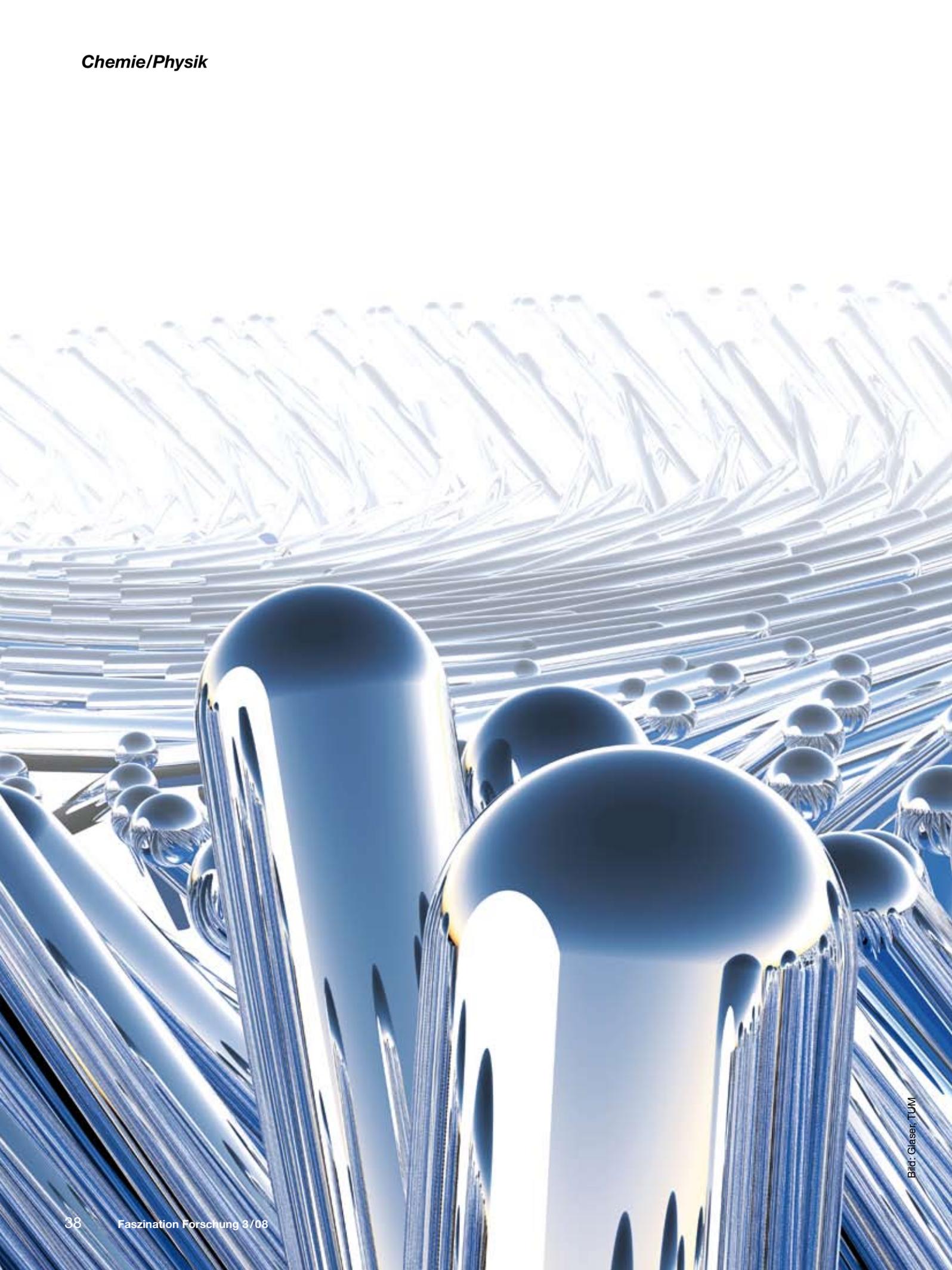
So auch Gerhard Blöchl: Über den Patzer bei den Olympischen Spielen hat er sich sehr geärgert. Aber schon am Tag darauf hatte er ein neues Ziel: Olympia 2010 in Vancouver. Er trainiert dreimal täglich - an 160 Tagen im Jahr auf der Piste, sonst auf dem Fahrrad, mit dem Springseil, an Hanteln, auf dem Trampolin.

Beim Training in der Turnhalle lässt Beck ihn wieder einen Schraubensalto rückwärts drehen. Blöchl läuft über zwei Böcke, berührt das Sprungbrett, hebt ab, dreht sich um die eigene Achse, überschlägt sich ganz gerade und landet - jetzt mit geschlossenen Knien. Frieder Beck fin-

det das gut. Blöchl sei ein großes sportmotorisches Talent, sagt er. Sportlern wie ihm durch optimales Training die ganze Palette an Fertigkeiten mitzugeben, damit sie auf jede Situation mit genau der richtigen Bewegung reagieren, das ist das Ziel. Forscher sind auf dem Weg dahin: Becks Doktorvater Beckmann und wissenschaftliche Mitarbeiter der Fakultät für Sportpsychologie befassen sich zum Beispiel mit sportlichen Hirnstrukturen in Drucksituationen wie dem Wettkampf. Sie untersuchen die Rolle von Angst und Cortisol. Noch gibt das Gehirn den Wissenschaftlern viele Rätsel auf. Aber Beck kommt ihm mit seiner Arbeit näher. Sein Traum: „Genau zu wissen, wie das Gehirn funktioniert. Und dann die Lern-Bedingungen darauf abstimmen, für ein noch ausgefeilteres Techniktraining. Bis dahin dauert es aber sicher noch zehn Jahre.“

Gerhard Blöchl denkt darüber nicht nach. Für ihn ist es einfach so: „Beim Wettkampf gibt es 20 Top-Athleten. Sie alle können gewinnen. Aber am Ende siegt der mit der größten Coolness im Kopf.“ Dann läuft er an, schwingt seine Arme wie ein Vogel auf und nieder, stößt sich vom Sprungbrett ab, macht einen Salto und noch einen, vorwärts und rückwärts und vorwärts. Bis man es schließlich glauben mag: Der Mensch kann wirklich fliegen, ganz ohne Motor und Antrieb. Und das ist doch schon ziemlich perfekt.

Lena Reseck



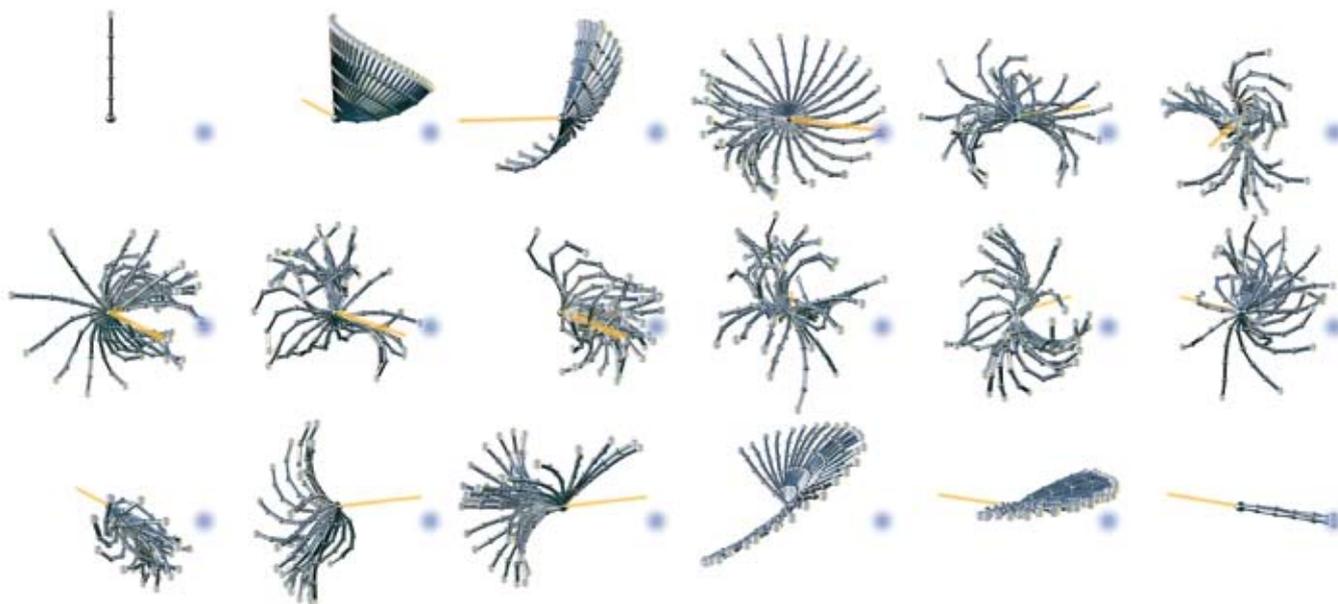
Unter dem Einfluss von magnetischen Impulsen verhalten sich bestimmte Quanten – Kernspins genannt – wie kleine Stäbchen, die sich gleichmäßig ausrichten lassen. Steffen Glaser und sein Team nutzen solche Impulse für einen Quantencomputer

Link

www.org.chemie.tu-muenchen.de/glaser

Quanten als Computer

Professor Steffen Glaser und sein Team können Atome so manipulieren, dass sie nach ihrer Pfeife tanzen. Zusammen mit Harvard-Professoren und Siemens-Forschern beweisen sie die Schlagkraft ihrer Methode: Sie bauen den ersten neuronalen Quantencomputer



Wie bringe ich mit elektromagnetischen Steuerimpulsen Quantenbits vom Zustand links oben in den rechts unten? Die mathematische Kontrolltheorie kann helfen: Mit ihr lassen sich komplizierte Zwischenschritte ermitteln, die das Problem lösen. Die Quantenbits sind hier die kleinen Armsegmente, die elektromagnetischen Felder werden durch die orangefarbene Linie angezeigt

Wer in der Wissenschaft Erfolg haben will, muss bereit sein, über sein eigenes Fachgebiet hinauszublicken, andere Disziplinen zu entdecken und Querverbindungen zu suchen. Steffen Glaser tut das mit großer Begeisterung. An der TUM hat er eine Professur für organische Chemie inne, obwohl er eigentlich Physik studiert hat. „Aber von Anfang an war ich neugierig auf die Schnittbereiche zwischen den Fächern“, sagt er. So galt sein Interesse zunächst vor allem der Biologie. Die Arbeit mit organischen Substanzen führte ihn dann zur Chemie, wo er sich intensiv mit den Methoden der Strukturanalyse von Biomolekülen mittels Kernspinresonanz (NMR, nach der englischen Bezeichnung „nuclear magnetic resonance“) beschäftigte.

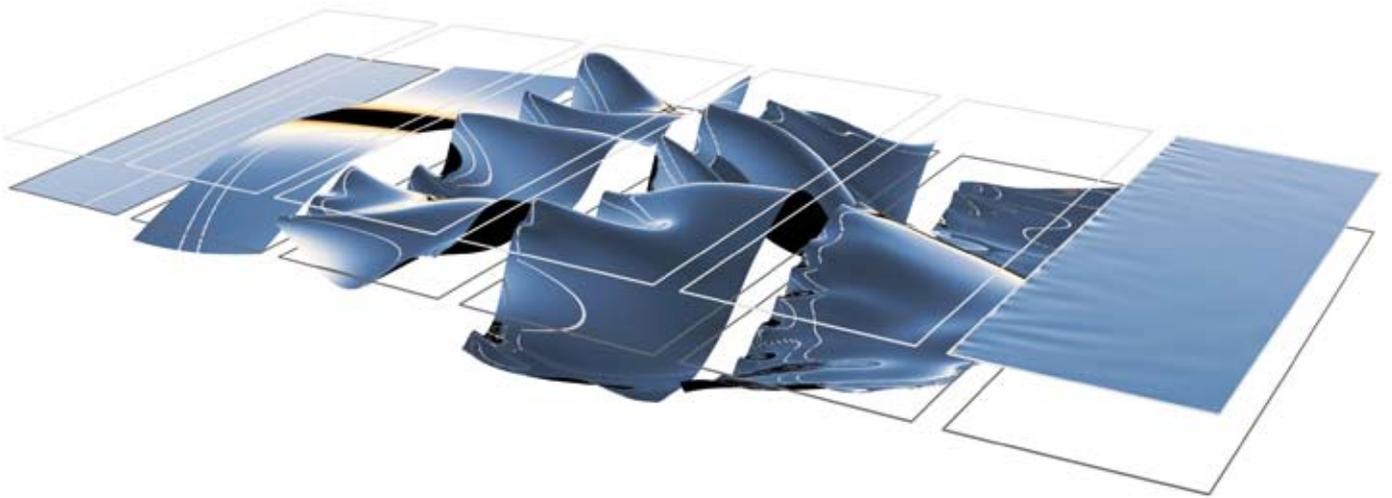
Das Prinzip dieses Verfahrens funktioniert ähnlich wie in der Kernspintomographie, die in der Medizin Bilder aus dem Inneren des Körpers liefert: Man bringt die Probe in ein starkes Magnetfeld, in dem sich ihre Atomkerne aufgrund ihrer Eigendrehung – ihres „Spins“ – und ihres magnetischen Moments entlang der Feldlinien ausrichten. Durch geeignete Hochfrequenzimpulse stößt man dann die Atomkerne an, sie beginnen wie Kreisel um die Magnetfeldlinien zu rotieren und senden dabei ihrerseits Strahlung aus, die man registrieren und auswerten kann.

Der Trick bei der Sache ist nun, dass jeder Atomkern im Molekül bei diesem „Tanz“ Signale einer ganz charakteristischen Frequenz abstrahlt, die von der unmittelbaren chemischen Umgebung beeinflusst wird. So kann man die einzelnen Atomkerne voneinander unterscheiden und Rückschlüsse auf die Struktur des Moleküls ziehen.

Können Quanten Informationen transportieren?

Steffen Glaser interessiert sich vor allem für die Methodik dieses Verfahrens; er erforscht, wie man dessen Effizienz steigern oder sogar ausreizen kann. Hier kamen ihm seine physikalischen Kenntnisse zugute, denn „um die Informationen aus den Molekülen herauskitzeln zu können, muss man die Quantenmechanik wirklich verstehen und anwenden.“ Aber wenn man das kann, dann gelingt es auch, Atomkerne so zu manipulieren, dass man mit ihnen rechnen kann. Denn in der Quanten-Informationsverarbeitung geht es ebenfalls um die Ausrichtung von Atomkernen in einem Magnetfeld. So lag es für Glaser nahe, sich auch mit dem Thema Quantencomputer zu befassen.

Auf diesem ruhen große Hoffnungen der Computertechniker. Mit seiner Hilfe hofft man, Rechenaufgaben lösen zu können, für die heutige Computer nicht gut geeignet



Hier der gleiche Vorgang in einer anderen graphischen Darstellung: Durch eine Abfolge von Steuerimpulsen wird der Zustand links oben in den rechts unten überführt. Die Welligkeit der dazwischen liegenden Flächen zeigt an, wie gut der Zielzustand schon erreicht ist. Erst im letzten Schritt glättet sich die Fläche plötzlich und zeigt so an, dass der erwünschte Zustand erreicht ist

sind, etwa die Zerlegung großer Zahlen in ihre Primfaktoren oder die schnelle Mustererkennung. Dabei macht man sich eine besondere Eigenschaft von Quantensystemen zunutze, die für „normale“ Objekte in unserem Alltag nicht gilt: Sie befinden sich in der Regel nicht in einem eindeutigen Zustand, sondern in einer Überlagerung aller möglichen Zustände gleichzeitig.

Information ist bekanntlich aus Bits zusammengesetzt, mit denen herkömmliche Computer rechnen. Dort kann ein Bit den Wert 0 oder 1 haben, und es wird repräsentiert durch den Ladungszustand eines Schaltelements. Ähnliche Strukturen findet man in der Quantenmechanik. Dort gibt es ebenfalls Zustände, die 0 oder 1 entsprechen, etwa die Ausrichtung eines kreiselnden Teilchens, also seinen Spin. So liegt es nahe, diese Ähnlichkeit auszunutzen, um einen Computer zu bauen. Beispielsweise kann man Spin nach oben 1, Spin nach unten 0 nennen. Für die Bits der Quantenwelt hat sich auch schon ein Name eingebürgert: „Qubit“. Wegen der Überlagerung der Zustände kann nun ein Qubit gleichzeitig 0 und 1 sein.

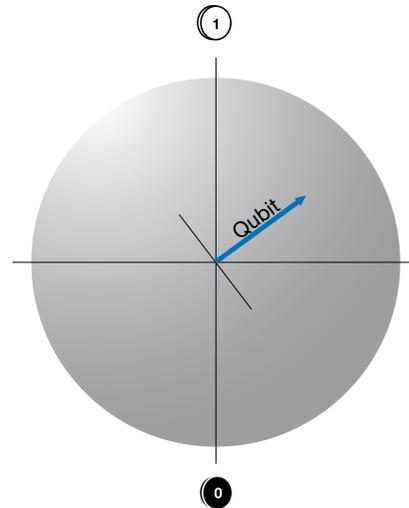
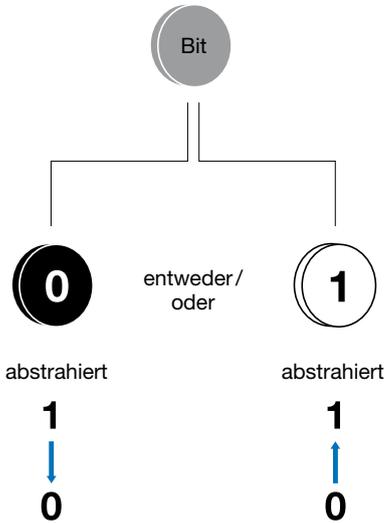
Betrachtet man also zwei Qubits, so können sie die vier Zustände 00, 01, 10 und 11 annehmen, und zwar alle gleichzeitig. Die Zahl der möglichen Kombinationen steigt schnell an; 32 Qubits ergeben schon vier Milliar-

den Möglichkeiten. Im Quantencomputer will man sich diese Vielfalt zunutze machen: Jede Rechenoperation, die man durchführt, würde ja dann in allen Zuständen gleichzeitig ablaufen. Mit zwei Qubits berechnet man automatisch vier Werte gleichzeitig, mit 32 Qubits vier Milliarden Werte. So hätte man einen höchst potenten Parallelrechner – vorausgesetzt, man kann passende Moleküle finden und die Spins ihrer Atome entsprechend kontrollieren, etwa durch NMR.

TUM und Harvard arbeiten Hand in Hand

Glasers Forschungsarbeiten zu diesen Themen an der Universität Frankfurt zeigten gute Erfolge, aber erst ein Zufall brachte ihn mit einem speziellen Zweig der Mathematik in Berührung und machte ihn und sein Team zu einer der weltweit besten Gruppen auf dem Gebiet der NMR-Quantencomputer. Und das kam so: Seine Veröffentlichung über die Grenzen der Effizienz der NMR-Untersuchungen erschien in der Wissenschaftszeitschrift *Science*, und die wurde auch aufmerksam gelesen von Forschern am Department für Ingenieurwesen und angewandte Wissenschaften an der Harvard-Universität. Dort interessierten sich vor allem Mathematiker aus dem Bereich Kontrolltheorie für das Problem. Dieser Wissenschaftszweig untersucht, wie man ein System aus ▶

Qubits als Bausteine eines neuronalen Quantencomputers

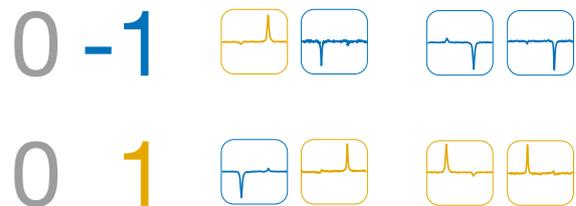
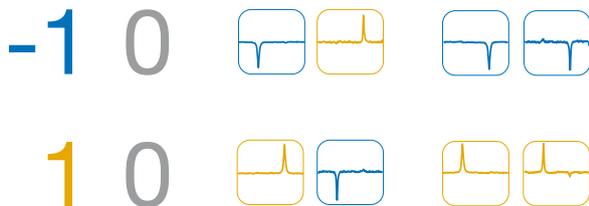


Klassisches Bit:

Der Zustand eines klassischen Bits kann ausschließlich einen der beiden Werte „0“ oder „1“ annehmen. Diese Zustände lassen sich geometrisch durch einen Pfeil (blau) mit den beiden möglichen Orientierungen nach „oben“ bzw. „unten“ darstellen. Für die Beschreibung der beiden möglichen Anregungszustände eines Neurons (ruhend oder feuernd) werden traditionell die Bezeichnungen „-1“ und „1“ verwendet

Quantenbit (Qubit):

Der Zustand eines einzelnen Qubits kann durch einen sogenannten Bloch-Vektor (blauer Pfeil) veranschaulicht werden, der im Gegensatz zur Pfeildarstellung der klassischen Bits nicht auf die beiden Ausrichtungen nach „oben“ bzw. „unten“ eingeschränkt ist, sondern durch geeignete Steuerungen beliebig im dreidimensionalen Raum ausgerichtet werden kann



Der neuronale Quantencomputer erkennt auch bei unvollständiger Eingabe das am besten passende abgespeicherte Muster von Neuronenzuständen.

Blau entspricht dem Neuronenzustand „-1“ (Neuron im Grundzustand), orange dem Neuronenzustand „1“ (Neuron feuert). Die Eingabe „0“ (grau) bedeutet hier, dass der Zustand dieses Neurons unbekannt ist

Die linke Spalte zeigt jeweils ein eingegebenes, unvollständiges Muster für die Zustände zweier Neuronen. Die erkannten Muster lassen sich anhand der Signaturen der gemessenen NMR-Spektren experimentell bestimmen.

Die mittlere Spalte zeigt die Messresultate, falls in dem neuronalen Netz als mögliche Muster die Werte (-1,1) und (1,-1) abgespeichert sind.

Die rechte Spalte zeigt die Ergebnisse für die abgespeicherten Muster (-1,-1) und (1,1)

Vier Möglichkeiten, wie ein Quantencomputer der Zukunft konstruiert sein könnte:

- 1 Angeregte Ionen, die man in so genannten Ionenfallen festhalten und manipulieren kann, wären eine Möglichkeit, einen Computer zu bauen. Sie lassen sich durch geeignete Laserimpulse anregen. Der Zustand 1 wäre dann ein angeregtes Ion, 0 wäre das Ion im Grundzustand.
- 2 Beim Verfahren der Kernspinresonanz NMR in Flüssigkeiten übernehmen die ausgerichteten Spins in einem Atomkern die Rolle der Qubits: Spin up bedeutet beispielsweise 1, Spin down wäre die 0.
- 3 Quantenpunkte, winzige Halbleiterstrukturen in einem Festkörper, könnten als Fallen für Elektronen dienen. Die Teilchen lassen sich dort mit elektromagnetischen Feldern manipulieren, als Qubit dienen der Spin oder die Ladung der Teilchen.
- 4 Supraleitende Schaltkreise, die kleine Josephson-Tunnelkontakte enthalten, sind eine weitere Option für Quantencomputer in Halbleitern. Die Qubits können hier durch Spannungsänderungen oder wie bei NMR durch die Einstrahlung von Mikrowellen-Pulssequenzen manipuliert werden.

einem bekannten Ist-Zustand gezielt und effizient möglichst nahe an einen gewünschten vorgegebenen Soll-Zustand heranführen kann, etwa bei Robotern oder in der Logistik. Und um genau das Gleiche ging es ja auch in Glasers Arbeit.

