



## Grußwort

Hans Zehetmair  
Bayerischer Staatsminister für Wissenschaft,  
Forschung und Kunst

*Bayern gehört zu den erfolgreichsten und wachstumsstärksten Wissenschaftsregionen in Deutschland. Viele Schlüsseltechnologien haben hier bedeutende Schwerpunkte: Life Science in Martinsried und Weihenstephan, das Münchner Silicon Valley, die Materialwissenschaften in Bayreuth und die Medizintechnik in Erlangen sind nur einige von vielen Beispielen. Exzellente Wissenschaft ist die Basis für den wirtschaftlichen Erfolg und das Image von Bayern als High-Tech-Land. Um den Forschungs- und Wirtschaftsstandort Bayern zu sichern, müssen die Schlüsseltechnologien der Zukunft bereits heute laufend identifiziert und gefördert werden.*

*Im Rahmen dieser Herausforderung leistet die neue Schriftenreihe von abayfor „Zukunft im Brennpunkt“ einen wichtigen und aktiven Beitrag. Die Autoren stellen aktuelle und künftige Forschungsfelder, Trends und Visionen in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Fachgebieten vor. Sie sind gleichzeitig Experten für die dabei auftretenden aktuellen Fragestellungen und Gestalter der Zukunft. Know-how, Kompetenz und Leistungsfähigkeit der Wissenschaftler und die enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft sichern marktfähige Technologien,*

*Produkte und Dienstleistungen – auch in der Zukunft. Gerade High-Tech-Unternehmen bauen auf diesen Transfer; wissenschaftliches Know-how fließt in neue, innovative Produkte, Unternehmen expandieren in neue Märkte.*

*Die vorliegende Broschüre soll der erste Band einer Reihe sein und gibt hierfür die Marschrichtung vor. In ein paar Jahren können wir überprüfen, was von den nachstehenden ehrgeizigen Zielen schon verwirklicht werden konnte oder ob die Forschung gar schon jenseits dieser Visionen angelangt ist.*

*Die Lektüre dieses Bandes ist vor diesem Hintergrund im wahrsten Sinne des Wortes „zukunftsweisend“. Ich wünsche Ihnen ein kurzweiliges Lesevergnügen.*

Hans Zehetmair  
München, im April 2002



# Vorwort

Prof. Dr. Bernd Radig  
Sprecher der Arbeitsgemeinschaft  
der Bayerischen Forschungsverbände

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor Ihnen liegt die erste Ausgabe der abayfor-Broschüre „Zukunft im Brennpunkt“. Sie ist der Anfang einer jährlich erscheinenden Reihe, in der Wissenschaftler aus den Forschungsverbänden ihre Visionen, Prognosen und Trends für die Zukunft aus ganz persönlicher Sicht darstellen.

Vielleicht fragen Sie sich jetzt: Was sind Forschungsverbände und was ist abayfor? Ein Forschungsverbund ist ein einmaliges Netzwerk von Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen und Forschungsstandorten, die gemeinsam an einer komplexen und fächerübergreifenden Fragestellung arbeiten. „Gemeinsam über Grenzen“ ist die Leitidee für

alle Forschungsverbände: um Innovationen zu ermöglichen und Perspektiven zu schaffen. Das Know-how zu sichern und es in die Wirtschaft zu transferieren, ist das Ziel der abayfor, dem „Dach“ der Verbände.

Mehrere Überlegungen haben uns veranlasst, diese Broschüre aufzulegen.

Die reinen Disziplinen werden sicherlich auch in der Zukunft noch ihren Stellenwert haben. Es zeigt sich jedoch schon lange, dass die Probleme der Zukunft komplex sind und ganzheitlich angegangen und gelöst werden müssen. Wissenschaftler aus Forschungsverbänden sind durch die fachübergreifende Arbeit dazu in hervorragender Weise prädestiniert.

Der Nutzen von Wissenschaft ist nur so groß, wie er auch vermittelt werden kann. Wir Wissenschaftler übersehen allzu häufig, dass unsere Ergebnisse nicht nur für eine ausgewählte Gemeinde von Spezialisten interessant sind, sondern durchaus auch für eine größere Gruppe, nämlich die breite Öffentlichkeit. Jeder von uns ist zwar ein Spezialist auf seinem Gebiet, aber doch auch Laie auf allen anderen. Das Wissen ist zwar da, aber echte Synergieeffekte entstehen vor allem durch die Kommunikation untereinander. Wir haben deshalb in dieser Broschüre ein besonderes Augenmerk auf die Verständlichkeit für möglichst viele Leser gerichtet, dabei aber trotzdem das wissenschaftliche Niveau erhalten.