Deshalb meldete sich eines Tages der aus Indien stammende Doktorand Navin Khaneja aus Harvard bei Steffen Glaser, der inzwischen einem Ruf an die TUM gefolgt war. „Ich lud ihn nach München ein, und wir trafen uns“, erinnert sich der Forscher. Er schilderte Khaneja das Problem, das er und sein Team in monatelangen Computersimulationen und mit den verschiedensten Algorithmen zu lösen versucht hatten: Wie kann man die Information von einem Kernspin möglichst effizient auf einen anderen übertragen? Sie hatten die Lösung von allen Seiten eingekreist, kannten das Umfeld, die Effizienz und die Grenzen des Verfahrens, nur das Verfahren selbst kannten sie noch nicht. Trotz aller Bemühungen blieb die drängende Frage: Wie kann man eine solche Informationsübertragung experimentell verwirklichen? Wie sieht die reale Steuerung aus?

„Eigentlich hatte ich keine hohen Erwartungen an das Gespräch“, erinnert sich der 50-jährige Physiker heute an das erste Treffen mit dem 14 Jahre jüngeren Kollegen. „Aber es hat sofort gefunkt. Ich schilderte ihm unsere Probleme, er war Feuer und Flamme, und bis zum nächsten Tag schrieb er ein kleines Programm, das innerhalb von Sekunden die Lösung fand, nach der wir so dringend gesucht hatten.“ Sie wurde umgesetzt als eine komplizierte Folge von Steuerungsimpulsen, die mit Hilfe kleiner Magnetfeldspulen in die Apparatur eingestrahlt werden und die Spins so manipulieren, dass sie am Ende genau die Positionen einnehmen, die die Forscher wünschen. Steffen Glaser demonstriert den Vorgang am Computer mittels einer Bilderfolge für mehrere Spins, die deutlich macht, dass die Steuerung so kompliziert ist, dass sie sich jeder intuitiven Erklärung entzieht. Sie wirkt wie die scheinbar unerklärlichen Spielzüge von Speedcubern, die mit einigen Dutzend Drehungen in einer geheimnisvollen Abfolge einen beliebig verstellten Rubik's Cube in seinen Urzustand zu-

rückversetzen können. In der NMR-Technologie laufen die Steuerimpulse aber im Mikrosekundenmaßstab ab. Das ist nötig, denn bereits nach wenigen Zehntelsekunden klappen die Spins der Atomkerne von selbst wieder in ihre Ausgangsposition zurück.

Mit diesem neuen methodischen Ansatz begann 1999 eine enge und fruchtbare Zusammenarbeit zwischen dem Münchner Team und dem Forscher aus Harvard, der inzwischen dort Professor ist. Die durchschlagenden Erfolge, die sich aufgrund dieser Kooperation einstellten, machten auch Wissenschaftler der Siemens Corporate Technology (CT) aus dem Münchner Umfeld hellhörig. Die Spezialisten der Abteilung „Lernende Systeme“ beschäftigen sich dort schon seit Längerem mit Verfahren, die man zum Teil der Natur abgeschaut hat. Dazu zählen auch neuronale Netze, die ähnlich wie das menschliche Gehirn arbeiten. „Es handelt sich um Netzwerke, bei denen alle Knotenpunkte miteinander verbunden sind. Die Information steckt in der Stärke der jeweiligen Verbindung“, erklärt Dr. Rudolf Sollacher, der die Abteilung leitet. „Solche neuronalen Netze kann man beispielsweise dazu verwenden, Muster zu erkennen.“



Steffen Glaser (rechts), diskutiert hier mit dem Doktoranden Rodion Neigovzen die Eigenschaften der Moleküle, mit denen sie den neuronalen Quantencomputer in einem Labor des Bayerischen Kernresonanz-Zentrums an der TUM realisieren. Im Hintergrund der supraleitende Magnet eines NMR-Spektrometers, mit dem die Forscher die Quanten-Zustände der Kernspins präparieren, steuern und auslesen können.



Die Quantenbits in einer Flüssigkeit sind nicht voneinander unabhängig, sondern beeinflussen sich gegenseitig. Daraus ergeben sich so verwickelte Verhältnisse, dass die Forscher diese nur noch mit komplizierten Bildern visualisieren können

Das ist nicht ganz neu, aber die Siemens-Forscher gingen noch einen Schritt weiter. „Wenn man die Leistung immer weiter steigert und gleichzeitig die Chips immer kleiner macht, stoßen konventionelle Computer in einigen Jahren an physikalische Grenzen“, gibt der 48-jährige Physiker zu bedenken. Bisher sagte das Mooresche Gesetz die Entwicklung gut voraus. Es stellt fest, dass die Anzahl von Schaltkreisen, die auf einen Mikrochip passt, sich alle 18 Monate verdoppelt.

Quanten - der Stoff für Computer der Zukunft

Gilt das auch in Zukunft, so landet man in wenigen Jahren bei Schaltelementen, die nur noch wenige Nanometer groß sind. Bei diesen winzigen Abmessungen spielen dann bereits Quanteneffekte eine Rolle. Sie könnten den normalen Betrieb eines Computers empfindlich stören, denn in der Quantenwelt herrschen andere Gesetze als im Alltag. „Man kann nun diese Effekte als Störungen auffassen und versuchen, sie zu beseitigen, oder man kann sie ganz bewusst nutzen“, so Sollacher. In diesem Fall braucht man einen Quantencomputer. Für Probleme wie die Mustererkennung könnte sich ein solcher Computer aufgrund seiner Fähigkeiten zum Parallelrechnen besonders gut eignen. Deshalb beschloss man bei Siemens, neuronale Netze und Quantencomputer zusammenzuspannen und das Ganze zunächst einmal in einer numerischen Simulation auszuprobieren.

Ein Forscher, der diese komplizierte Aufgabe übernehmen konnte, war schnell gefunden: Der 28-jährige Quanteninformatiker Rodion Neigovzen war mit dem

Unternehmen durch ein Förderprogramm bereits eng verbunden. Nun nahm er sich des Problems an und schrieb darüber seine Doktorarbeit: „Ich habe sowohl die Architektur als auch die Dynamik eines neuronalen Netzes ins Quantenregime übertragen.“ Auf diese Weise entwickelte er ein Verfahren, das mit Hilfe eines kleinen neuronalen Netzes auf Quantenbasis ein Muster aus zwei Bits zuverlässig erkennen konnte, auch wenn es nur unvollständige Informationen darüber erhielt. „Diese Simulation funktioniert mit beliebig vielen Netzpunkten“, so Neigovzen, „solange der Rechner mitmacht.“

In der virtuellen Welt funktionierte das neuronale Quantennetz hervorragend. Aber jede numerische Simulation muss sich an der Wirklichkeit messen lassen. Stimmen ihre Ergebnisse nicht mit dem realen Experiment überein, ist irgend etwas falsch an ihr. Deshalb suchte Neigovzen nach einer Möglichkeit, seine Simulation im Experiment nachzuprüfen.

Außerdem laufen die Rechenzeiten für eine Simulation mit mehr als einer Handvoll Bits schnell aus dem Ruder; sie könnten einen Großcomputer tage- und wochenlang blockieren. So lag Rudolf Sollacher und seinem Team ebenfalls viel daran, einen Ansatz zu finden, wie man den Algorithmus in einen realen Quantencomputer übersetzen könnte, der dann vielleicht auch mit mehr als zwei oder drei Qubits rechnen kann. Sie wurden fünftig bei Steffen Glaser und seinen Leuten: Im Dezember 2007 gelang im Keller des Chemie-Departments der TUM die weltweit erste experimentelle Umsetzung eines neuronalen Netzes auf einem einfachen Quanten-



Die dargestellte Bildfolge zeigt den Übergang von einem Zustand in einen anderen, wobei wieder Steuerimpulse eingestrahlt werden. Solche Übergänge spielen sowohl im Quantencomputer als auch in spektroskopischen Kernspin-Verfahren eine grundlegende Rolle

computer. Dort hatten die beiden Forscher Neigovzen und Dr. Jorge Neves in Wasser gelöstes Natriumformiat in das Probenröhrchen gefüllt und unterzogen es der NMR-Prozedur. Das Magnetfeld richtete die Spins in der gewünschten Weise aus, und die eingestrahelten Steuerungsimpulse, die Neves vorher berechnet hatte, brachten sie zum Tanzen. Die dabei gemessenen Signale entsprachen genau den von der Simulation vorhergesagten Werten. Damit konnten die Wissenschaftler zeigen, dass Neigovzens Verfahren für einen Quantencomputer auch in der Praxis korrekte Ergebnisse liefert.

Dass all dies erst ein Anfang ist, auf den weitere Schritte folgen sollen, darüber sind sich alle Beteiligten einig. Rodion Neigovzen will die Experimente auf vier und mehr Qubits ausdehnen, und die Siemens-Forscher hoffen, dass einerseits die Theorie ausgebaut werden kann und andererseits die dazugehörigen Experimente eines Tages zu einem funktionsfähigen Quantencomputer führen.

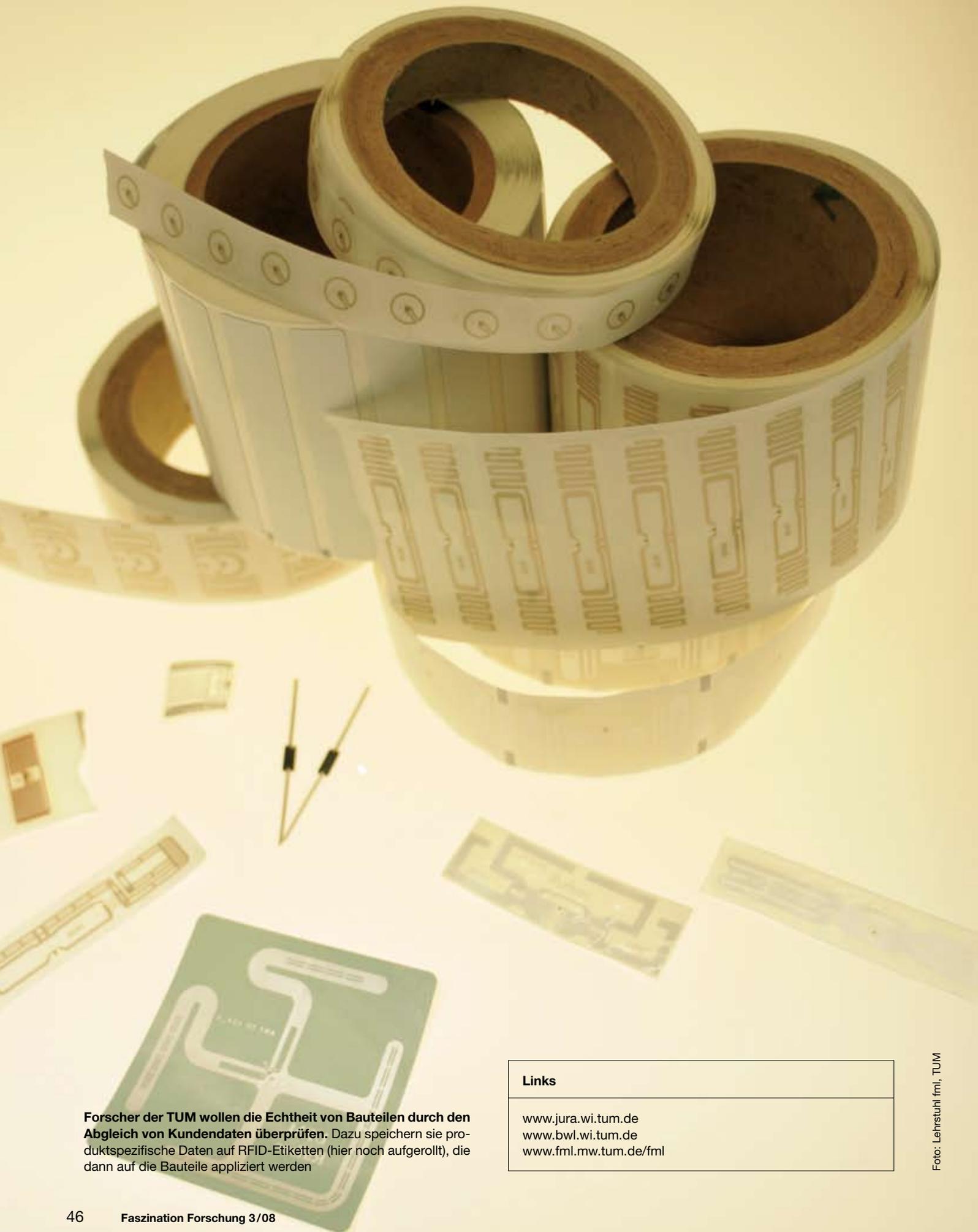
Wie macht man einen Quantencomputer fit?

Steffen Glaser wiederum hat noch ein weiteres Problem im Auge: Er will untersuchen, wie man einen Quantencomputer robuster machen kann. „Ein Problem ist, dass jeder Quantencomputer seine Eigenschaften verliert, wenn er mit seiner Umgebung in Wechselwirkung tritt. Man muss ihn also gegen Einflüsse abschirmen.“

Siemens ist sowieso an den Entwicklungen im Bereich der Quantencomputer stark interessiert: „Wir werden da auf jeden Fall dranbleiben“, ist Rudolf Sollacher sicher,

„sobald es irgendwo eine Hardware gibt mit genügend Qubits, werden wir uns die Sache ansehen.“ Fernziel wäre es, Probleme wie etwa die Mustererkennung einem Quantenrechner zu überlassen, der wie ein Koprozessor an einen konventionellen Computer angeschlossen ist. Damit ließen sich Probleme wie die Identifikation von Gensequenzen oder die Auswertung von Bildern in der Automatisierung oder Medizin schneller und leichter lösen. Dass aber ein ganzer Rechner auf Quantenbasis arbeiten wird, das hält Sollacher nicht für sinnvoll: „Meine Einschätzung ist, dass es eher Hybridrechner geben wird, die konventionelle Technik und quantenmechanische Methoden kombinieren, je nachdem, wo die Stärken der beiden Verfahren liegen.“

Wenn man die großen NMR-Experimentieranlagen im Keller des Chemie-Departments der TUM betrachtet, in denen metergroße supraleitende Magnetspulen die Atomkerne in den winzigen Reagenzröhrchen ausrichten, wird sofort klar, dass die Zukunft des Quantencomputers nicht so aussehen kann. Zu groß, zu aufwändig und zu teuer sind die Anlagen, als dass sie sich für einen Alltagsrechner eignen würden. Steffen Glaser geht auch nicht davon aus, dass ein künftiger Quantencomputer flüssig sein wird: „Ich denke, es wird letztlich doch wieder auf einen Chip hinauslaufen“, meint er, „aber das ändert nichts daran, dass wir die Grundlagen erforschen müssen. Denn die Kontrolle der Quanten müssen wir auf jeden Fall beherrschen, egal, ob sie sich auf einem Chip, in einer Ionenfalle oder in einem Reagenzglas befinden.“ *Brigitte Röthlein*



Forscher der TUM wollen die Echtheit von Bauteilen durch den Abgleich von Kundendaten überprüfen. Dazu speichern sie produktspezifische Daten auf RFID-Etiketten (hier noch aufgerollt), die dann auf die Bauteile appliziert werden

| Links |
|--|
| www.jura.wi.tum.de www.bwl.wi.tum.de www.fml.mw.tum.de/fml |

Produktpiraten – bald ohne Enterhaken?

Alles andere als ein Kavaliersdelikt: Der Schaden von Produktfälschungen erreicht weltweit mindestens 200 Milliarden Euro. Ins Visier der Raubkopierer geraten dabei zunehmend Investitionsgüter. Die TUM tritt an, Fälschern das Handwerk zu legen

Berge von gefälschten Turnschuhen, Uhren, CDs – ein Bulldozer schiebt die vermeintliche Marken-Ware zusammen und schüttet sie krachend in den Reißwolf. Bilder wie diese sehen wir im Fernsehen immer häufiger. Vernichtet werden gefälschte Konsumgüter. Was wir noch nicht sehen, ist die Vernichtung gefälschter Investitionsgüter, das inzwischen weit aus lukrativere Angriffsziel der Fälscher.

Längst haben Produktpiraten den Maschinen- und Anlagenbau für sich entdeckt. „Besonders eklatant sind die auf weltweit bis 10 bzw. 15 Prozent vom Volumen geschätzten Pirateriequoten bei Kfz- bzw. Flugzeugersatzteilen“, berichtet Prof. Christoph Ann, Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsrecht und Geistiges Eigentum an der TU München. Ersatzteile sind bei Fälschern besonders beliebt, denn als Verschleißteile gehören sie zu den Massenprodukten, die im „After-Sales“-Geschäft die größten Margen bergen. „Die Fälscher derart sicherheitskritischer Teile richten dabei jedoch nicht nur wirtschaftlichen Schaden an, sondern gefährden damit auch die Allgemeinheit, wenn etwa minderwertige Bremsbeläge in Kraftfahrzeuge oder Flugzeuge eingebaut werden“, warnt Prof. Ann.

Zunehmend werden sogar ganze Maschinen und Anlagen kopiert. Nach Angaben des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) sind derzeit 60 Prozent aller Fälschungen Komplettnachbauten. Der Gesamtbranchenumsatz im Maschinen- und Anlagenbau betrug in 2007 rund 193 Milliarden Euro. „Aufgrund dieser Zahlen schätzen wir den durch Produktpiraterie entstehenden Schaden für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau auf ca. 7 Milliarden Euro im Jahr“, erklärt Marc Wiesner, Rechtsexperte beim VDMA.

Das hat eklatante Folgen für den Arbeitsmarkt. „Allein in Deutschland gehen jährlich 50 000 Arbeitsplätze verloren“, berichtet Prof. Dr. Horst Wildemann, Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre - Unternehmensführung, Logistik und Produktion an der TU München. „Denn deutsche Unternehmen sind aufgrund ihrer exponierten Stellung in forschungs- und entwicklungsintensiven Bereichen ein beliebtes Angriffsziel von Produktpiraten und daher besonders von Produktpiraterie betroffen.“

Einstiegs Luke für den Fälscher: Das Rechtssystem

Woran hakt es? „Größtes Problem im Kampf gegen Produktpiraten ist die unzureichende Rechtsgewährleistung in den Herkunftsstaaten der Piraterieware“, betont Prof. Ann. „Dort sind Schutzrechte kaum durchsetzbar.“ Das heißt im Klartext: Deutsche Firmen können so viele Patente anmelden, wie sie wollen und finanziell verkräften – doch was nutzt dies in Ländern, in denen internationale Schutzrechte wirkungslos verpuffen? China und die Türkei sind die Paradebeispiele in diesem Szenario. „Die gerichtliche Durchsetzung von Ansprüchen auf Unterlassung, Auskunft und Schadenersatz stößt in vielen Ländern sehr rasch an faktische Grenzen, ungeachtet aller völkerrechtlichen Verpflichtungen und Zusagen“, so der Rechtsexperte.

Paradoxerweise tragen westliche Industriestaaten noch ungewollt dazu bei, die Pirateriekompetenz in den betreffenden Staaten aufzubauen: In Folge der Globalisierung verlagern viele Herstellerfirmen die Produktion von Ersatzteilen in Billiglohnländer. Diese Länder haben jedoch meist auch deshalb ein so geringes Lohnniveau, weil ihre staatliche Infrastruktur mangelhaft ist. Auch ▶



Nur wenn alle Bauteile echt sind, funktionieren die Maschinen reibungslos – wie hier in der Fertigungsstraße zur Möbelproduktion



Alles fließt – das gilt insbesondere für die Produktion im Maschinen- und Anlagenbau. Leider auch für den schwunghaften Handel mit Piraterieware

die Rechtspflege, zu der auch die Rechtsdurchsetzung gehört, ist Teil der Infrastruktur eines Landes. „Nicht selten bauen westliche Hersteller Produktionskompetenz in Staaten auf, in denen sie aufgrund gravierender Mängel der administrativen und justiziellen Infrastruktur keine nachhaltige Prozessherrschaft etablieren können“, analysiert Prof. Ann. „Wer so vorgeht, darf sich später nicht wundern, wenn Probleme und Kosten auftreten, die so nicht eingeplant waren, und das eingangs einmal rosige Bild trüben.“

Die Kontrollmöglichkeiten sind in den Billiglohnstaaten wiederum höchst unzureichend. „Wir kennen Fälle, in denen Produktionsanlagen, die während der regulären Arbeitszeiten legal fertigten, nachts und am Wochenende für die Produktion von Piraterieware einfach weitergenutzt wurden“, berichtet der Wissenschaftler. „Das schädigt den Hersteller gleich doppelt, denn außer den Umsatzeinbußen muss er auch noch den Verschleiß seiner Produktionsanlagen in Kauf nehmen.“

Mit innovativer Technik den Enterhaken aushebeln

Was ist zu tun? „Kurzfristig ist ein wirksamer Schutz vor Produktpiraterie wohl nur technisch zu realisieren“, stellt Prof. Ann fest, der langfristig an einer rechtlichen Problemanalyse arbeitet. Dreh- und Angelpunkt ist zunächst die sichere Authentifizierung von Produkten und die Identifizierung von Piraterieware, denn gefälschte Investitionsgüter sind vom Käufer kaum als solche zu erkennen. Solch eine Arbeit kann man am besten interdisziplinär leisten: An der TUM haben sich drei Lehrstühle und fünf Industriepartner im Verbundprojekt „ProAuthent – Integrierter Produktpiraterieschutz durch Kennzeichnung und Authentifizierung von kritischen Bauteilen im Maschinen- und Anlagenbau“ zusammengeschlossen (siehe S.51).

Partnerschaft gegen Piraterie

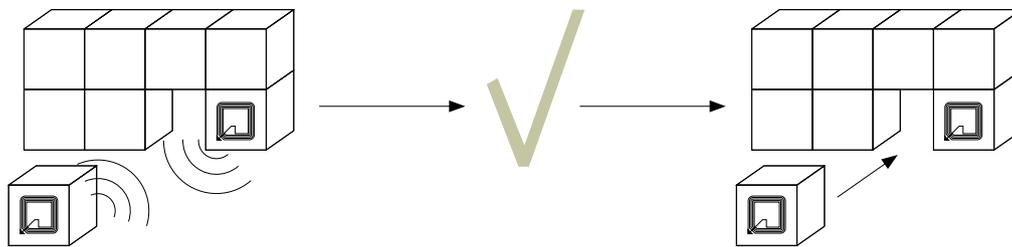
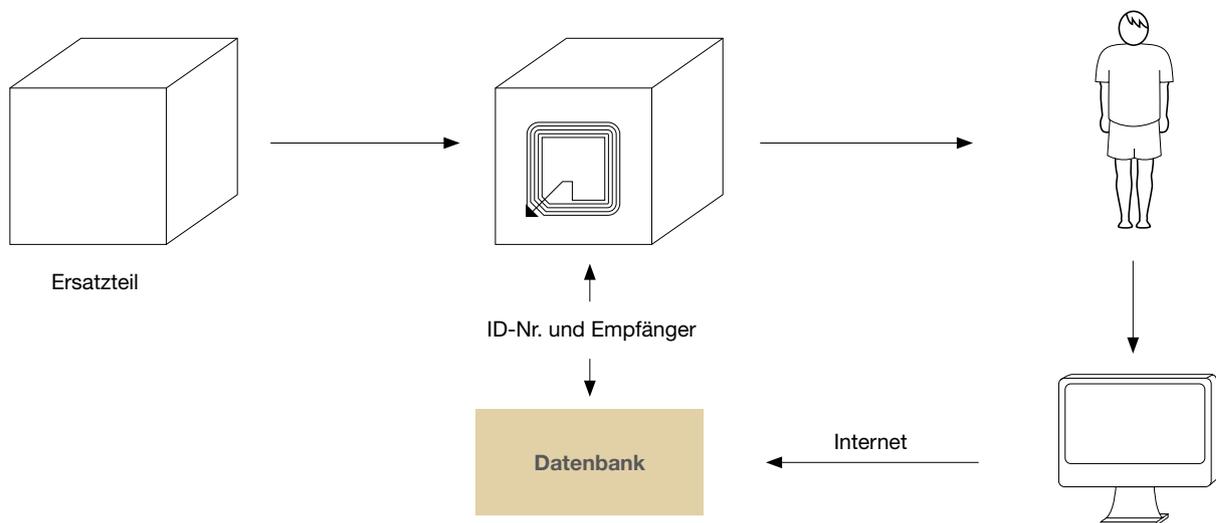
Der Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik von Prof. Willibald A. Günthner entwickelt innovative, fälschungssichere Bauteilkennzeichnungen. Der Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre - Unternehmensführung, Logistik und Produktion von Prof. Wildemann, der zugleich die Federführung des Projekts übernommen hat, bewertet die Risiken in der Logistikkette und erarbeitet Vorschläge für den zutreffenden Ansatz dieser technischen Schutzkonzepte. Deren rechtliche Absicherung im internationalen Umfeld ermittelt wiederum der Lehrstuhl für Wirtschaftsrecht und Geistiges Eigentum von Prof. Ann.

Aus der Industrie nehmen führende Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus wie die Homag Holzbearbeitungssysteme AG, der Verpackungsspezialist Multivac, Sepp Haggenmüller GmbH & Co. KG, die Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH oder die Schreiner Group, Systemlieferant für technische Kennzeichnung, und die Infoman AG, die für die IT-Systeme zuständig ist, teil. Die Laufzeit des vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekts, das im Januar 2008 startete, beträgt drei Jahre. Erste konkrete Ergebnisse erwarten die Projektteilnehmer bis Ende 2008.

„Ziel des Forschungsprojekts ist es, für Unternehmen und ihre Kunden erstmals einen integrierten Schutz vor Piraterieware zu realisieren“, erklärt Ass. jur. Barbara Grüneis, Akademische Rätin am Lehrstuhl von Prof. Ann. „Wir wollen erreichen, dass die Echtheit von Produkten und ihrer Komponenten fälschungssicher überprüft werden kann - entlang der Wertschöpfungs- und Logistikkette sowie integriert am Produkt über die gesamte Produktlebensdauer hinweg.“

Das Zauberwort heißt RFID

Prof. Willibald A. Günthner entwickelt fälschungssichere Authentifizierungsmechanismen. „Der Fokus liegt bei uns auf der Beantwortung folgender Fragen: An welcher



So funktioniert technischer Kopierschutz, wie ihn die TUM-Wissenschaftler entwickeln: Das Original-Ersatzteil wird mit einer Identifikationsnummer gekennzeichnet, die in einer separaten Datenbank hinterlegt wird. Der Bediener kann die Echtheit per Online-Abfrage selbst prüfen (obere Darstellung), oder die Maschine kommuniziert automatisch mit dem Ersatzteil (untere Darstellung). Nur wenn das Bauteil echt ist, zeigt die Maschine volle Performance

Grafik: edlundsepp

Stelle der Logistikkette wird ein gefährdetes Produkt gekennzeichnet? Welche Technologie wird zur Kennzeichnung genutzt? Oder: Welche technischen und organisatorischen Voraussetzungen sind dafür notwendig?“, erklärt der Wissenschaftler.

Neben Farbcodes, UV-Infrarot-Verfahren und Hologrammen verwendet man heutzutage zunehmend die RFID-Technologie für die Kennzeichnung der Originalität von Bauteilen. Die Abkürzung RFID steht für „Radio Frequency Identification“. Dieses technische System bietet die Möglichkeit, Daten zu lesen und zu speichern, berührungslos und ohne Sichtkontakt, da sie per Funk übermittelt werden.

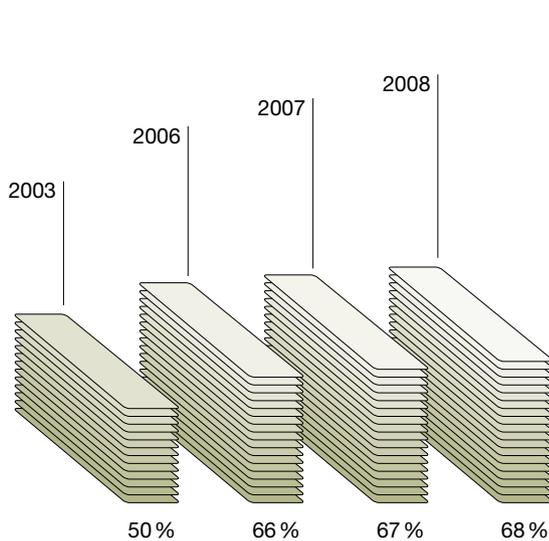
Während bei einer Farbcodierung eine große Menge an Ersatzteilen einem Händler zugeordnet werden kann – z.B. eine Charge Bremscheiben –, liegt der Vorteil der RFID-Technologie in der Möglichkeit, ein ganz bestimmtes Bauteil rückverfolgen (Tracking und Tracing) und auf seine Originalität prüfen zu können (Authentifizierung). „In unserem Projekt wollen wir diese Prüfung auf Echtheit unter anderem durch den Abgleich

von Kundendaten erreichen“, erklärt Dipl.-Ing. Janina Durchholz, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Prof. Günthner.

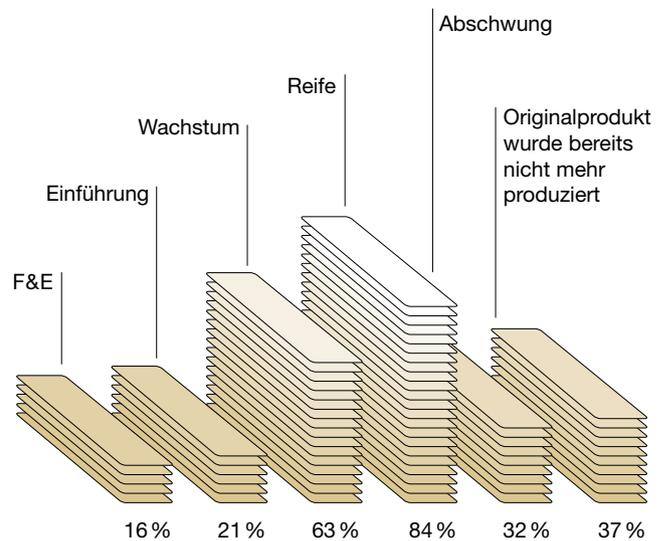
Der Code wird zweifach hinterlegt

Greifen wir uns ein Beispiel heraus: Für eine Fräsmaschine soll ein Original-Ersatzteil bestellt werden, ein hochwertiges Präzisionsspannfutter. Der Hersteller markiert das Produkt zum Beispiel mit einem so genannt RFID-Tag, einem Etikett, das Informationen enthält. Solche Daten sind in unserem Beispiel etwa die Identifikationsnummer des Produkts und der Name des Empfängers. Der Trick dabei ist, dass diese Informationen nicht nur auf dem Kennzeichen gespeichert werden, sondern parallel dazu in einer sicheren zentralen Datenbank. Denn es könnte ja sein, dass der Ident-Träger zwischenzeitlich manipuliert wurde.

Nach dem Versand kommt das Spannfutter beim Kunden an. Dieser prüft, ob er als Empfänger auf dem Kennzeichen eingetragen ist. Über das Internet macht er die Gegenprobe: Der Kunde meldet sich an und fragt ▶



Produkt- und Markenpiraterie in der Investitionsgüterindustrie 2008: Zwei Drittel der Unternehmen sind von unzulässigen Nachbauten betroffen



Reife Früchte pflücken auch Fälscher gern. Angriffe finden in vier von fünf Fällen dann statt, wenn Produkte schon in der Reife-phase sind und am meisten Profit abwerfen

die Identifikationsnummer des Produktes, das an ihn versendet wurde, ab. Diese vergleicht er mit dem Code auf dem Spannfutter.

Der Reisepass für wichtige Ersatzteile

Damit ist die Authentifizierung abgeschlossen – ähnlich der Aktivierung von Software, die erst nach dem beidseitigen Code-Abgleich funktionstüchtig installiert werden kann. Das neue Spannfutter kann in die Fräsmaschine eingebaut werden. Die Maschine fragt beim Einbau, ob die neue Komponente durch die Online-Abfrage authentifiziert wurde, und der Bediener bestätigt mit „Ja“. Die Maschine läuft mit voller Performance.

Mit dieser Online-Abfrage erhält ein Kunde, der ein Originalteil kaufen will, die Möglichkeit, die Echtheit der Ware zu überprüfen. Er initiiert diese Abfrage im eigenen Interesse selbst, um eine Täuschung auszuschließen. Es gibt jedoch noch eine zweite Klientel, die ganz bewusst gefälschte Ersatzteile in die Maschine einsetzen will, etwa um Kosten zu sparen. Doch auch dagegen sind die TU-Wissenschaftler gewappnet: „Beide Fälle treten in der Realität auf“, erklärt Prof. Günthner. „Deshalb entwickeln wir auch Verfahren, diese Abfrage zu automatisieren, damit die Leistung der Maschine automatisch gedrosselt wird. So wirkt man auch

im zweiten Fall dem absichtlichen Einsatz gefälschter Teile entgegen. Automatische und manuelle Prüfverfahren werden sich, wo es sinnvoll ist, gegenseitig ergänzen.“ Damit wollen die TUM-Wissenschaftler Käufer und Verkäufer von Piraterieware abschrecken. Denn volle Leistung soll es nur zum vollen Preis geben. An der Notwendigkeit solcher wirksamer technischer Maßnahmen besteht kein Zweifel. Doch macht es vor diesem Hintergrund überhaupt noch Sinn, ein Patent anzumelden? Zumal die Erfindung 18 Monate nach der Anmeldung zum Patent offen gelegt wird - und das meistens noch vor der eigentlichen Patenterteilung. „Der volkswirtschaftliche Sinn der Offenlegung liegt darin, dass die Ideen, die in einem solchen Patent stecken, gerade nicht geheim bleiben, sondern den Wettbewerb ankurbeln sollen“, sagt Dr. Alexandros Papaderos, Leiter des Patent- und Lizenzbüros der TUM. „Die Konkurrenz will die neue Lösung vielleicht nachmachen, sie darf es aber nicht. Sie muss es besser machen.“

Das ist vielleicht in den Rechtssystemen westlicher Industrienationen die Praxis. Allein in Fernost ist das die hehre Theorie. „War früher die Erlangung von Patenten das bevorzugte Mittel zum Schutz gegen unberechtigte Nachahmungen, so fragen sich Technologieproduzenten heute, ob die damit verbundenen Offenlegungspflichten

nicht vielleicht mehr schaden als nutzen“, gibt Prof. Ann zu bedenken. Manche Produktpiraten durchsuchen gezielt patentamtliche Datenbanken nach wirtschaftlich aussichtsreichen Erfindungen, was durch die moderne IT nun auch noch viel leichter geht. „Barg früher vor allem das Produkt an sich das Piraterie-Risiko, so kann heute schon allein die Offenbarung einer Erfindung Produktpiraten Tür und Tor öffnen“, warnt Prof. Ann.

Produktpiraten graben sich selbst das Wasser ab

„Sollten die großen Pirateriestandorte der Erde die Funktionsdefizite ihrer Justizverwaltungen nicht alsbald in den Griff bekommen, droht ein Anmelderückgang für technologisch wichtige Erfindungen auch in Staaten, in denen dafür im Grunde kein Anlass bestünde“, so Prof. Ann. Insofern bedrohe Produktpiraterie keineswegs nur den einzelnen Erfinder und Schutzrechtsanmelder, sondern darüber hinaus das System gewerblicher Schutzrechte als Ganzes.

„Leidtragende wären namentlich gerade die Schwellenstaaten der Erde, denn weniger Schutzrechtsanmeldungen bedeuten weniger Technologietransfer. Dies träfe weniger die bereits etablierten Technologiestandorte als die Staaten, die auf Technologieimporte angewiesen sind.“ Rasch vollzogen werden nach Ansicht von Prof. Ann durchgreifende Änderungen, wenn Pirateriestand-

orte selbst Technologien entwickeln und exportieren. „Japan hat das gezeigt. Wurde dort bis in die Nachkriegszeit noch kräftig kopiert, ist Piraterie heute in Japan kein Thema mehr.“ Tatsächlich wurde Japan, das Partnerland der Hannover Messe 2008, bei der VDMA-Umfrage nach den Herstellungsländern der Plagiate nur noch von zwei Prozent der Unternehmen genannt.

Prof. Ann hofft für China auf eine ähnliche Entwicklung. Immerhin wurde das Abkommen zwischen dem Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA) und dem Chinesischen Staatsamt für Geistiges Eigentum (SIPO), wonach das DPMA seit mehr als 25 Jahren Hilfestellung beim Aufbau eines leistungsfähigen Patentesystems leistet, erst im Oktober 2007 erneuert. Und was ebenfalls hoffen lässt: Der Präsident des SIPO, Tian Lipu, verbrachte mehrere Forschungsaufenthalte in Deutschland, unter anderem am Max-Planck-Institut für Geistiges Eigentum, am DPMA und am Europäischen Patentamt (EPA).

Er zeigt sich dem westlichen Denken und westlichen Patent-Überlegungen gegenüber sehr aufgeschlossen. Man darf gespannt sein, inwiefern dieses Interesse und diese Entwicklungen im Verbundprojekt „ProAuthent“ in den nächsten Jahren seiner Laufzeit Niederschlag finden werden.

Gudrun Kosche

„ProAuthent“ – Vereint im Kampf gegen Produktpiraten

Investitionsgüter rücken immer stärker in den Fokus der organisierten Kriminalität. Hauptsächlich werden Ersatzteile gefälscht. Da die Fälschungen nur sehr schwer von den Original-Bauteilen zu unterscheiden sind, arbeitet die TU München an einem Projekt, das die Identifizierung gefälschter Bauteile möglich machen soll.

Im interdisziplinären Projekt „ProAuthent - Integrierter Produktpiraterieschutz durch Kennzeichnung und Authentifizierung von kritischen Bauteilen im Maschinen- und Anlagenbau“ arbeiten fünf Industriepartner und drei Lehrstühle der TU München interdisziplinär zusammen.

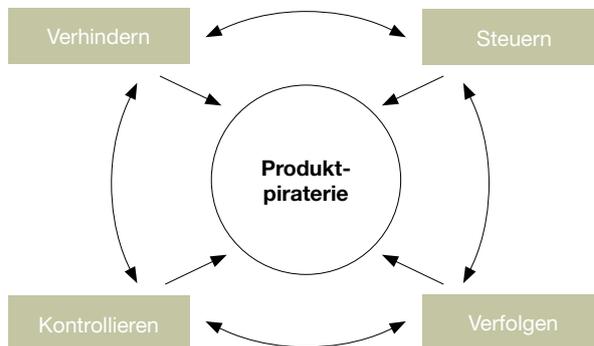
„Wir haben vier Normstrategien zum Schutz vor Produktpiraterie entwickelt: Verhindern, Steuern, Kontrollieren und Verfolgen“, erklärt Prof. Horst Wildemann, Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre - Unternehmensführung, Logistik und Produktion an der TU München, und federführend im Verbundprojekt.

Das sind die vier Säulen des Konzepts:

Verhindern bedeutet, dass ein Nachbau durch Produktpiraten so weit wie möglich abgewendet wird – etwa durch die Blackbox-Bauweise, die ein zerstörungsfreies Zerlegen und damit die Demontage und Analyse des Produkts („Reverse Engineering“) erschwert. Das aktive Steuern soll die Attraktivität einer Nachahmung reduzieren, zum Beispiel indem Produkte mit Dienstlei-

stungen verknüpft werden, die nicht von Piraten angeboten werden können.

Kontrollieren ist das Identifizieren von Piraterieware und deren Herkunft sowie die Abschreckung der Produktpiraten innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette z.B. durch die Vergabe von Echtheitszertifikaten. Hier kommen Lösungen der Originalitäts- oder Unikatkennzeichnung sowie Tracking & Tracing Systeme zum Einsatz (RFID, „Radio Frequency Identification“, Funkerkennung).



Verfolgen ist die Bekämpfung der Piraterie mit rechtlichen Mitteln. Voraussetzung dafür ist die Patentierung der Produkte.

Durchleuchtung – einmal anders

Mit Neutronenstrahlen analysieren Wissenschaftler an der Forschungsneutronenquelle in Garching das Innere von Metallen

Es war das größte Werkstück, das Dr. Michael Hofmann und sein Team bisher auf ihrem Proben­tisch hatten: ein zylindrischer Aluminiumblock von 30 Zentimetern Höhe und 55 Zentimetern Durchmesser, geliefert von einer großen Maschinenbau­firma.

Aus diesem mehr als drei Zentner schweren Schmiedekörper soll später ein filigranes Bauteil herausgefräst werden, dessen Abmessungen auf Bruchteile von Millimetern genau sein müssen. Damit dies gelingt, darf der Aluminiumblock keine großen inneren Spannungen aufweisen. Und das überprüften Hofmann und seine Leute an der Forschungsneutronenquelle (FRM II) der TUM in Garching mit Hilfe von Neutronen.

Diese Teilchen sind winzig klein und elektrisch neutral. Obwohl unser sichtbares Universum etwa zur Hälfte aus ihnen besteht, wurden sie erst vor rund 75 Jahren entdeckt. Inzwischen aber haben die Physiker nicht nur ihre Eigenschaften ergründet, sondern auch gelernt, sie als wichtiges Werkzeug für viele Zwecke zu benutzen, zum Beispiel zum Durchleuchten von Metallen. An den größten Neutronenquellen der Welt konkurrieren Forscher um die knappe und teure Bestrahlungs- und Messzeit, sei es am Hochflussreaktor des Instituts Laue-Langevin (ILL) in Grenoble, an

| |
|--|
| Link |
| www.frm2.tum.de/wissenschaft/diffraktometer/stress-spec |

den Spallations-Neutronenquellen im amerikanischen Oak Ridge und im japanischen Tsukuba oder eben am FRM II in Garching. Hier, in der Experimentierhalle des Reaktors, sind strahlenförmig rund um den Reak-

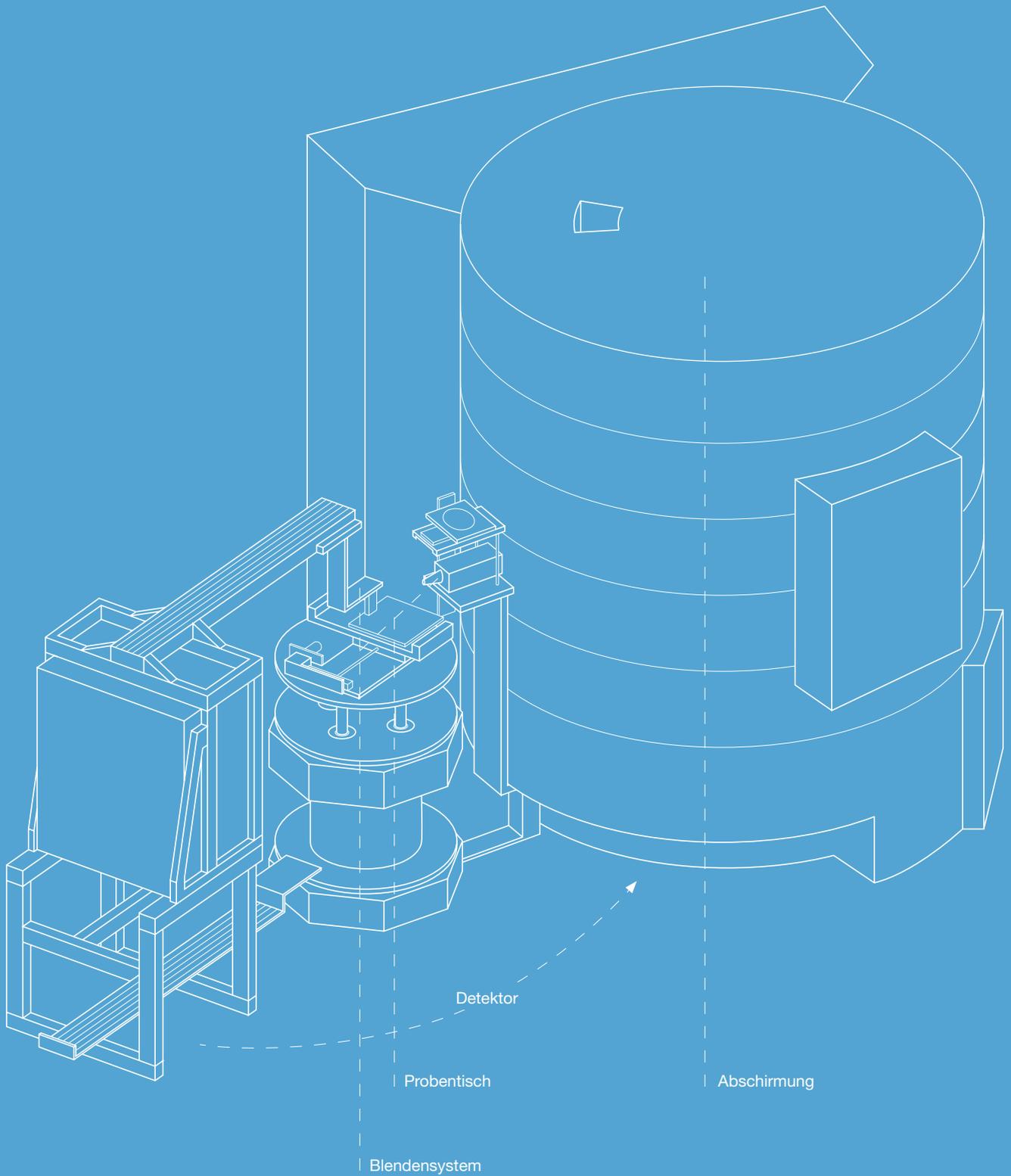
torkern die Messanordnungen aufgebaut. Viele Forschergruppen betreiben hier Grundlagenforschung, einige aber kommen auch aus der Industrie und wollen die Teilchenstrahlen dazu benutzen, Produkte zu verbessern oder neue zu entwickeln.



Die Anlage STRESS-SPEC am Forschungsreaktor Garching kann metallische Objekte mit Hilfe von Neutronen durchleuchten und Spannungen in ihrem Inneren darstellen – hier bei einem Verdichterrad

Mit raffinierten technischen Tricks und viel Aufwand kann man die Neutronen abbremsen oder beschleunigen, man kann sie – obwohl sie auf elektrische und magnetische Felder im Prinzip nicht reagieren – bündeln oder um die Kurve lenken. Und man kann sie je nach ihrer Geschwindigkeit sortieren. Weil sie ein winziges magnetisches Moment besitzen, kann man sie sogar um ihre eigene Achse drehen. Außerdem gibt es inzwischen hochempfindliche Messgeräte, die nicht nur Ort und Geschwindigkeit der Teilchen

feststellen, sondern auch prüfen können, in welche Richtung die magnetischen Momente zeigen. „Neutronen sind heute ein unentbehrliches Hilfsmittel in der Materialforschung, denn sie können tief in das Material eindringen, viel tiefer als beispielsweise Röntgenstrahlen“, erklärt ▶



Der Aufbau der Messanlage: In der Abschirmung wird der Neutronenstrahl vorbereitet. Das Blendensystem leitet ihn zum Objekt auf dem Probentisch. Der Detektor kann sich im Kreis um das Objekt herumbewegen und die gestreuten Neutronen registrieren



Fotos: TUM

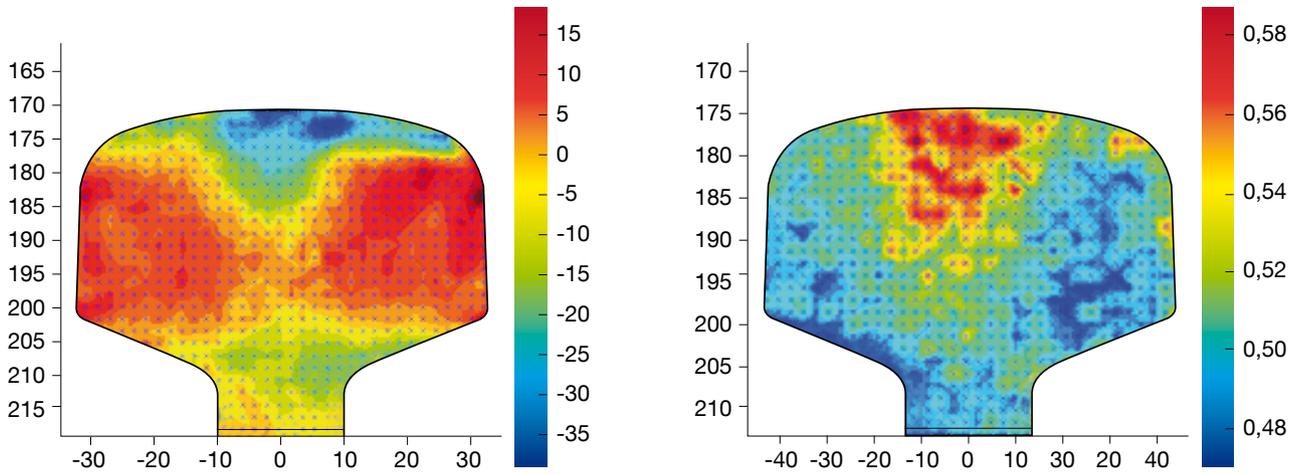
Links der mehr als drei Zentner schwere Aluminium-Rohling bei der Messung in STRESS-SPEC. Rechts richtet der Techniker Günther Seidl ein Verdichterrad millimetergenau für die Messung ein

Michael Hofmann, der am FRM II die Arbeiten am STRESS-SPEC leitet. Bei dieser Messanordnung handelt es sich um ein so genanntes Diffraktometer. Es beruht darauf, dass Neutronen, die ein Kristallgitter durchqueren, an den Gitterebenen abgelenkt werden, ähnlich wie Licht, wenn es zum Beispiel Glas durchdringt. Der Fachmann nennt das „Beugung“ oder „Diffraktion“. Am STRESS-SPEC trifft ein Neutronenstrahl aus dem Reaktor auf das Werkstück, und die Forscher messen die Ablenkung des Strahls. Je nach der Beschaffenheit des Kristallgitters ist sie größer oder kleiner. „Daraus können wir dann Rückschlüsse auf die atomare Struktur des Materials ziehen und damit auch auf innere Spannungen, ohne das Bauteil zu zerstören“, so der Projektleiter.

Besonders wichtig sind dabei die so genannten Eigen Spannungen, denn sie beeinflussen die Eigenschaften eines Bauteils, etwa seine Festigkeit, Lebensdauer, Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit. Es handelt sich dabei um mechanische Spannungen, die auch dann vorhanden sind, wenn das Werkstück keinen äußeren Belastungen unterliegt. Sie entstehen bei der Herstel-

lung des Materials, etwa beim Gießen, Umformen, Fügen oder Härten oder später bei der Fertigung. Häufig findet man sie auch in Verbundmaterialien, zum Beispiel in faserverstärkten Werkstoffen oder an Schweißnähten. Meist sind diese Spannungen unerwünscht, denn wenn das Bauteil während des Betriebs zusätzlich unter Stress gerät, verstärken sie die Belastung und können dadurch zu einem vorzeitigen Bruch führen. Umgekehrt können gezielt eingebrachte Druckspannungen – etwa beim Kugelstrahlhärten – an der Oberfläche das Bauteil verbessern, denn sie verhindern, dass sich Mikrorisse ins Innere hinein fortpflanzen.

Die Industrie ist deshalb bestrebt, möglichst genaue Informationen über die Eigenspannungen in einem Material herauszufinden. Sie benutzt dazu vielfach numerische Simulationen, bei denen auf einem Computer die Vorgänge im Inneren eines Werkstücks berechnet werden. Am Ende ergeben sich farbige Bilder, aus denen man die Stärke der Spannungen ablesen kann. Ob aber derartige Simulationen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, kann man nur mit Hilfe des Experiments feststel-



Die Messergebnisse am Querschnitt einer gebrauchten Eisenbahnschiene: Links sind die Spannungen, rechts die Verformungen farblich dargestellt. Man sieht, dass die Schiene durch die Belastungen verformt wurde und starke innere Spannungen aufweist

len. Deshalb lassen Firmen ihre Werkstücke gern am STRESS-SPEC prüfen, um danach die gemessenen mit den berechneten Werten abzugleichen.

„Am FRM II ist die Intensität des Neutronenstrahls so hoch, dass wir auch relativ große Bauteile durchstrahlen können und dabei sehr genau und schnell sind“, sagt Michael Hofmann. Der Aluminiumrohling oder Teile von Kurbelwellen sind Beispiele dafür. Punkt für Punkt rastert die Anlage das Material durch, ein Messpunkt wird mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Kubikmillimetern berechnet. Damit ergibt sich am Ende ein gutes räumliches Bild der Spannungen im Inneren. Im Extremfall können die Forscher auch bis auf einen Millimeter genau messen. Weil wenige Sekunden genügen, um eine Messung durchzuführen, kann man auch ganze Messreihen fahren mit unterschiedlichen Temperaturen oder von außen ausgeübtem Druck auf das Werkstück. Aber nicht nur Spannungen im Material untersuchen die Wissenschaftler am STRESS-SPEC. Sie können auch Aussagen treffen über die innere Textur von Werkstoffen, also etwa über die Verteilung und Ausrichtung

ihrer Kristallkörner. Das ist beispielsweise wichtig, wenn Aluminium später zu feinen Blechen für Getränkedosen gewalzt werden soll, denn bestimmte Texturen können die Bleche dabei wellig und unbrauchbar machen.

So lassen sich also einzelne Prototypen untersuchen, aber die Experten in Garching klären auch die Frage, wie sich Material während des Bearbeitungsprozesses verhält. Dieses Wissen können Ingenieure dazu verwenden, um die Herstellung zu optimieren. Industrieunternehmen nutzen beide Optionen. Am befreundeten Hahn-Meitner-Institut in Berlin, mit dem die Physiker des FRM II eng zusammenarbeiten, wurde so bereits eine Ariane-Brennkammer untersucht. In Garching ist man bisher auf Bauteile beschränkt, die nicht dicker als 80 Zentimeter und nicht höher als 52 Zentimeter sind. Noch größere und sperrigere Teile werden aber bald auch für Hofmann und sein Team kein Problem mehr darstellen. Sie haben einen Industrieroboter angeschafft, der in Zukunft die Proben millimetergenau in der richtigen Position halten und computergesteuert verschieben kann.

Brigitte Röthlein



Link

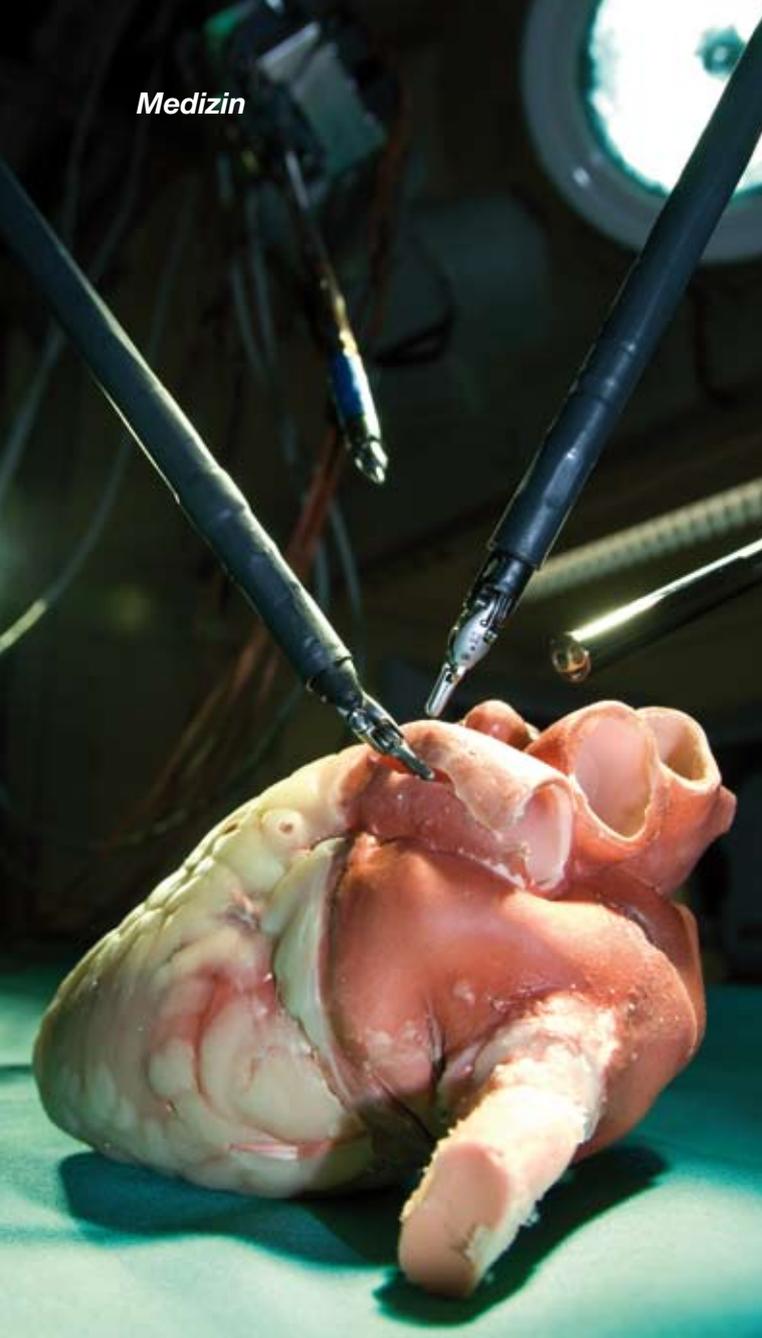
www.dhm.mhn.de

Foto: Stephan Yavira

Ein Roboter mit viel Gefühl

Am Deutschen Herzzentrum München entwickeln Mediziner und Informatiker einen Roboter für endoskopische Herzoperationen. Der Clou: Er gibt den Ärzten Rückmeldung darüber, wie sich das Gewebe anfühlt, an dem er arbeitet





Die Roboterarme des chirurgischen Telemanipulators, der mit Tastsinn ausgestattet ist, werden über zwei Bedienelemente gesteuert. Der Monitor gewährt den Operateuren 3D-Blick auf den OP-Situs – hier ein „Patientenmodell“. Der Operationsroboter ist eine Entwicklung des Deutschen Herzzentrums München mit dem Lehrstuhl Robotics and Embedded Systems der TUM im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 453

Zwei grelle Scheinwerfer werfen ihr weißliches Licht auf einen menschlichen Brustkorb aus Plastik. Auf der linken Seite des Modells sind die Nachbildungen von Rippen zu sehen. Durch die Hohlräume ragen vier lange Stäbe ins Innere des Plastik-Brustkorbes. Sie zielen auf ein Herz aus Kunststoff, das täuschend echt aussieht.

Zu sehen ist diese Szenerie in einem der Forschungslabore der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie am Deutschen Herzzentrum München (DHM) der TUM. Geleitet wird die Klinik von Prof. Rüdiger Lange. Schnell fühlt sich der Betrachter bei dem Anblick erinnert an eine Operationssituation, bei der ein Eingriff mit endoskopischen Methoden im Brustkorb vorgenommen wird.

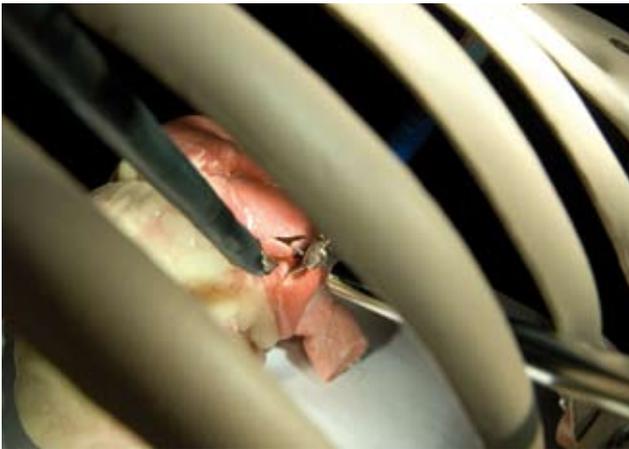
Doch es gibt einen entscheidenden Unterschied: Direkt am „Patientenmodell“ stehen keine Chirurgen oder Operationsschwestern. Statt der Ärzte am Operationstisch hängen über der Anordnung große weiße Roboterarme mit vielen Kabeln. Die Arme münden schließlich in den vier dünnen schwarzen Stäben. An drei dieser Stäbe sind kleine silberne Zangen angebracht, der vierte Stab ist eine endoskopische Stereokamera, die direkt das Plastikherz unter den Rippen im Fokus hat. „Wir entwickeln hier einen Telemanipulator, der künftig endoskopische Eingriffe am Herzen ermöglichen soll“, erklärt Dr. Eva U. Braun von der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie am Deutschen Herzzentrum München. Die Medizinerin ist Mitarbeiterin im Teilprojekt I4 des Sonderforschungsbereichs 453 der Deutschen Forschungsgemeinschaft

„Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion“. Mit beteiligt an dem Vorhaben sind neben den Chirurgen des Herzzentrums auch die Informatiker des Lehrstuhls für Echtzeitsysteme und Robotik der TUM (Prof. Alois Knoll).

Operationsroboter sind in der Regel als Telemanipulatoren mit Eingabekonzole ausgelegt. Das auffälligste Merkmal dieser Technologie ist die Tatsache, dass der Chirurg nicht mehr direkt beim Patienten steht, sondern die Greifarme für den endoskopischen Eingriff von einem speziellen Arbeitsplatz ein paar Meter vom Operationstisch entfernt bedient. Über zwei Bedienelemente steuert der Operateur bei gleichzeitigem Blick in ein Kamerasystem die Instrumentenarme des Telemanipulators.

Zur Demonstration setzt sich Eva U. Braun an den Arbeitsplatz. Vor ihr ist eine Armlehne und ein großer schwarzer Kasten installiert. In dem Kasten befindet sich der Monitor, über den die Stereo-Endoskop-Kamera die Bilder vom Herzen überträgt. Auf dem Bildschirm zu sehen sind auch vier Greifarme, von denen die Medizinerin gleich zwei steuern wird. Zuvor setzt sie sich noch eine Polarisationsbrille auf, die ihr eine dreidimensionale Darstellung des Herzens über den Bildschirm ermöglicht.

Anschließend legt Eva U. Braun um ihre Daumen und Zeigefinger kleine Schlaufen mit Klettverschlüssen. Die Schlaufen sind wiederum an einer Mechanik für die Steuerung der Roboterarme befestigt. So werden die Fingerbewegungen der Medizinerin auf die kleinen Roboterzangen am Ende der Stäbe übertragen. Ebenso kann Braun durch die Bewegung ihrer Arme und ▶



die Drehung der Hände die Greifer des Telemanipulators nach vorne und nach hinten dirigieren, sie kreisen lassen und öffnen und schließen.

„Der Telemanipulator übt in diesem Modus keine selbständigen oder programmierten Bewegungsabläufe aus, der Chirurg hat zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über das Gerät und dessen Instrumentbewegungen“, erklärt Braun während sie ihre Hände rotieren lässt. Sofort reagieren die Greifarme vor ihr auf dem Monitor und führen exakt ihre Handbewegungen aus. „Wir können die Motorik des Handgelenks eins zu eins in das Operationsgebiet übertragen“, erläutert Braun weiter.

Erfahrungen mit Operationsrobotern hat man am Deutschen Herzzentrum München bereits zuvor gesammelt. Hier wurde im Jahr 2000 mit dem Telemanipulator „Da Vinci“ die weltweit erste totalendoskopische Mitralklappenrekonstruktion durchgeführt, bei der der Eingriff ohne Öffnung des Brustkorbes erfolgte. Die Mitralklappe funktioniert wie zwei Torflügel, die den Rückfluss des Blutes aus der linken Herzkammer in den linken Vorhof bei der Kontraktion verhindern.

Diese endoskopische Operation war jedoch nur für Patienten mit einfachen Klappenerkrankungen geeignet. Bei komplizierten Fällen, wie etwa bei einer Verkalkung der Klappen, war die Methode nicht geeignet. Dafür muss-

Modell des menschlichen Brustkorbes aus Plastik. Durch die Zwischenrippenräume ragen die endoskopischen Instrumente und die Stereokamera des Telemanipulators direkt auf das Herz

ten die Mediziner den Brustkorb des Patienten weiterhin öffnen. Insgesamt war man damals mit dem System nicht zufrieden.

Tastsinn für den Telemanipulator

Wie bei dem Operationsroboter „Da Vinci“ fehlt den heutigen Telemanipulatoren in der klinischen Anwendung noch eine ganz entscheidende Fähigkeit: das Feingefühl. Zwar filtern die Roboter elegant jegliches Zittern der Hände aus dem Bewegungsablauf heraus, doch keines der Assistenzsysteme ist bisher fähig, Tastsinn zu entwickeln und ihn auf die Hände des Chirurgen zu übertragen.

So ist es den Medizinern nicht möglich, veränderte Strukturen, wie zum Beispiel Kalk oder verhärtetes Gewebe, sowie Kollisionen der Instrumente untereinander zu spüren. „Die Chirurgen mussten daher, z.B. bei Da Vinci, während des Eingriffs am Herzen alle Eindrücke wie Bewegung, Kollision oder Deformation im dreidimensionalen Bild visuell kompensieren“, erläutert Eva U. Braun.

Doch mit der neuen Technologie, die die Mediziner gemeinsam mit den Informatikern am Deutschen Herzzentrum München entwickeln, könnte sich das bald ändern. Zur Demonstration nimmt Eva U. Braun mit den Greifarmen auf dem Operationstisch eine Nadel und einen Faden auf. Sie sticht die Nadel in das Plastikherz unter den Rippen und zieht den Faden straff. Sobald der Faden gespannt ist, verspürt die Medizinerin einen Widerstand. „Wir konnten bereits die Erfassung von Kräften auf den Roboter übertragen“, erklärt Eva U. Brauns Kollege Dr. Hermann Mayer. Er arbeitet als Informatiker an dem Projekt. Gleich neben dem Arbeitsplatz für den Chirurgen steht Mayers Computer. Dort tüftelt er an der Programmierung des Telemanipulators. Mayer ist es mittlerweile gelungen, den Telemanipulator individuell an den Chirurgen anzupassen. „Es gibt unterschiedliche Einstellungen, mit denen die Chirurgen arbeiten können“, sagt der Informatiker. So kann nun an dem Telemanipulator die direkte Übertragung der Kräfte 1:1, aber auch beliebig verstärkt auf der Benutzerseite stattfinden.

Die geeigneten Einstellungen ergaben sich aus einem umfangreichen Test, der zusammen mit dem Institut für Arbeitswissenschaften der Universität der Bundeswehr in Neubiberg durchgeführt wurde. Dabei wurden insgesamt 25 Herzchirurgen des DHM mit unterschiedlicher Erfahrung gebeten, den Telemanipulator zu evaluieren. Die Mediziner mussten mit den zwei Greifarmen chirurgisch Knoten, tasten und Nahtmaterial zerreißen. „Mit der Haptik konnten die Chirurgen sehr viel besser den Zeitpunkt des Reißens des Fadens erkennen als ohne die Rückkopplung“, resümiert Mayer. Braun fügt hinzu: „Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass mit Haptik Gewebe weniger stark zerstört wird.“

Eine Methode, die Patienten schont

„Ein wichtiger Punkt bei den telemanipulierten Operationsverfahren ist die optimale Platzierung der Instrumenten- und Kamerazugänge zwischen den Rippen. Nur dann kann eine Operation am geschlossenen Brustkorb erfolgreich durchgeführt werden“, erläutert Professor Robert Bauernschmitt, der Leiter des Projekts im Sonderforschungsbereich am DHM. Minimalinvasive und endoskopische Operationsmethoden haben ein großes Potenzial für die Herzchirurgie, davon ist Bauernschmitt, der zugleich Chef der herzchirurgischen Forschungsabteilung am DHM ist, überzeugt.

Zum einen würde ein chirurgisches Assistenzsystem den Operateur in die Lage versetzen, menschliche Barrieren zu durchbrechen: „Ein solches System lässt sich auf unterschiedlichste Kraft- und Größenbereiche skalieren, überbrückt Distanzen und überwindet Beschränkungen

der räumlichen Zugänglichkeit im Operationsgebiet“, erläutert der Herzchirurg. Der zweite Vorteil ist für Bauernschmitt ein noch stärkeres Argument: Telemanipulatoren würden eine erhebliche Reduktion der Haut- und Gewebeeinschnitte sowie der Erholungszeiten der Patienten nach der OP ermöglichen.

Große Möglichkeiten für die Herzchirurgie

Für die Zukunft will das Team eine weitere Verkleinerung der Instrumente und eine maximale Flexibilität der Telemanipulatorarme erreichen. So will man den Patienten in der endoskopischen Herzchirurgie ein breiteres Behandlungsspektrum anbieten. Neben der Mitralklappenrekonstruktion soll dann zum Beispiel auch der Ersatz der Aortenklappe möglich werden. Die Aortenklappe verhindert den Rückfluss des Blutes ins Herz.

„Die Möglichkeiten der minimalinvasiven und endoskopischen Techniken sind in der Herzchirurgie noch lange nicht vollständig genutzt“, so Klinikdirektor Prof. Dr. med. Rüdiger Lange. Würden die Techniken der endoskopischen Chirurgie mit assistierenden haptischen Manipulatoren und Instrumenten verknüpft, wären vielfältigere Indikationsspektren möglich und momentane Einschränkungen könnten überwunden werden.

Eva U. Braun ist gleicher Meinung: „In den nächsten zwei Jahren der Projektphase des SFB wollen wir mit unserem Telemanipulator erste reale Operationen am Schweineherzen durchführen“, sagt sie. „Letztendlich ist es unser Ziel, alle Operationen am Herzen endoskopisch durchführen zu können.“ *Thorsten Naeser*



Die haptische Ausstattung des Telemanipulators hat sich in den Versuchen bewährt: Das Gewebe wird weniger stark zerstört und beim chirurgischen Knoten treten weniger Fadenrisse auf

Link

www.landentwicklung-muenchen.de

Ein bayerischer Exportschlager

Was kann ein chinesisches Dorf von bayerischen Gemeinden lernen? Eine ganze Menge, findet der Geodät Holger Magel. Er ist international für seine Dorferneuerungen bekannt – und unterrichtet nun Masterstudenten aus der ganzen Welt



Plan: Kurz



Legende (Planung)

- Asphalt
- Pflaster Beton/Granit
- Pflaster mit Rosenfuge
- Grünfläche
- Schotterrasen
- Schotter
- Zeiler / Borde
z.B. 2-Zeiler HK
- Straßeneinlauf
- Lampenstandort
- Baum (Neupflanzung)
- Entwässerungsleitung
z.B. DN 200 KG-Ltg
- Zaunlinie (Neusetzung)
- 669.95 Höhenpunkt neu

DORFERNEUERUNG WEYARN

| | | | |
|--|--|---|--------|
| benutzer: ALE - München | | Plan 1 | |
| Vorhaben: Platzgestaltung nördlich vom Rathaus in Weyarn | | Jahr: | Datum: |
| Entwurf Maßstab: M 1 : 200 | | | |
| | | M 1 : 200 | |
| Projekt: Lageplan Platzgestaltung und Parkplätze bei Schlickennieder | | Standort: | |
| Planer: TG-Weyarn | | Datum: | |
| Datum: 18. Januar 2006 | | Blatt: | |
| Projekt: DE 022 OP 04 | | Blatt: 101/01-3 | |
| Blatt: 02 | | Planungsbüro OTTO KURZ Kirchenstraße 54c 81675 München Tel: 089 48 950 315 Fax: 48 950 314 eMail: mailbox@planung-kurz.de | |

So sieht erfolgreiche Entwicklung aus: Ausschnitt aus einem Dorfentwicklungsplan, so wie ihn sich die Wissenschaftler der TUM vorstellen können

“Land, because of its unique nature and crucial role it plays in human settlement, cannot be treated as an ordinary asset, controlled by individuals and subject to pressures and inefficiency of the market”

Vancouver Conference on Habitat, 1976

Es stehen drei Skulpturen im Büro des Ordinarius für Bodenordnung und Landentwicklung, Professor Holger Magel: Ein Bayerischer Löwe aus Nymphenburger Porzellan, zwei bronzene chinesische Kraniche und eine afrikanische Maske: „Den Löwen habe ich von Josef Miller bekommen, die Kraniche von Madame Xu und die Maske hat mir ein Student aus Ghana mitgebracht,“ erläutert Magel die Gegenstände, die auf einem Sideboard gleich neben der Bürotür stehen. Drei Geschenke oder besser gesagt Auszeichnungen, die wie im Zeitraffer Professor Magels berufliches Leben repräsentieren.

Den Löwen bekam er für sein Engagement als oberster bayerischer Dorferneuerer und Landentwickler, die Kraniche für seine Verdienste um ein Dorf im chinesischen Shandong und die Holzmaske von einem seiner Masterstudenten, die er an der Technischen Universität München in Landmanagement ausbildet. Holger Magel hat sein gesamtes berufliches Leben als Geodät an den Schnittstellen zwischen Verwaltung, Wissenschaft und Politik verbracht und dabei die Überzeugung gewonnen, dass viele Konflikte weltweit und viele Hungerprobleme mit der Verteilung von Grund und Boden zu tun haben. „It’s all about land!“ ist daher auch der Slogan, mit dem sein Lehrstuhl um Studenten aus allen Teilen der Erde wirbt. Aber der Reihe nach.

Die Aufgabe: Dem Dorf eine Chance geben

Die Geschichte beginnt mit dem Bayerischen Löwen: Holger Magel studiert Vermessungswesen an der TU München und wird 1975 Oberingenieur des neu gegründeten Lehrstuhls für Bodenordnung und Landentwicklung. Bayern in den 70er Jahren: Der ländliche Raum ist im Umbruch. Immer weniger Menschen verdienen ihr Geld mit Landwirtschaft, junge Leute ziehen in die Stadt, Dörfer veröden, die Bevölkerung überaltert. Dorferneu-

erung lautet das Zauberwort, das durch grundlegende Maßnahmen das bayerische Land wieder lebenswert machen soll. Das Bundesflurbereinigungsgesetz wird 1976 erstmals um das Aufgabenspektrum Dorferneuerung erweitert. Holger Magel ist vom Thema Dorferneuerung fasziniert, forscht und organisiert am Lehrstuhl erste Fortbildungskurse für die Praxis.

1978 wird er an die Oberste Flurbereinigungsbehörde im Bayerischen Landwirtschaftsministerium berufen. Dorferneuerung ist nach wie vor das Thema für den ländlichen Raum. Es braucht Strategien, wie sich Dörfer zukunftsträchtig entwickeln können. Doch um ein Konzept zu erarbeiten, benötigt man Geld und Personal – viele Gemeinden haben beides nicht. 1981 entscheidet der Bayerische Landtag auf Vorschlag des damaligen Landwirtschaftsministers Hans Eisenmann, die Dorferneuerung zu einem landespolitischen Schwerpunkt in der Agrarpolitik zu machen.

Nicht gleichartige, sondern gleichwertige Lebensbedingungen im Vergleich mit den Städten sollen erreicht werden, also gleiche Bildungschancen im ländlichen Raum, Arbeitsplätze vor Ort oder in zumutbarer Entfernung und eine medizinische Versorgung, die mit derjenigen in den Städten vergleichbar ist. In 14 000 bayerischen Dörfern mit weniger als 2 000 Einwohnern werden die Bürger nach ihren Lebensbedingungen befragt und am 20. Oktober 1983 auf Grundlage dieser Befragungen Dorferneuerungsrichtlinien herausgegeben. Holger Magel ist schnell klar, dass das Dorferneuerungsprogramm nur gelingen kann, wenn die Bürger eingebunden werden. Die Menschen werden deshalb aufgefordert, sich aktiv in die Planungsprozesse und die dazu erstmals in der Bayerischen Staatsverwaltung organisierten Workshops und Bürgerversammlungen einzubringen.

Die Dorferneuerung wird zum Erfolgsprogramm. Insgesamt werden innerhalb von 20 Jahren 1 400 Dorfer- ▶



Fotos: Gemeinde Weyarn

Dorferneuerung vorher und nachher: Im oberbayerischen Weyarn zeigt sich anschaulich, wie sich mit Hilfe von Planung und behutsamen Eingriffen in die Bausubstanz verödete Plätze und Wasserflächen beleben und für den Menschen zurückgewinnen lassen

Geodäsie

neuerungen abgeschlossen, über 770 000 Menschen in Bayern profitieren davon. Zum Beispiel Weyarn in Oberbayern: Infrastrukturdefizite, unregelmäßiger Siedlungsdruck aus dem nahen München mit entsprechenden Grundstücksspekulationen und steigender Durchgangsverkehr – dies sind nur einige der Probleme, die Anfang der 90er Jahre in Weyarn die Bürger belasteten. Durch das Dorferneuerungsprogramm, das mit starker Bürgerbeteiligung durchgeführt wird, kann der Ortskern wieder belebt werden. Ein Dorfladen sorgt heute für die Nahversorgung, das alte Kloster im Ort konnte wieder in Betrieb genommen werden und wird inzwischen als Provinzsitz des Deutschen Ordens genutzt. Die Hauptdurchgangsstraße wurde im Ortskern beruhigt. Der Gemeinderat entschied sich gegen zu große Gewerbegebiete außerhalb des Ortes und für ein Nebeneinander von Arbeiten und Wohnen im Ort – dies beugt so genannten Schlafstädten vor und belebt alte Betriebe und aufgelassenes Gewerbe mit neuem Leben. Vor allem wird heute durch ein Bodennutzungskonzept dafür gesorgt, dass Bauland auch für Einheimische bezahlbar bleibt. Weyarn wird auf der EXPO in Hannover als gelungenes Beispiel der Dorferneuerung präsentiert. Der Lohn der Arbeit: Zu seinem 60. Geburtstag wird Magel mit dem Großen Bayerischen Löwen für sein Engagement in der Dorferneuerung ausgezeichnet.

Von Bayern nach China: Dorferneuerung global

1978 verkündigt der neue chinesische Machthaber Deng Xiaoping: „Abkapselung hindert jedes Land an der Entwicklung“ und beginnt damit das Reich der Mitte dem Westen zu öffnen. Einer der ersten Politiker, die Kontakte nach China knüpfen, ist Franz Josef Strauß; 1987 wird die Partnerschaft zwischen Bayern und Shandong geschlossen. Nach seinem China-Besuch ruft der Ministerpräsident alle bayerischen Behörden auf, Vorschläge für gemeinsame Projekte zu machen. Die Bayerische Flurbereinigungsverwaltung unterbreitet den Vorschlag, in China ein Modellprojekt für Flurbereinigung und Dorferneuerung zu starten.

Nan Zhang Lou heißt das Dorf, welches für das von der Hanns-Seidel-Stiftung mitbetreute und -finanzierte Projekt ausgewählt wird. Ein – nach chinesischen Verhältnissen mit rund 4 000 Einwohnern – kleines Dorf 150 Kilometer nordöstlich der Provinzhauptstadt Jinan. Holger Magel übernimmt die Leitung des Projekts zusammen mit dem Architekten Dr. Peter Jahnke und dem Flurbereinigungsingenieur Josef Attenberger. Die Verhältnisse, welche die bayerische Delegation in Nan Zhang Lou vorfinden, sind karg. Es fehlen Kanalisation und ausgebaute Straßen. An eine Bauleitplanung, wie sie die Bayern von zu Hause kennen, ist



Dorfentwicklung auf einen Blick: Ein ganzheitlicher Dorfentwicklungsplan zeigt die klaren funktionalen Zuordnungen für das Zentrum des Dorfes, das Schul- und Ausbildungsviertel, die Handwerkerhöfe und die Verkehrswege



Fotos: Magel

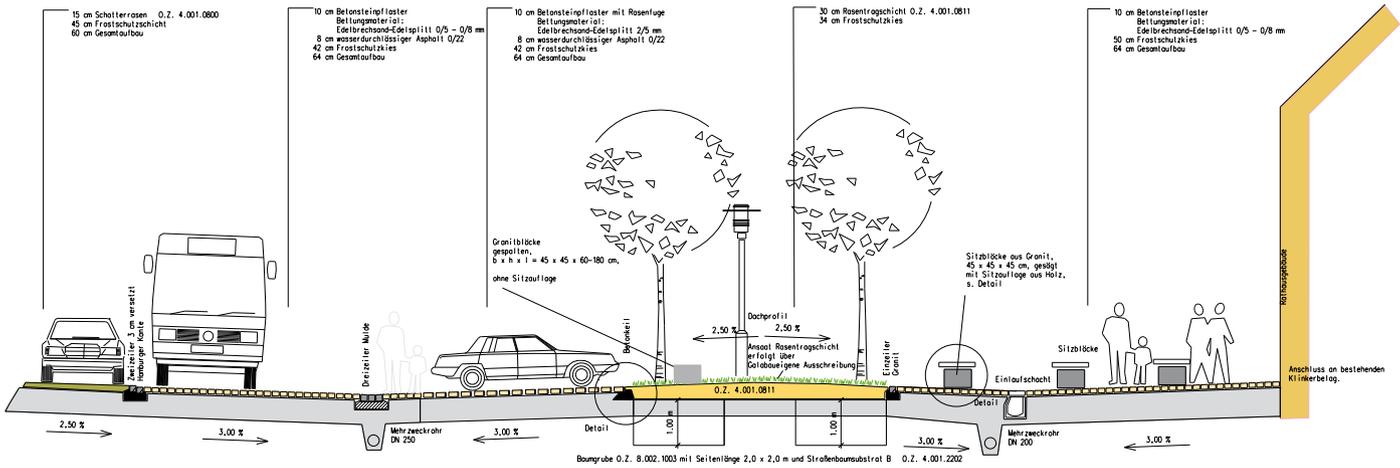
Impressionen einer Entwicklungsarbeit: Von den ersten Diskussionen über die Dorferneuerung mit den Bürgern des Dorfes Nan Zhang Lou bis zur feierlichen Eröffnung des chinesisch-deutschen Forschungs- und Bildungszentrums für Landentwicklung war es ein langer Weg

nicht zu denken. Um ein Dorferneuerungsprogramm durchführen zu können, müssen Grundstücke und Gebäude vermessen und eine Besitzstandskarte für das Gemeindegebiet erstellt werden. Ein weiteres Problem sind die knappen Wasserressourcen, hier müssen Lösungen gefunden werden. Holger Magel weiß aber, dass selbst im fernen China Dorferneuerung nur mit Bürgerbeteiligung zu schaffen ist – aber wie das Vertrauen gewinnen, wenn man der Landessprache nicht mächtig ist? Der Zufall spielt Holger Magel und seinen Kollegen in die Hände. Zum Mondfest, einem der wichtigsten Feste in China, werden die drei Bayern auf den Dorfplatz eingeladen. Chinesen lieben es zu singen, und so wird der Delegationsleiter Holger Magel gebeten, allein eine Zugabe vorzutragen. „Vor Schreck ist mir nur das Münchner Studentenlied eingefallen“, lacht er heute. Und so singt er vor 3 000 Zuhörern:

*„München, Stadt am Isarstrande,
Bayernlandes schönste Zier,
weltbekannt im ganzen Lande*

*wegen deinem guten Bier.
Wer die Weißwurst nie gegessen,
und das Hofbräuhaus nicht kennt,
im Englisch´ Garten nie gesessen,
der war in München nie Student.“*

So erobert die bayerische Delegation die Herzen der Bürger von Nan Zhang Lou im Sturm. Um nun weiter ins Gespräch zu kommen, setzen Magel und seine Kollegen sich auf's Fahrrad und radeln zu den Hofstellen im Ort sowie den umgebenden Feldern. Was so einfach klingt, ist in China bis in die 90er Jahre fast ein Affront. Als die Experten zum ersten Mal die Offiziellen des Dorfes um Räder bitten, um flexibel zu sein, reagieren diese äußerst ablehnend. Denn Radfahren ist mit dem Status der hohen Gäste nicht zu vereinbaren. Nach vielen Anfragen und ein paar Tricks gelingt es den Forschern dennoch, aufs Rad zu kommen – und mit ihren Besuchen bei den Familien und hier insbesondere den Frauen und Kindern schaffen die Dorferneuerer Verständnis für die Vorhaben. ▷



Pläne: Kurz und Jahnke

Wie in Bayern ... Ein Blick auf die Straßenraumplanung, wie sie sich in Weyarn nach der Dorferneuerung präsentiert: Fahrbahn, Parkplätze und Gehwege sind klar von einander getrennt

Ein Vorzeigedorf für China

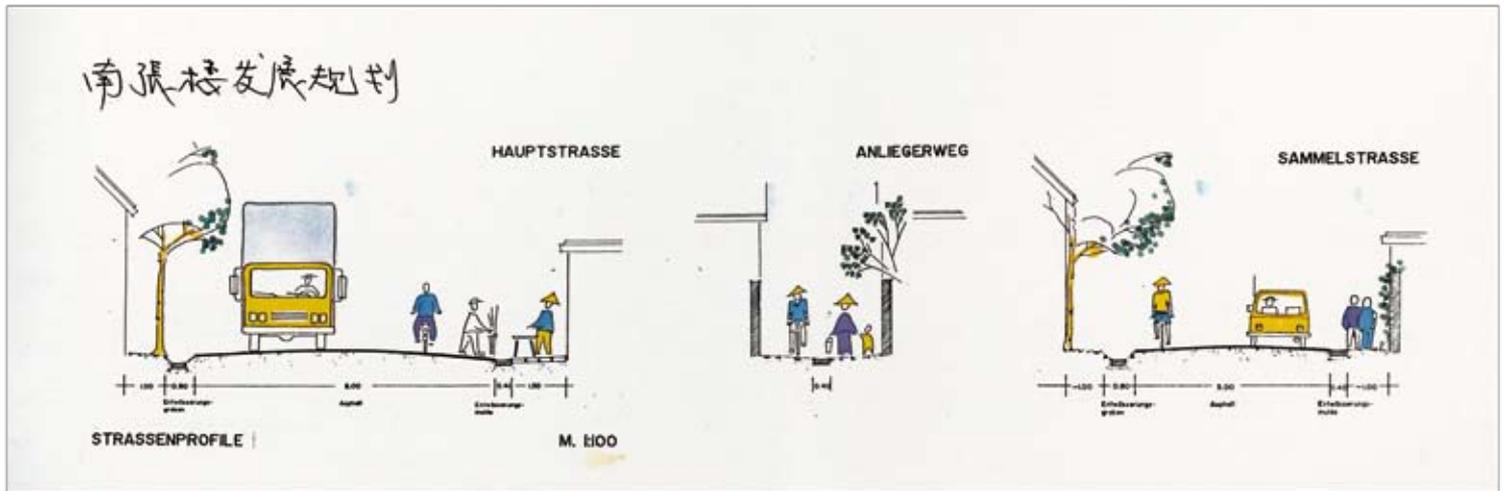
Diese sind gewaltig: Regenwasserrückhaltebecken werden gebaut, in der Dorfmitte entsteht ein Gemeindezentrum mit Kino, Teestube, Bücherei und Krankenstation. Eine Markthalle mit Gemeinschaftskühlung und ein Handwerkerhof werden eingerichtet. Und das besondere: Im Dorf entstehen neue Häuser nur nach strikter Maßgabe einer neu entwickelten „Bauordnung“, die die traditionelle Architektur in Höhe, Größe und Baustil zum Vorbild hat. Die Felder selbst werden nach den bewährten Methoden der deutschen Flurbereinigungspraxis unter Beteiligung aller Familien neugeordnet. Nan Zhang Lou ist inzwischen weit über die Grenzen der Provinz hinaus bekannt. 1 000 Delegationen haben das „runderneuerte“ Dorf bereits besucht – Edmund Stoiber und Alois Glück waren dort, aber vor allem haben es die Genossen der chinesischen Parteihochschule besucht. Es gilt als die Vorzeigegemeinde im Reich der Mitte und als ein Modell für die ländlichen Regionen in ganz China. Denn“, so erklärt Holger Magel, „die politische Führung hat erkannt, dass die Zukunftsprobleme des Landes, auch der chinesischen Städte, auf dem Land liegen, vor allem wegen der Rückständigkeit der Landwirtschaft, mangelnder Attraktivität der Dörfer und wachsender Armut.“

Diese Erkenntnis wächst wohl auch unter dem Druck der gesellschaftlichen Entwicklung in der Volksrepublik: Wachsende Landflucht und ein Heer an Wanderarbei-

tern haben auch den politisch Verantwortlichen verdeutlicht, dass eine adäquate Politik zur Entwicklung der ländlichen Räume notwendig ist. Dankbar sind vor allem die Menschen in Nan Zhang Lou. Wann immer Professor Magel in das Dorf zu Besuch kommt, ist er ein willkommener Gast und wird mit Geschenken überhäuft. Darunter auch die filigranen Kraniche, die heute bei ihm im Büro stehen.

Sieben Funktionen braucht der Mensch

Das gelungene Dorferneuerungsprogramm in Bayern und die Erfahrungen in China verbinden sich heute zu einer Symbiose in Magels Tätigkeit als Universitätsprofessor. 1998 folgt er dem Ruf der TUM als Ordinarius für Bodenordnung und Landentwicklung. Hier gilt es, die Erfahrung in Bayern und Shandong in ein wissenschaftliches Konzept zu gießen, das universal anwendbar ist. Gefunden hat es Magel in den sieben Daseinsgrundfunktionen, die die grundlegenden menschlichen Bedürfnisse und Ansprüche an den jeweiligen Lebensraum erfüllen sollen: Arbeiten, Wohnen, Bilden, Erholen, sich Versorgen, Verkehr und Kommunikation. All diese Funktionen stehen miteinander im Zusammenhang, ihre Erfüllung ist je nach den Ansprüchen der jeweiligen Individuen und des regionalen Kontextes verschieden. Das bedeutet, dass diese Daseinsgrundfunktionen in Bayern genauso gelten wie in China oder in anderen Teilen der Welt. „Natürlich sehen Dörfer in allen Teilen



... so in China: Durch ihre Beratungs- und Planungsarbeit ermöglichen die Wissenschaftler um Professor Magel den Bürgern im chinesischen Dorf Nan Zhang Lou zum ersten Mal, sich auf einem wirklich sicheren Bürgersteig bewegen zu können

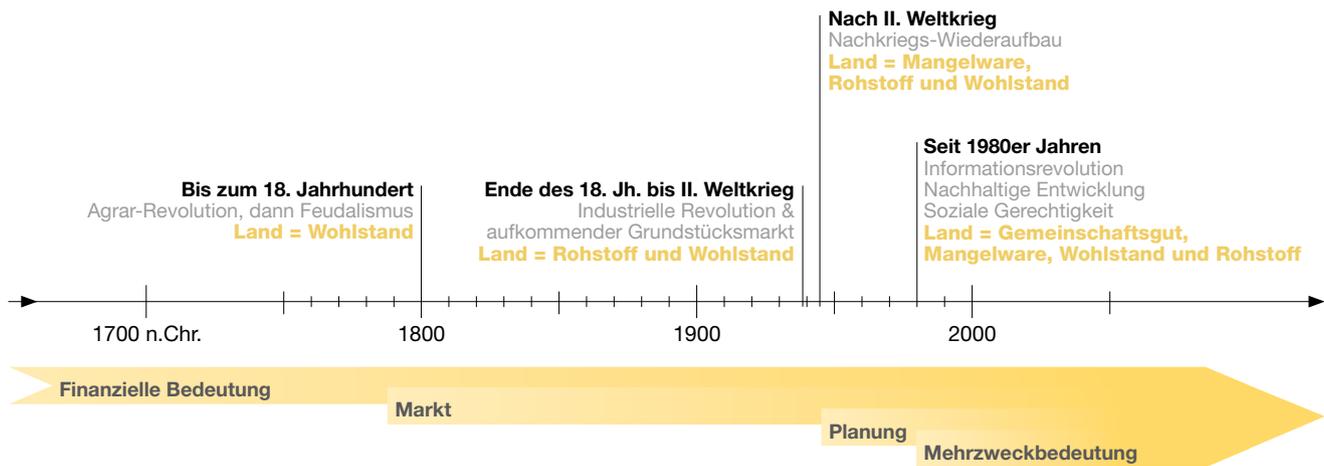
der Welt anders aus“, erläutert Magel, „aber die Theorie, dass Menschen auf einem Raum zusammenleben und menschliche Bedürfnisse haben, ist überall die gleiche.“ Für den Wissenschaftler ist es spannend, die Daseinsgrundfunktionen mit den Lebensvorstellungen einzelner Völker oder den Verwaltungen verschiedener Länder in Einklang zu bringen. „Wir müssen entscheiden, ob wir die Instrumente einsetzen können oder sie weiterentwickeln müssen.“ Neben dem Wissenschaftler ist der Diplomat gleichermaßen gefragt: Grund und Boden müssen vermessen und kartiert, Besitz- und Rechtsverhältnisse analysiert und geregelt, aber auch Politiker, Verwaltungen, Wirtschaft und die Bürger überzeugt werden.

Gerade in den Entwicklungsländern haben Hunger und Armut in den Augen des Landentwicklungsexperten Magel viel mit gerechter Landverteilung zu tun. Denn Land ist mehr als ein Produktionsfaktor oder ein Wirtschaftsgut: Land steht auch für Werte wie Heimat, Überlebensgrundlage und für individuelle Freiheit. Gleichzeitig ist Land ein von Regierungen besteuertes und von Interessengruppen begehrtes Objekt; es ist Instrument der Macht und der Abhängigkeit und oft eine Wurzel von Konflikten. Um für eine gerechtere Verteilung des begehrten Guts „Land“ zu sorgen, berät Holger Magel Regierungen und Entwicklungshilfeorganisationen weltweit. Außerdem bildet er Studenten im internationalen Landmanagement aus. Die kommen nahezu aus der

ganzen Welt, vorrangig aus Entwicklungsländern, denn seinen Masterstudiengang „Landmanagement and Land Tenure“ hat er gemeinsam mit der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für die Bedürfnisse von Entwicklungs- und Schwellenländern konzipiert.

Ein Vermessungsingenieur hat heute andere Aufgaben als einst, findet er. „Eine alte Disziplin in stark verändertem Umfeld“ titelt die Neue Züricher Zeitung einen Artikel über einen Vortrag von ihm in der Schweiz. „Weniger rein fachspezifisches Spezialistentum, sondern viel mehr aktuelle politische Fragen müssen die Geodäten heute einbeziehen“, so Magel. Er beschwört deshalb sein Ziel der universitären Ausbildung: Es geht ihm um die Ausbildung hin zum „sattelfest spezialisierten Generalisten“. Zu den heutigen Aufgaben eines Geodäten gehören Standortsicherung und -verbesserung, Erhaltung der Infrastruktur, Umweltbeobachtung, Heimerhaltung, Rechts- und Eigentumsregelung und -sicherheit, Konfliktlösungsmechanismen, Aufbau offener und verlässlicher Märkte, Ressourcen- und Risikomanagement und neue Steuerungsmodelle zugunsten einer nachhaltigen Kommunalentwicklung. Seine Masterstudenten haben deshalb auch Kurse in Recht, Land economics, Konfliktlösung und Projektmanagement.

Fast liebevoll blättert Magel im Jahrbuch seiner Absolventen. Eine Studentin aus der Mongolei hat über ▶



So veränderte sich die Meinung über Landeigentum im Lauf der Geschichte: Ging es früher nur um ökonomische Aspekte, so ist es heute vor allem ein ökologisches und gesellschaftliches Anliegen

Bürgerbeteiligung in der urbanen Landnutzung am Fall von Ulaanbaatar ihre Masterarbeit geschrieben, eine Studentin aus Afrika über Konfliktlösungsstrategien bei Landkonflikten in Ghana. „Die Landfrage ist die zentrale Frage des 21. Jahrhunderts“, prophezeit Magel und ist unermüdlich für eine gerechte Landverteilung im Einsatz. Zum Beispiel berät er in Kambodscha, wie Rechtssicherheit und ein ausgewogener Zugang zu Land gewährleistet werden können. Das ist nicht so einfach in einem Land, in dem einst die Roten Khmer jegliche Besitzurkunden und Vermessungsunterlagen vernichtet haben.

Vor allem China liegt Professor Magel am Herzen. Im Herbst dieses Jahres fliegt er nach Peking, um eine Vorlesung an der renommierten Renmin-Universität zu halten und über die Vertiefung der bestehenden Kooperation zu sprechen. Immerhin kommt im Herbst der erste Humboldtstipendiat von dieser Universität zum Lehrstuhl nach München.

Wie lange wirkt die Arbeit der Wissenschaft?

Natürlich kehrt er auch nach Nan Zhang Lou zurück. Hier will der Wissenschaftler Magel evaluieren, wie sich das Projekt Dorferneuerung ohne fachliche Betreuung weiterentwickelt hat. Dahinter steckt die Theorie, die auch am Lehrstuhl wissenschaftlich hinterfragt wird, dass solche Projekte nach der Betreuung durch Experten auf eigenen Füßen stehen müssen. „Hier brauchen wir Daten, wie lange eine solche Betreuung andauern muss, damit die sogenannte endogene Entwicklung auch ohne Be-

gleitung von Experten und staatliche Hilfe funktioniert.“ Trotz weltweitem Einsatz: Magels Aufmerksamkeit gilt nach wie vor auch dem bayerischen Land: „Heute erleben Dörfer eine dramatische Veränderung“, so Professor Magel. In Bayern leben 60 Prozent der Bevölkerung auf dem Land, auch viele Städter zieht es in den intakten und überschaubaren Lebensraum in einem ländlichen Umfeld. In den vergangenen 20 Jahren ist die Bevölkerung auf dem Land teilweise doppelt so stark gestiegen wie in den Ballungsräumen.

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft und der Zuzug neuer Bürger vor allem im Einzugsbereich großer Städte verändern mancherorts die Dorfgemeinschaft wie z.B. in Weyarn: Alteingesessene fürchten, dass ihr Ort seine Identität verliert und die Fremden das Leben in der Gemeinde dominieren. Hinzu kommen Ortskern- und zum Teil Baugebietsverordnungen, Umnutzungsprobleme, der Zusammenbruch der Nahversorgung, vor allem auch in abseits gelegenen Dörfern, die im Gegensatz zu den ballungsraumnahen Dörfern unter Abwanderung und Bevölkerungsverlust leiden – all das sind Themen, mit denen sich Professor Magel als Wissenschaftler auseinandersetzt. Und so erhielt sein Lehrstuhl erst unlängst einen Forschungsauftrag von der Bayerischen Verwaltung für ländliche Entwicklung zum Thema Dorferneuerung in Bayern 2015. Er scheint jetzt schon sicher, dass auch aus diesem Forschungsvorhaben seine Studenten aus aller Welt wichtige Erkenntnisse für ihre Heimatländer ziehen können.

Christiane Haupt

Die Technik aus dem Kuhmagen

Wissenschaftler der Technischen Universität München verwandeln industrielle Reststoffe in wertvolles Biogas – und gewinnen damit einen Umweltpreis

Umweltschutz kann sich auch wirtschaftlich bezahlt machen: Ein Team von Wissenschaftlern der TUM hat ein Verfahren entwickelt, mit dem sie Reststoffe der Getränke- und Lebensmittelindustrie umweltschonend und wirtschaftlich attraktiv in Energie umwandeln können. Dafür wurden sie mit dem mit 50.000 Euro dotierten E.ON Umweltpreis ausgezeichnet.

Der Ansatzpunkt der Forscher: Saubere Bioenergie aus Brauereirückständen, Mälzerei- und Mühlenabfällen zu erzeugen. Auf diese Weise kann die Industrie ihre biogenen Reststoffe wie Körnerspelzen, Biertreber und Malzreste in Zukunft gewinnbringend verwerten, anstatt sie wie bisher als eher unbeliebtes Rinderfutter zu entsorgen. Gleichzeitig profitiert die Umwelt: Denn mit dem neuen Verfahren kann Bioenergie erzeugt werden, ohne dass dafür Energiepflanzen angebaut werden, die Feldfläche für Nahrungsmittel in Anspruch nehmen.

Energie ohne Flächenverbrauch

Die TUM-Forscher haben zunächst auf ein bewährtes Verfahren zur Biogasherstellung zurückgegriffen. Dabei werden extra angebaute Pflanzen in einem Gärbehälter durch Mikroorganismen in Fäulnisgase umgewandelt. Wenn man in bisherige Anlagen Biertreber, Malzreste und Körnerspelzen einfüllt, können die Bakterien diese Rohstoffe nicht – oder nur viel zu langsam – verarbeiten. Die Wissenschaftler gingen dieses Problem auf zwei Wegen an: Der Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie ent-



Der als Rohstoff benutzte Biertreber in drei Stadien:

unzerkleinert, vorzerkleinert und auf unter 10 µm feinst-zerkleinert

wickelte ganz gezielt einen Mix an Mikroorganismen, der biogene Reststoffe aus Brauerei und Mühle besonders gut „verdaut“.

Die Mechanik der Kuh spielt mit

Die Kollegen vom Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde schauten sich in der Zwischenzeit die verarbeitende Mechanik beim Pflanzenfresser Rind ab. „Die Kuh kaut ihr Futter vor dem Verdauen und kaut dann noch einmal wieder,“ erläutert Dr. Jens Voigt, einer der Projektleiter. „Also dachten wir: Auch wir müssen das verwendete Substrat zerkleinern und in mehreren Stufen arbeiten, damit der Gärprozess intensiver wird.“ Die Verfahrenstechniker haben die industriellen Reststoffe in Spezialmühlen auf eine Größe von 10 µm zermahlen, ein einzelnes Körnchen ist damit nur noch ein hundertstel Millimeter groß. Durch diese Aufbereitung beschleunigt sich – im Zusammenspiel mit den Straubinger Spezialbakterien – der gesamte Gärprozess.

Das Ergebnis dieser standortübergreifenden Zusammenarbeit an der TUM: eine deutlich schnellere Erzeugung von Biogas als bisher – und dabei gleichzeitig eine verbesserte Methanausbeute. Das erzeugte Biogas kann als Brennstoff direkt im Kessel oder in einem Blockheizkraftwerk eingesetzt werden. Mit den Überbleibseln der vergorenen Reststoffe kann man sogar noch die Felder düngen. Diese elegante Methode zur Verwertung biogener industrieller Reststoffe funktioniert bisher allerdings

nur in der Pilotanlage, die 100 Liter fasst. Bevor das Verfahren in Serie geht, wollen die Forscher noch den Wirkungsgrad verbessern und die Technik im Großmaßstab testen. Die Industrie hat jedenfalls bereits starkes Interesse signalisiert – und wartet auf den ersten großen Prototypen. □

Links

<http://www.wzw.tum.de/blm/mak/mak/voigt.html>
<http://www.rohstofftechnologie.de>

Link

www.weihenstephan.de/blm/lmvt/index.html

Eine Mikrokapsel ist mit rund 20 000 probiotischen Keimen gefüllt, die erst im Darm die schützende Hülle verlassen

Foto: TUM

Die Hülle für gesunde Keime

Probiotisch soll es sein, damit's gesund ist: Viele Lebensmittel enthalten lebende Bakterien. Der Haken: Oft werden sie durch Säuren schon beim Transport bis in den Darm zerstört. TUM-Forscher entwickeln eine Hülle, die die Keime schützt

Bisher werden die probiotischen, also helfenden Keime gefroren oder getrocknet, bevor sie einem Joghurt als Pulver in hochkonzentrierter Form zugegeben werden. Doch noch vor Ablauf des Haltbarkeitsdatums ist die Zahl aktiver probiotischer Keime in den Bechern und Fläschchen oft stark reduziert. Die Lösung des Problems: das Einpacken der Keime in eine schützende Hülle. So genannte Mikrokapseln machen eine räumlich und zeitlich gesteuerte Freisetzung der verpackten Stoffe möglich („controlled release“).

Bei Medikamenten und Pflanzenschutzmitteln hat die Verkapselung bereits Tradition. Am Einsatz im Lebensmittelbereich wird intensiv geforscht. Denn Mikrokapseln für den menschlichen Verzehr müssen besonderen Ansprüchen genügen: Sie sollen geschmacksneutral und für den täglichen Genuss geeignet sein. Außerdem müssen sie glatt und so klein sein, dass sie von der Zunge „unentdeckt“ bleiben.

Prof. Ulrich Kulozik und sein Mitarbeiter Dipl.-Ing. Thomas Heidebach von der Abteilung Technologie des Zentralinstituts für Ernährungs- und Lebensmittelforschung

(ZIEL) am Wissenschaftszentrum Weihenstephan haben solche lebensmitteltauglichen Mikrokapseln entwickelt. In einem groß angelegten, aus öffentlichen Mitteln geförderten Forschungsprojekt haben sie nicht nur ein passendes Hüllmaterial gefunden, sondern gleich auch das geeignete Herstellungsverfahren: Die Forscher setzen Enzyme als natürliche Biokatalysatoren ein, um probiotische Keime in das Hüllmaterial einzupacken und so vor Verfall und Magensäure zu schützen.

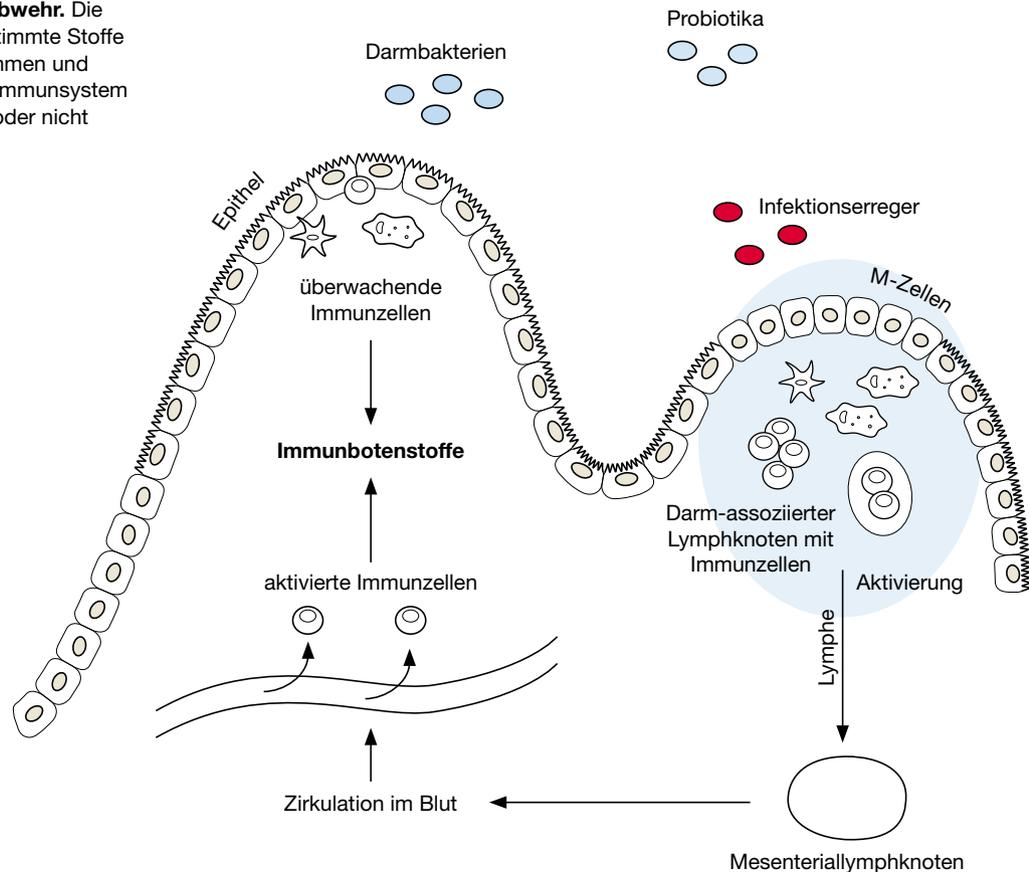
Casein verpackt die Bakterien

Als Material verwenden die Lebensmittelforscher das Milchprotein Casein, da es sich gut mit anderen Stoffen mischt und auch geschmacklich für den Einsatz in Milchprodukten geeignet ist.

Außerdem gibt es bei diesem Naturstoff keine Probleme mit der Verbraucherakzeptanz beim Einsatz in Joghurt und Molkegetränken. Um das Casein in brauchbare Mikrokapseln zu verwandeln, nutzen die Forscher die Lebensmittelchemie: Zuerst mischen sie die probiotischen Keime mit dem Milcheiweiß, das als Hüllstoff die- ▶

Probiotika und ihre Wirkung auf das Immunsystem

Der Darm spielt eine wichtige Rolle in der Immunabwehr. Die M-Zellen können bestimmte Stoffe aus dem Darm aufnehmen und entscheiden, ob das Immunsystem mit Abwehr reagiert oder nicht



Probiotika sind lebende Mikroorganismen, die in aktiver Form in den Darm gelangen und dadurch positive gesundheitliche Wirkungen erzielen. Sie werden unterschiedlichen Lebensmitteln zugesetzt, z. B. Milchprodukten, Müsli und Wurstwaren.

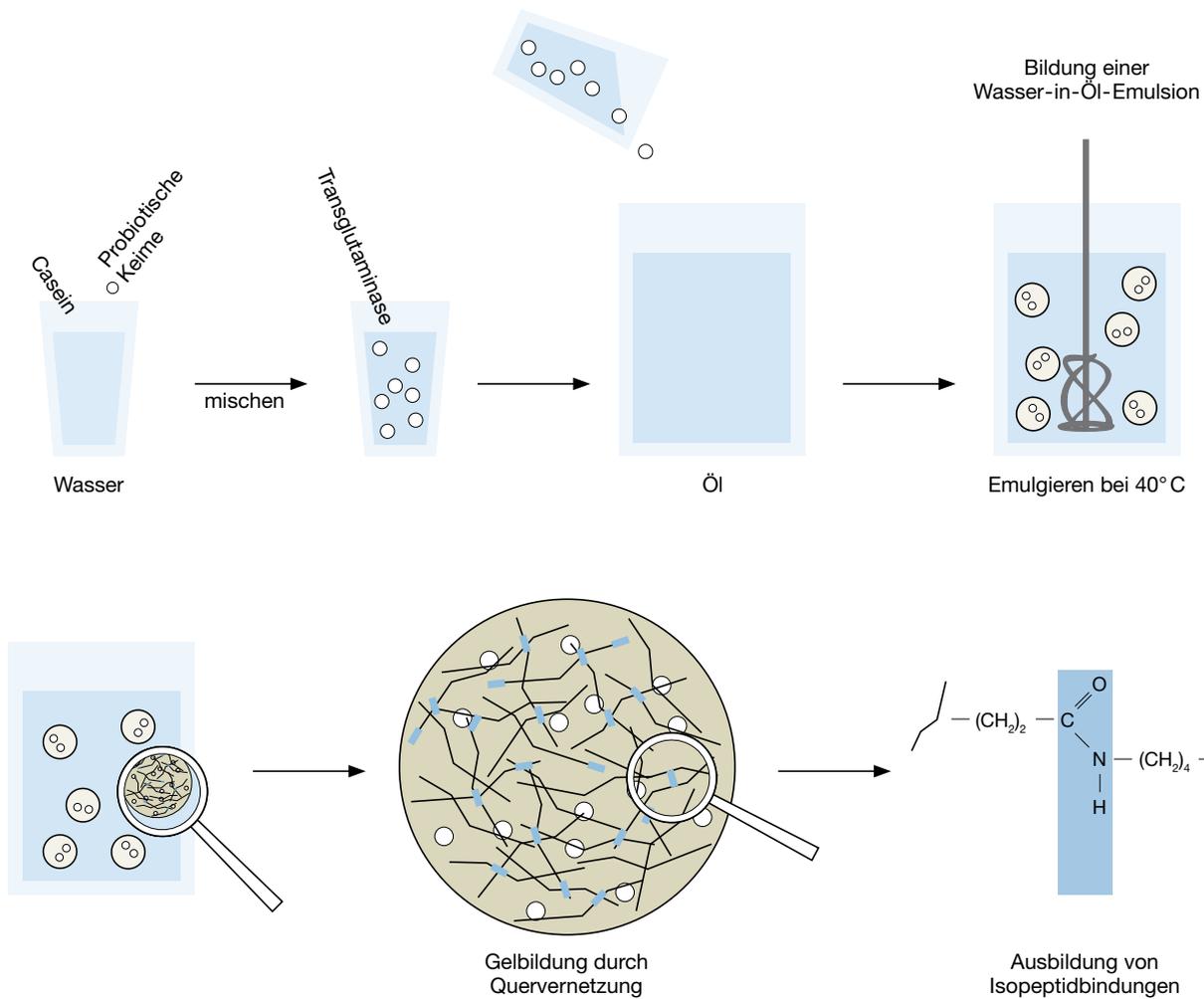
In der Werbung wird probiotischen Lebensmitteln eine ganze Reihe von gesundheitsfördernden Eigenschaften zugeschrieben. Unter anderem wird diskutiert, ob sie die natürliche Bakterienzusammensetzung des Darms wieder ins Gleichgewicht bringen, Durchfallerkrankungen verhindern, sich positiv auf das Immunsystem auswirken und Dickdarmkrebs vorbeugen. Diese positiven Eigenschaften, mit denen Probiotika in Zusammenhang gebracht werden, sind größtenteils bislang allerdings wissenschaftlich nicht schlüssig belegt.

Die vorbeugende und therapeutische Wirksamkeit spezifischer Mikroorganismen konnte bisher für Infektions- und Durchfallerkrankungen, bei Patienten mit chronisch entzündlichen Darmerkrankungen (CED), Reizdarmsymptomatik und Allergien nachgewiesen werden. Auch mögliche positive Effekte auf den Fettstoffwechsel und die Laktoseverwertung sind beschrieben.

Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Biofunktionalität der Lebensmittel der TU München befassen sich aber nicht nur mit der Frage, ob Probiotika wirken, sondern vor allem, wie sie in den Stoffwechsel und die Immunabwehr eingreifen. Prof. Dr. Dirk Haller interessiert sich insbesondere für die Wechselwirkung der Mikro-

organismen mit der Darmwand. Die Epithelzellen (Enterozyten), die die gesamte Darmwand überziehen, bilden nicht nur eine Barriere zwischen Darmbakterien und dem Körperinneren. Sie sind auch ein integraler Bestandteil der Immunantwort im Darm. Spezialisierte Immunzellen (M-Zellen), die in der Epithelschicht liegen, können bestimmte Stoffe aufnehmen und prozessieren. Dann geben sie den Ausschlag, das Immunsystem zu aktivieren oder eben nicht. Bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen (CED) mit Morbus Crohn und Colitis ulcerosa als den beiden wichtigsten Verlaufsformen geht dem Immunsystem des Darms die Fähigkeit verloren, zwischen harmlosen Bakterien und gefährlichen Infektionserregern zu unterscheiden. Das Immunsystem reagiert fälschlich auf „normale“ Darmbakterien mit Abwehr. Es kommt zu chronisch immunvermittelten Entzündungsprozessen in der Darmschleimhaut.

Hier setzen die Forschungsarbeiten der Weihenstephaner Ernährungsmediziner an. Untersuchungen haben nämlich gezeigt, dass die Einnahme bestimmter Probiotika in akuten und chronischen Entzündungsprozessen helfen kann, die Darmbarriere aufrechtzuerhalten und die Toleranz gegenüber der eigenen, harmlosen Darmflora zu stützen. Prof. Haller untersucht nun die molekularen Wirkmechanismen an den unterschiedlichen Zellen in der Darmwand. Sein Ziel ist, die offene Frage zu klären, wie und warum Probiotika ihre positive Wirkung entfalten. Dies würde die gezielte Selektion probiotischer Mikroorganismen erlauben.



Grafik: edlundsepp nach TUM

Um Mikrocapseln herzustellen, nutzen die Forscher die Lebensmittelchemie: Zuerst mischen sie die probiotischen Keime mit dem Milcheiweiß Casein, das als Hüllstoff dienen soll. Nach Zugabe des Enzyms Transglutaminase und der Herstellung einer Wasser-in-Öl-Emulsion bildet sich ein Casein-Gel, in dem die gesunden Bakterien von einem dichten Netz umschlossen sind

nen soll. Nach Zugabe des Enzyms Transglutaminase und der Herstellung einer Wasser-in-Öl-Emulsion bildet sich ein Casein-Gel, in dem die gesunden Bakterien von einem dichten Netz umschlossen sind.

Fünf Milliarden Keime in einem Gramm

Die durchschnittlich 150 Mikrometer kleinen Kügelchen werden anschließend durch Schleudern abgetrennt und gewaschen. Ein Gramm Mikrocapseln enthält dann rund fünf Milliarden lebende Keime. Sowohl die Lagerung für die Dauer der Haltbarkeit des Joghurts als auch die Magensäure kann diesen gefüllten Proteinkapseln nichts anhaben.

Erst die im Dünndarm vorhandenen Enzyme spalten die Kapseln – und lassen die Keime dort frei, wo sie sich nützlich machen sollen. Das neue Verfahren wird nun in Kooperation mit der Lebensmittelindustrie zur

Marktreife weiterentwickelt und bald eine wichtige Rolle spielen. Denn die wirtschaftliche Bedeutung der Mikroverkapselung im Lebensmittelbereich ist in den letzten Jahren stetig gestiegen: Der Umsatz mit probiotischen Milchfrischerzeugnissen hat sich in Deutschland von 1996 bis 2004 auf 485 Millionen Euro versechsfacht. In Zukunft werden nicht nur Milchprodukte, sondern auch Cerealien, Wurstwaren, Fertiggerichte und Nahrungsergänzungsmittel mit probiotischen Keimen angereichert werden. Dafür werden neuartige Mikroverkapselungssysteme benötigt.

Ihre Entwicklungen stellen die Forscher der TUM übrigens allen Unternehmen uneingeschränkt zur Verfügung. Damit leisten die Weihenstephaner Wissenschaftler einen wichtigen Beitrag zur Förderung auch kleiner und mittlerer Unternehmen, die meist keine eigenen Forschungsabteilungen unterhalten können. □



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

Chefredakteur: Prof. Dr. Christoph Fasel, fasel! Kommunikation, Tübingen

Chef vom Dienst: Tina Heun, Presse & Kommunikation Technische Universität München

Schlussredaktion: Marianne Waas-Frey

Art Direction:

Alexandra Bankel, Florian Hugger, Susanne Schmid ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Infografik: Nina Hürlimann

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Autoren dieser Ausgabe: Dr. Christiane Haupt, Sibylle Kettembeil, Reiner Korbmann, Gudrun Kosche, Thorsten Naeser, Lena Reseck, Dr. Brigitte Röthlein, Tim Schröder, Dr. Karsten Werth

Redaktionsanschrift: Presse & Kommunikation Technische Universität München, 80290 München, E-Mail: faszination-forschung@zv.tum.de

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

Auflage: 30.000; **ISSN:** 1865-3022

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Prof. Dr. Christoph Fasel

Verantwortlich für die Anzeigen: Tina Heun

Titelbild: Steffen Glaser, TUM

© 2008 für alle Beiträge Technische Universität München, Presse & Kommunikation, 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

Dr. Christiane Haupt ist seit 2008 PR-Referentin an der Technischen Universität München. Nach einem Zeitungsvolontariat studierte sie an der Ludwig-Maximilians-Universität München und an der Xiamen University China Sinologie und Religionswissenschaft und wurde mit einer Arbeit über Konfuzius promoviert.

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

Reiner Korbmann ist seit 35 Jahren Wissenschaftsjournalist. Seit 2001 betreibt er das Büro für Wissenschafts- und Technikkommunikation Science&Media in München. Zuvor war er elf Jahre Chefredakteur von bild der wissenschaft, sechs Jahre Chefredakteur des Computermagazins Chip, drei Jahre Chefredakteur des Magazins Umschau in Wissenschaft und Technik, sowie Wissenschaftsredakteur beim Stern und bei der Deutschen Presse-Agentur (dpa). Vor seiner journalistischen Ausbildung an der Deutschen Journalistenschule in München studierte er Physik an der Universität München.

Gudrun Kosche ist Wirtschafts- und Wissenschaftsjournalistin (Financial Times Deutschland, Handelsblatt, Fach- und Magazinpresse). Sie ist als Texterin, Übersetzerin und Moderatorin tätig. Davon konzipierte und leitete sie das „Venture Capital Magazin“ als Chefredakteurin, betreute die Finanz-Themen bei „WirtschaftsWoche e-Business“ und hatte die fachliche Leitung des Ressorts „Management“ bei Markt & Technik – Die Wochenzeitung für Elektronik und Informationstechnik inne. Die DAAD-Stipendiatin studierte Romanistik an der Ludwig-Maximilians-Universität München, in Rennes/Frankreich und Salamanca/Spanien.

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

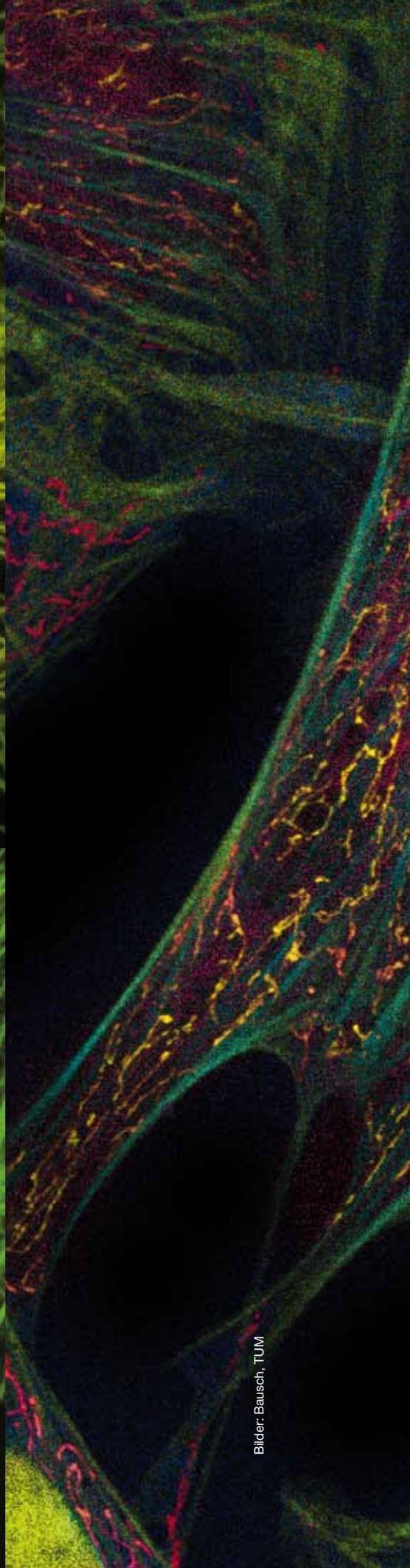
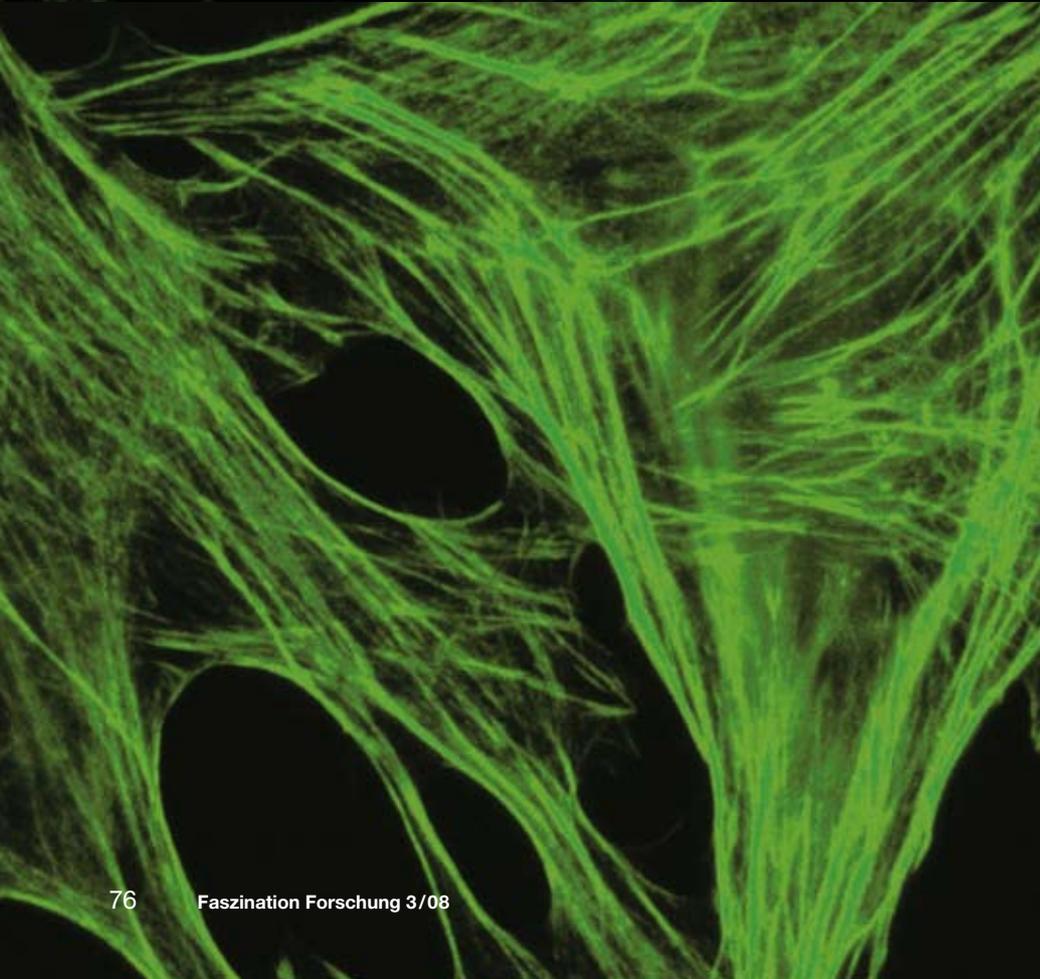
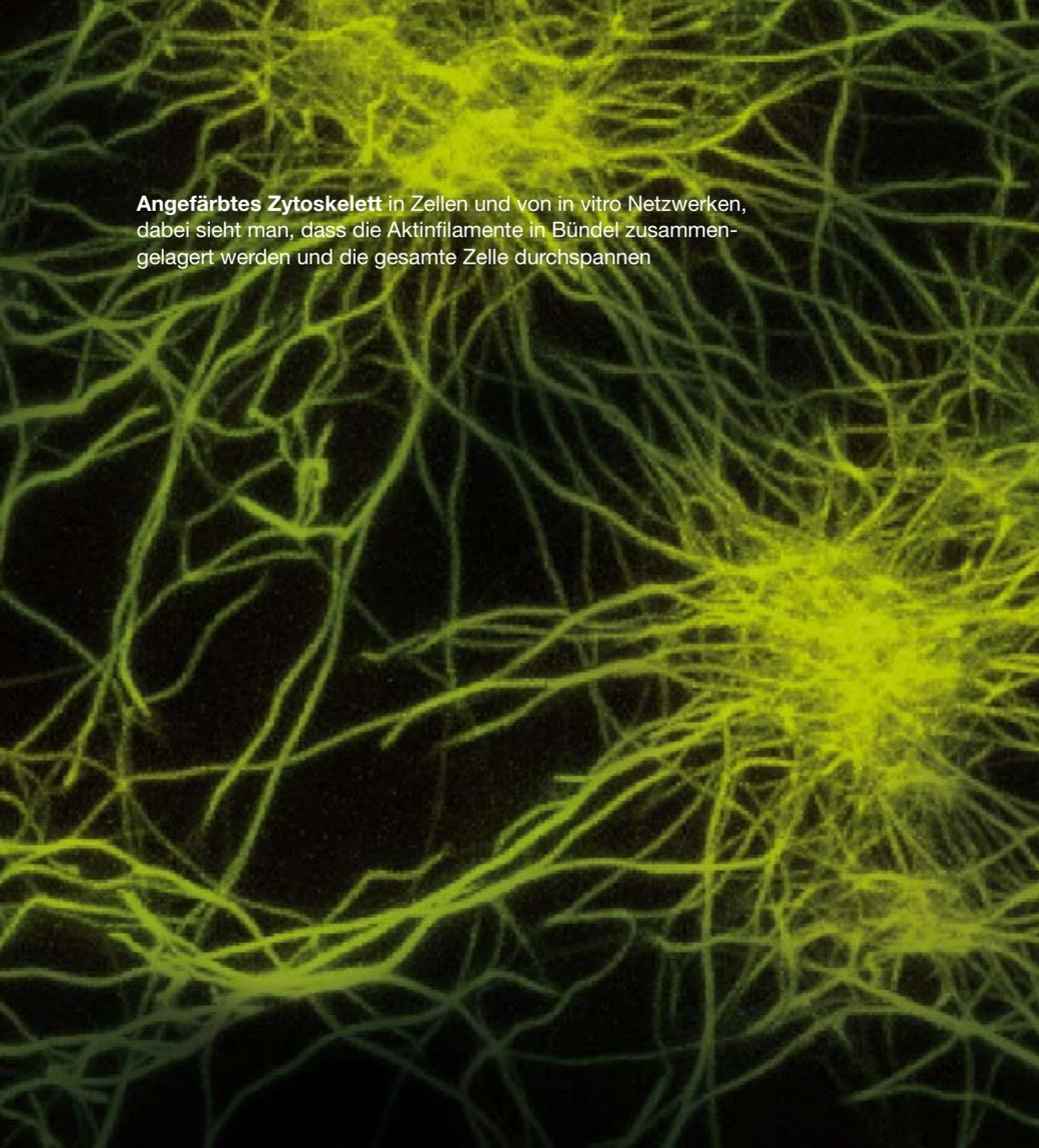
Lena Reseck, geboren 1976 in Freital (Sachsen). Studium der Journalistik und Kulturwissenschaften in Leipzig und Aix-en-Provence (Frankreich). Freie Mitarbeit für die Sächsische Zeitung in Dresden und den Südkurier in Friedrichshafen. Volontariat bei der Hessisch-Niedersächsischen Allgemeinen in Kassel. Redakteurin bei der Hessisch-Niedersächsischen Allgemeinen und der Schwäbischen Zeitung in Ehingen. Seit 2006 Redakteurin bei der Neuen Post in Hamburg.

Dr. Brigitte Röthlein arbeitet seit 1973 als Wissenschaftsautorin bei verschiedenen Zeitschriften, bei Fernsehen, Rundfunk und für Zeitungen. Sie ist Diplomphysikerin und promovierte in Kommunikationswissenschaft, Pädagogik und Geschichte der Naturwissenschaften. Von 1993 bis 1996 leitete sie neben ihrer freien publizistischen Tätigkeit das Geschichtsmagazin „Damals“, 2004/5 das Forschungs- und Technologiema-gazin „Innovate“. Sie veröffentlichte Sachbücher unter anderem über Hirnforschung, Atomphysik und Quantenphysik. Im Juli 2008 erschien ihr neuestes Buch „Der Mond“.

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

Dr. Karsten Werth studierte Zeitgeschichte und Amerikanistik in Tübingen und Newcastle, promovierte in Zeitgeschichte. Er sammelte Erfahrung in Wirtschaft und Journalismus, unter anderem bei JBI Localization in Los Angeles, VW Canada in Toronto, Deutsche Welle-TV in Berlin, Deutsche Fernseh-nachrichten Agentur in Düsseldorf und als freier Mitarbeiter beim Schwäbischen Tagblatt in Tübingen.

Angefärbtes Zytoskelett in Zellen und von in vitro Netzwerken, dabei sieht man, dass die Aktinfilamente in Bündel zusammengelagert werden und die gesamte Zelle durchspannen



Bilder: Bausch, TUM

Link

www.E27.Physik.TU-Muenchen.de

Zellen in Bewegung

Auch Zellen haben ein Skelett. Ein Geflecht aus Proteinen verleiht ihnen Gestalt und Beweglichkeit. Doch die Dynamik dieses Gerüsts macht seine Erforschung schwierig. Biophysiker der TUM sind den unbekanntem Mechanismen auf der Spur

Drei, vier Mausclicks, und auf dem Monitor startet der Schwarz-weiß-Film. Vor dunklem Hintergrund wandern ein paar bleiche Flecken recht flott durchs Bild. Es sind Schleimpilze auf dem Weg zu einer Futterquelle. Die amöbenartigen Gesellen haben weder Knochen noch Muskeln, bewegen sich aber dennoch behände dahin. Das Geheimnis ihrer Mobilität: ein überaus flexibles Zellskelett, das sich unentwegt verändert.

Prof. Andreas Bausch klickt den Film wieder weg. Der 37-Jährige leitet im Physik-Department der TU München den Lehrstuhl für Biophysik und will mit seinem Team die physikalischen Grundlagen des Zellskeletts und dessen Dynamik aufklären.

Klebstoff für das Skelett der Zellen

Dieses Skelett ist ein Netzwerk aus verschiedenen steifen Proteinfasern, das die Zellen aller höheren Organismen wie ein Geflecht durchzieht. Wie steif und fest die einzelnen Fasern sind, hängt von ihrer Länge ab – je länger, desto weicher. Ein Klebstoff verbindet die Fasern in rasender Geschwindigkeit miteinander und löst sie sogleich wieder, verbindet und löst, verbindet und löst – der Wissenschaftler spricht davon, dass „die lokalen strukturellen und mechanischen Eigenschaften des Zellskeletts sehr schnell verändert werden“. Ergebnis ist ein äußerst bewegliches Gerüst, eine Art multifunktionaler, hoch dynamischer Proteinmuskel, von dem sich winzige Ärmchen ausstülpfen, rückbilden, erneut vorschieben, wieder verschwinden. Es entsteht eine fließende Bewegung, die zum Beispiel die Schleimpilze zu ihrer Mahlzeit befördert. Auch in unserem Körper läuft sie beinahe überall und ständig ab; die Mobilität unserer Zellen ermöglicht etwa die Wundheilung und die Bekämpfung von Infektionen, führt aber auch bei Krebsgeschwüren zu Metastasierungen.

Prominenter Protagonist in dem dynamischen Geschehen ist das Protein Aktin, das in vielen Zellen den Großteil der Gerüstelemente stellt. Seine stäbchenförmigen Filamente bestehen aus kugeligen Untereinheiten, die zu einem helixartig in sich gewundenen Polymerstrang aufgereiht sind. Sie werden mehrere Mikrometer lang und können damit sogar eine Zelle vollständig durchmessen. Solche Aktinfasern werden gitterartig miteinander verknüpft oder aber zu Bündeln zusammengefasst.

Das übernehmen Helferproteine, die wie Klebstoff wirken. Andere Helferproteine haben gerade die gegenteilige Aufgabe, verhindern das Verkleben. Wieder andere sorgen dafür, dass Verbindungen gelöst werden. „Insgesamt dürften rund 200 Helferproteine am ständigen Auf- und Abbau des Zellskeletts beteiligt sein. Bei vielen davon ist die Funktion noch gar nicht aufgeklärt“, schätzt Andreas Bausch. In perfekt abgestimmter konzentrierter Aktion sorgen die Moleküle dafür, dass zum richtigen Zeitpunkt die richtigen Fasern in der richtigen Anzahl gebündelt, die Bündel rasch wieder aufgelöst und immer wieder neu formiert werden.

Wie man sich den Aufbau der Aktinbündel vorzustellen hat, demonstriert Bausch an einem selbst gebastelten Modell aus Papierrollen – das sind die Filamente und Zahnstochern – sie geben den Kleber. Je 20 Aktinfäden sind zu einem hexagonalen Gitter miteinander verklebt. Um das Ganze überhaupt zu ermöglichen, wendet die Natur einen genialen Trick an: Bei helixartig verdrillten Fasern erfordert die hexagonale Anordnung sechs Kleber-Bindungsstellen für eine Umdrehung von 360 Grad. Rechnerisch müsste alle 60 Grad eine Bindestelle sitzen (360:6). Doch die Natur weicht davon ab, die Bindestellen auf den Filamenten passen eigentlich gar nicht auf so ein Gitter. Deshalb lassen sich die Fasern nur gegen einen gewissen Widerstand miteinander verknüpfen. Das erzeugt eine innere Spannung, die aufzubauen Bindungsenergie erfordert. Diese Balance zwischen Biochemie, Geometrie und Mechanik bestimmt die Bündeldicke. Ohne sie wären keine definierten Strukturen möglich – ein schönes Beispiel, wie die Natur imperfekte Geometrien verwendet, um perfekt definierte Strukturen entstehen zu lassen.

Alle Wissenschaften arbeiten zusammen

Überwacht wird der sich laufend ändernde Bauplan des Zellskeletts von biochemischen Vorgängen, die ihrerseits auf physikalisch-chemischen Prozessen basieren. Die Erforschung der zugrunde liegenden regulierenden Kräfte kann deshalb nur erfolgreich sein, wenn alle Disziplinen zusammenarbeiten. Ein Aspekt, den Bausch nachdrücklich betont: „Das ist eine enge Verzahnung. Physik, Chemie, Biologie und Biochemie greifen ineinander und helfen dabei, das Gesamtgeschehen aufzuklären.“ Hinzu kommt ein Umdenken in der Biologie: Lange

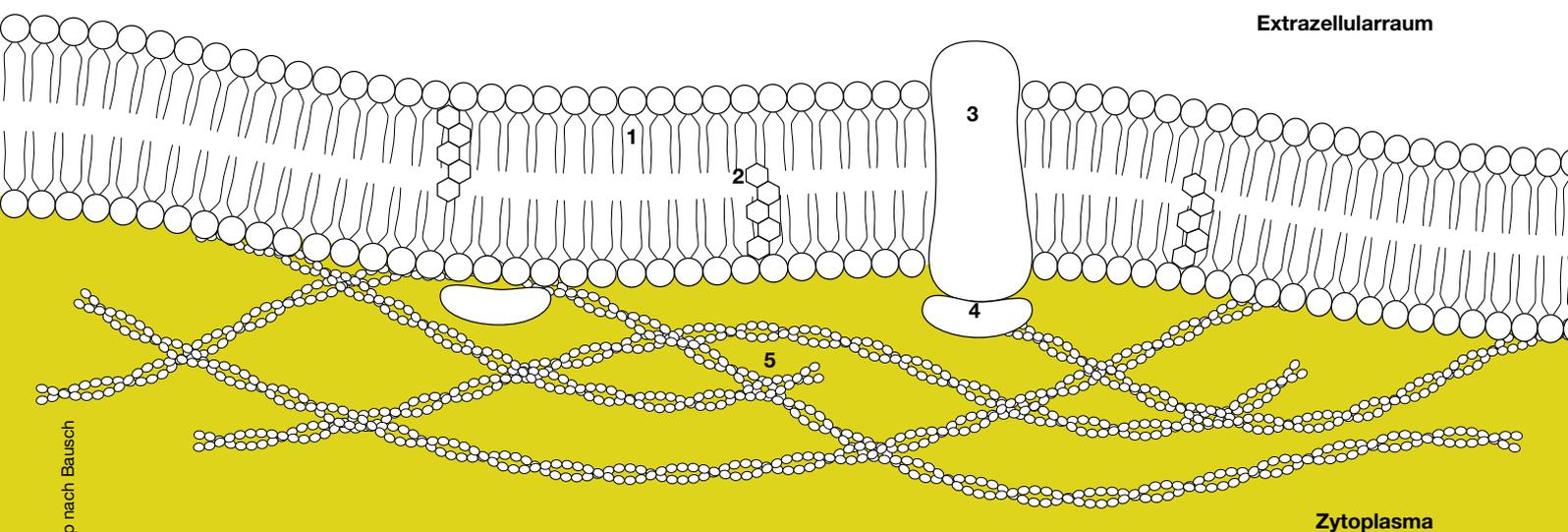
glaubten viele Biologen, biologische Vorgänge basierten ausschließlich auf (Bio-)Chemie. Doch immer deutlicher zeigt sich, dass der Physik eine herausragende Rolle dabei zukommt, die biologische Komplexität begreifbar zu machen. Die Grenzen zwischen Physik, Chemie und Biologie zerfließen zusehends. Immer neue Techniken und Konzepte müssen entwickelt werden, die es erlauben, tiefer und tiefer in die Grundlagen des Lebens einzudringen. Je weiter die Forscher bis zu molekularen, gar atomaren Details vordringen, desto weniger lassen sich neue Erkenntnisse in den Dimensionen nur einer Disziplin fassen.

Noch weiter greift das Spektrum der Fächer im Exzellenzcluster „Nanosystems Initiative Munich“ (NIM), in den die Arbeitsgruppe Bausch eingebunden ist. Dort sind auch Pharmazie, Medizin und Elektrotechnik ver-

treten. Ein gemeinsames Ziel ist es, von der Natur zu lernen und anhand der gewonnenen Einsichten miteinander verbundene und interagierende Netzwerke aus künstlichen Nanomodulen zu schaffen.

Das Wissen um die Arbeitsweise des Zellskeletts ist ein Baustein auf dem Weg dorthin. „Unser Problem dabei ist die ungeheure Komplexität biologischer Prozesse. Biologische Experimente liefern unendlich viel Information. Man muss deshalb – und kann heute – nach der ‚Bottom-up-Strategie‘ einzelne grundlegende Aspekte modulartig isolieren, mit modernen Methoden analysieren und übergeordnete Gesetzmäßigkeiten erkennen. Ohne eine derartige Vereinfachung sind systematische und quantitative Aussagen über die zugrunde liegenden physikalischen Parameter unmöglich zu erlangen. Wir bauen also funktionale Module des Zellskeletts nach ▶

- 1 Hydrophobe Anteile
- 2 Cholesterin
- 3 Integrales Protein
- 4 Peripheres Protein
- 5 Zytoskelettfilamente



Grafik: edlundsepp nach Bausch

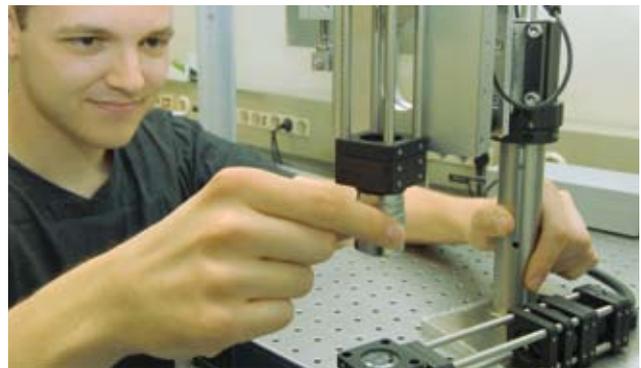
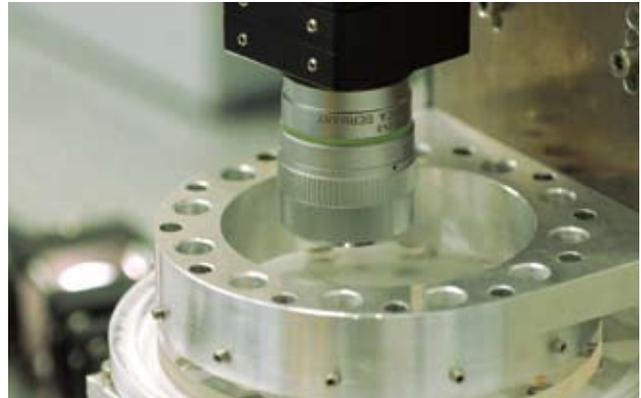
Schema des „Verbundsystems“ Zellmembran. Die Lipidmoleküle bilden eine zweidimensionale Flüssigkeit, die das Innere der Zelle von außen abtrennt, das Zytoskelett ist an die Membran verankert und verleiht der Zelle Form und Stabilität

und untersuchen sie – zum Beispiel die Fragen: Wie ist die Mechanik, welche Kräfte wirken wann, wo und wie stark? Haben wir die Module so weit erkannt, setzen wir sie schrittweise wieder zusammen und analysieren auch die immer komplexeren Teile des Puzzles. Schließlich überführen wir unsere Befunde in die Biologie und prüfen, ob wir in lebenden Zellen Entsprechendes finden“, erklärt Bausch und lobt die Bedingungen auf dem Forschungscampus Garching: „Hier ist die Biophysik bestens ausgebaut. Gemeinsam decken verschiedene Institute die gesamte Längenskala ab, von einzelnen Aminosäuren über Gruppen von Molekülen bis hin zur ganzen Zelle.“

Forschung in der kleinsten Dimension

Wenn der 37-Jährige lebhaft aus seiner Arbeit erzählt, klingt alles ganz einfach. Man vergisst die winzigen Dimensionen seiner wissenschaftlichen Welt, in der die einzelnen Bausteine nur wenige Nanometer groß sind und daher ausgeklügelte Techniken und äußerst exaktes Arbeiten erfordern. Zum Beispiel, wenn sein Team die Anzahl von Filamenten mithilfe eines hochauflösenden Mikroskops bestimmt: In einen Tropfen einer Öl-in-Wasser-Emulsion werden Aktinfilamente plus Kleb-Helferproteine gegeben. Da das Volumen des Tropfens bekannt ist, lässt sich „ganz einfach“ die Gesamtlänge und damit auch die Gesamtzahl der Nano-Filamente bestimmen.

„Bewegung messen wir, indem wir einfach nichts tun“, beschreibt Bausch das Vorgehen, wenn es um die Mobilität der Modellsysteme aus Kleber und Fasern geht. Zumindest muss für diese Arbeit mit dem Fluoreszenzmikroskop das Objekt erst einmal entsprechend vorbereitet werden. Dann warten die Forscher in der Tat ruhig ab und können die thermische Bewegung von wenigen Nanometern direkt beobachten. Daraus berechnen sie die Steifigkeit der Fasern, die Rückschlüsse zulässt auf die Menge des beteiligten Klebers: Je steifer, desto mehr Kleber. Die maximale Steifigkeit ist erreicht, wenn alle Andockstellen für die Klebeproteine – von denen jedes eigene hat – besetzt sind. „Das kann man sich vorstellen wie bei einem Stapel Papier“, erklärt Bausch. „Liegen die einzelnen Seiten lose aufeinander, können



Um den Effekt von mechanischen Kräften auf die Zelldifferenzierung zu beobachten, werden die Zellen zwischen zwei Plexiglasscheiben wenige Nanometer genau verschert. Anschließend wird untersucht, welche Gene aktiviert bzw. deaktiviert werden. Damit kann untersucht werden, wie Zellen auf mechanische Stimulationen reagieren, was für das Verständnis vieler physiologischer Prozesse von Bedeutung ist

sie aneinander vorbei gleiten, der Stapel bleibt beweglich und lässt sich biegen. Sind die Seiten aber verklebt, bilden sie einen kompakten, kaum biegbaren Block.“ Zudem hängt es von der Beschaffenheit des jeweiligen Klebers ab, ob eher weiche, flexible Bündel entstehen oder steife. Bei Prozessen wie der Zellwanderung geben feste Bündel den sich ausstülpenden Ärmchen die notwendige Stabilität zum Vorwärtkommen.

Wie reagieren Zellen auf Bewegungs-Stress?

Die Biophysiker nutzen alles aus, was sie ihrem Ziel irgendwie näher bringen könnte, jede Technik und jeden Apparat. Röntgenstrukturanalysen an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble gehören ebenso dazu wie Rasterkraft-, Elektronen- und Fluoreszenzmikroskopie. Gibt es kein geeignetes Instrument, bauen sie es sich kurzerhand selbst. Mit so einer Vorrichtung Marke Eigenbau lassen sie zum Beispiel Scherkräfte auf Zellen einwirken: Sie legen zwei runde Plexiglasscheiben aneinander und platzieren zwischen ihnen ihre Testzellen. Bewegen sich die Scheiben wie ein Mahlwerk gegeneinander, müssen die Zellen Scher-

kräfte aushalten. Anschließend wird molekularbiologisch untersucht, welche Gene die Zellen daraufhin aktivieren, welche Proteine sie bilden, um dem mechanischen Stress zu begegnen. Zum Beispiel könnten sie vermehrt ein besonders zähes Klebstoffprotein herstellen, um eine größere Stabilität zu erlangen.

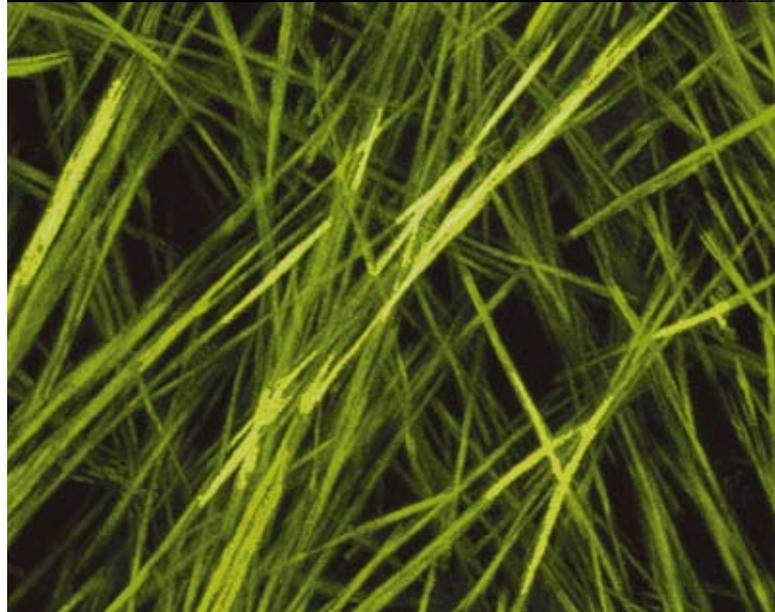
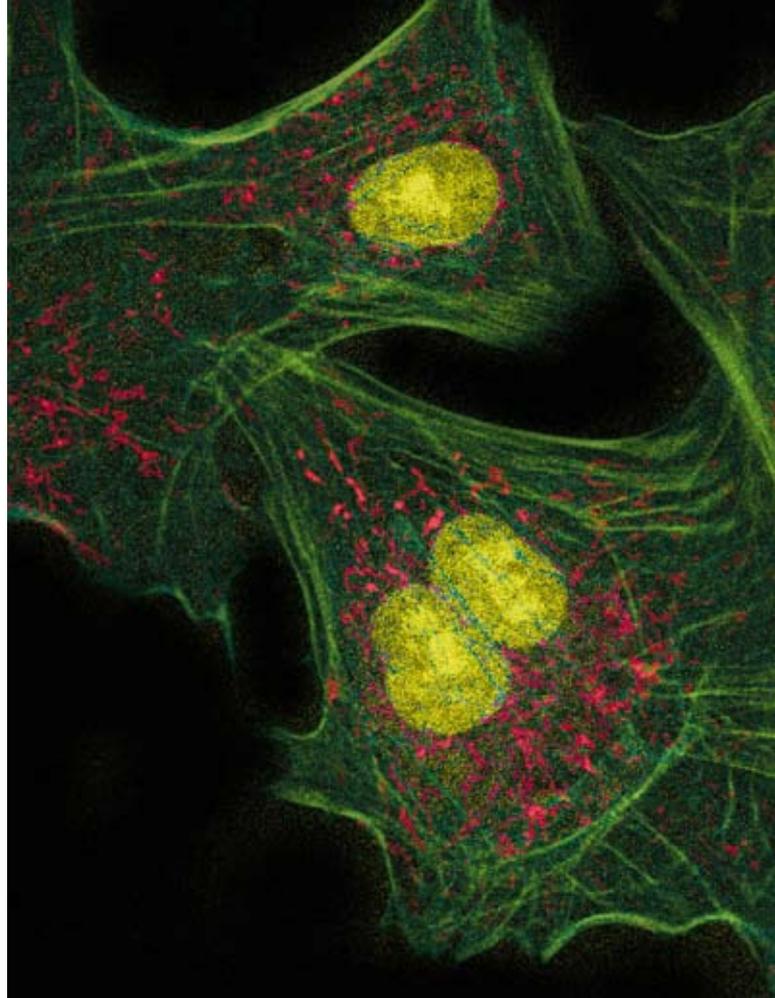
In der nächsten Zeit will Bausch sich „einer sehr spannenden Frage“ widmen, die ein neues Licht auf das Verhältnis von Zellskelett und Mechanik wirft: Es gibt Hinweise, dass Zellen nicht nur mechanische Kraft erzeugen, sondern auch auf äußere mechanische Reize reagieren. Offenbar leiten sie aus der Beschaffenheit ihrer direkten Umgebung ab, welche Art von Zellen sie sind bzw. werden sollen. An bestimmten Stammzellen hat man beobachtet, dass sie sich abhängig von der Härte ihrer Umgebung zu unterschiedlichen Zelltypen entwickeln. Auf weichem Untergrund werden sie zu Nervenzellen, auf hartem aber zu neuronalen Stützzellen. Solche Erkenntnisse, prophezeit Bausch, werden sämtliche Anstrengungen zur Herstellung von Implantaten oder künstlichen Organen („tissue engineering“) komplett revolutionieren.

Das Ziel: Mehr über die Zelle erfahren

Nicht nur dieses Beispiel macht klar, welche Bedeutung die Kenntnis über Funktion und Regulierung des Zellskeletts für die Medizin hat. Bei so gut wie jedem zellulären Prozess, bei jedem Krankheitsbild spielt das Zytoskelett eine herausragende Rolle. Deshalb gibt es vielfältige Bestrebungen, die Funktionsweise des Zellskeletts zu verstehen und zu beeinflussen. Aber auch Bereiche wie Nanotechnologie und Biotechnologie profitieren von der Erforschung dessen, was die Zelle im Innersten zusammenhält.

Noch aber sind konkrete Anwendungen Zukunftsmusik. Andreas Bausch, ganz nüchterner Wissenschaftler, dämpft vorschnelle Hoffnungen: „Was wir machen, ist Grundlagenforschung. Wir stehen erst am Anfang und beginnen allmählich, die Vorgänge zu verstehen. Auch wenn beispielsweise medizinische Anwendungen auf der Hand liegen, werden noch viele Jahre vergehen, bis unsere Erkenntnisse medizinisch umgesetzt werden können.“

Sibylle Kettembeil



Oben: Zellskelett überspannt die gesamte Zelle, Mitochondrien und Zellkern sind ebenfalls angefärbt. In vitro kann die Bündelbildung beobachtet werden, es bilden sich Netzwerke aus Bündeln mit einer sehr scharf verteilten Dickenverteilung. Diese ist auf geometrische Packungsconstraints und mechanische Torsionsenergien zurückzuführen



Hans-Jörg Bullinger

Der Kreative ist König

Der Nachwuchsmangel in den technischen Berufen wird in den kommenden Jahren zur Belastungsprobe für Deutschlands Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit. Sinkende Absolventenzahlen in den Ingenieurwissenschaften und die Folgen der niedrigen Geburtenrate entwickeln sich zur Bedrohung für den Hochtechnologie-Standort Deutschland.

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Hans-Jörg Bullinger ist seit 2002 Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. Er leitete von 1981 bis 2002 das damals neu gegründete Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO). Bullinger ist Professor für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement an der Universität Stuttgart. Er ist Träger hoher nationaler und internationaler Auszeichnungen, unter anderem des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland und des VDI Ehrenrings in Gold.

Der globale Wettbewerb ist vor allem ein Innovationswettbewerb. Die Fähigkeit, Neues zu denken, ist der entscheidende Erfolgsfaktor für das langfristige Überleben von Unternehmen, ja von ganzen Volkswirtschaften. Neue Produkte, Verfahren und Geschäftsmodelle eröffnen neue, dynamische Märkte und bilden die Basis für Wachstum. Träger und Treiber der Innovationsprozesse sind die kreativen Köpfe. Weil es der Mensch allein ist, der erfinden, entdecken und Neues gestalten kann, wird der Mitarbeiter zum wichtigsten Kapital der Unternehmen.

Deshalb steigern die führenden Nationen und viele Aufholländer ihre Investitionen in Bildung erheblich. So erreichen in den 24 OECD-Ländern im Durchschnitt 36 Prozent eines Altersjahrgangs einen traditionellen Hochschulabschluss. Deutschland liegt mit einer Quote von 20 Prozent Hochschulabsolventen am unteren Rand. Besonders dramatisch ist es um den Nachwuchs in den Natur- und Ingenieurwissenschaften bestellt. Schon jetzt können wir bei den Ingenieuren nicht einmal die ersetzen, die in den Ruhestand gehen. Während in Deutschland derzeit nur 90 Nachwuchsingenieure als Ersatz für 100 Pensionäre zur Verfügung stehen, sind das international 190 Absolventen.

Der weltweite Kampf um die Spitzenkräfte wird sich noch verschärfen. Deutschland hat dabei eine schlechte Ausgangsposition: Wir haben zu wenig Kinder, bringen davon zu wenig zum Studium, von diesen studieren zu wenig Natur- und Ingenieurwissenschaften und schließlich erreichen auch noch zu wenig einen Abschluss.

Wenn wir dem Fachkräftemangel in den technischen Berufen begegnen wollen,

müssen wir uns von alten Vorstellungen lösen und neue Wege gehen:

1. Wir müssen alle vorhandenen Potenziale – insbesondere auch die weiblichen – nutzen, mehr Schüler und Schülerinnen zu einem naturwissenschaftlichen Studium motivieren, den ausgebildeten Ingenieurinnen und Naturwissenschaftlerinnen mehr Entfaltungsmöglichkeiten bieten und eine bessere Verbindung von Familie und Beruf ermöglichen. Und: Wir müssen auch ältere Fachkräfte länger ins Arbeitsleben integrieren.

2. Wir brauchen den Zuzug von qualifizierten Kräften aus anderen Ländern, auch wenn das nicht ausreichen wird, um den Nachwuchsmangel zu kompensieren. Voraussetzung ist, dass Deutschland erheblich attraktiver für ausländische Fachkräfte wird.

3. Wir müssen den Talenten die besten Entfaltungsmöglichkeiten geben. Dann bleiben sie im Land und die ausländischen High Potentials kommen zu uns. Voraussetzung dafür ist eine lebendige Erfinderkultur, die den Kreativen ein Umfeld gibt, in dem Geistesblitze zünden können.

4. Wir müssen schon die Kinder von der Faszination Forschung begeistern. Die ingenieur- und naturwissenschaftlichen Berufe haben in Deutschland ein Imageproblem. Sie sind Jugendlichen nur vage bekannt und selbst diejenigen, die ein solches Studium wählen, haben oft falsche Erwartungen. Dies führt zu hohen Abbrecherquoten, die wiederum das schwierige Image bestätigen.

Wenn wir morgen zu den führenden Nationen gehören wollen, dann müssen wir heute den Nachwuchs fördern und ihm beste Entfaltungsmöglichkeiten geben. □