So sind die in diesem Band enthaltenen Visionen, Trends und Prognosen aus wissenschaftlicher Sicht keine Utopien, sondern durchaus bodenständig. Die Autoren der Reihe „Zukunft im Brennpunkt“ sind Experten, deren Visionen Bausteine für das „Morgen“ sind. Heutige Ansätze und Entwicklungen gestalten die Zukunft, wirken sich unmittelbar auf sie aus. Beispiele sind die zunehmende Globalisierung oder die Entstehung und Bekämpfung ganz neuer Krankheitserreger, z.B. Prionen.

Die stabile Brücke in die Zukunft hat ihre Grundpfeiler im „Heute“. Ich wünsche mir, dass diese Broschüre ohne Anspruch auf Vollständigkeit ein großer Schritt auf dieser Brücke ist. Ihnen wünsche ich viele Anregungen und viel Vergnügen beim Lesen.

Ihr

Bernd Radig

# DIE EUROPÄISIERUNG DES STAATSRECHTS

## Nationale Verfassungswerte unter dem Einfluss von EU und Europäischer Menschenrechtskonvention

Rainer Arnold

**Die Europäisierung des nationalen Verfassungsrechts wird das Hauptphänomen der nächsten zehn Jahre auf diesem Gebiet sein. Es werden sich drei europäische Verfassungsebenen herausbilden, die in einem engen gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis stehen: die staatlichen Verfassungen, die Verfassungsordnung der Europäischen Gemeinschaft (EU) und die Europäische Menschenrechtskonvention. Zudem werden Grundbegriffe des Verfassungsrechts, die traditionell dem Staat zugeordnet sind, supranationalisiert. Die europäische Verfassungsvergleichung wird sich zu einer wichtigen fächerübergreifenden Disziplin entwickeln und wird die traditionelle „Allgemeine Staatslehre“, die durch den Prozess der Europäisierung in ihren Grundfesten erschüttert ist, ablösen.**

**D**as Verfassungsrecht, insbesondere das vergleichende Verfassungsrecht im europäischen Bereich, ist in hohem Maß von der politischen Entwicklung der Verfassungssysteme abhängig. Im nächsten Jahrzehnt wird die politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Situation durch fortschreitende Europäisierung und – auf universeller Ebene – durch Globalisierung gekennzeichnet sein.

### Erweiterung der Europäischen Union

Die Europäische Union wird sich geographisch erweitern, auf 25 oder mehr Mitgliedstaaten anwachsen. Die meisten der mittel-, ost- und südosteuropäischen Staaten werden ihr beitreten. Die Teilung Europas, Konsequenz des Zweiten Weltkriegs, wird dadurch endgültig überwunden sein.

Rechtsangleichung auf zahlreichen Gebieten wird zu einer Harmonisierung der Rechtsordnungen der EU-Mitgliedstaaten führen und einen europaweiten Raum gemeinsamen Rechts schaffen. Von diesem Prozess der Europäisierung wird in besonderem Maß das Verfassungsrecht betroffen. In Europa werden sich drei Verfassungsebenen herausbilden, die sich gegenseitig beeinflussen und zu einem gemeinsamen Corpus eines Europäischen Verfassungsrechts zusammenwachsen: die nationalen Verfassungen, die Verfassungsprinzipien der Europäischen Union und die Europäische Menschenrechtskonvention des Europarates. Auch wird wohl im Lauf der

kommenden zehn Jahre der heute schon vielfach propagierte Plan verwirklicht werden, eine gemeinsame Europäische Verfassung zu verabschieden, die aus diesen drei Quellen gespeist wird. Den neuen Demokratien in Mittel-, Ost- und Südosteuropa wird dabei eine wichtige Rolle des Schrittmachers für die Verwirklichung moderner, anthropozentrisch orientierter Verfassungskonzepte zukommen, die den in Westeuropa erreichten Stand noch überbieten. Die Verfassungsgerichte dieser neuen Demokratien entwickeln schon jetzt, in Anknüpfung an die westeuropäische Tradition, weiterführende Perspektiven, wozu die westeuropäischen Verfassungsgerichte wegen ihrer Bindung an traditionelle, zum Teil aus dem 19. Jahrhundert stammende staatsrechtliche Vorstellungen bei weitem nicht immer fähig sind. Die Verfassungsgerichtsbarkeit in den neuen Demokratien wird diese progressive Grundhaltung fortsetzen und auf diese Weise erhebliche Modernisierungsimpulse für die Gesamtheit des europäischen Verfassungsrechts liefern.

### Entwicklung eines Europäischen Verfassungsrechts

Die Verfassungsrechtsforschung in Deutschland wird sich ganz wesentlich an diesem fundamentalen Prozess orientieren müssen. Dies bedeutet, die bisher übliche, weitgehend nationale Perspektive abzustreifen. Die verfassungsrechtlichen Phänomene der eigenen Rechtsordnung werden nur mehr im Kontext

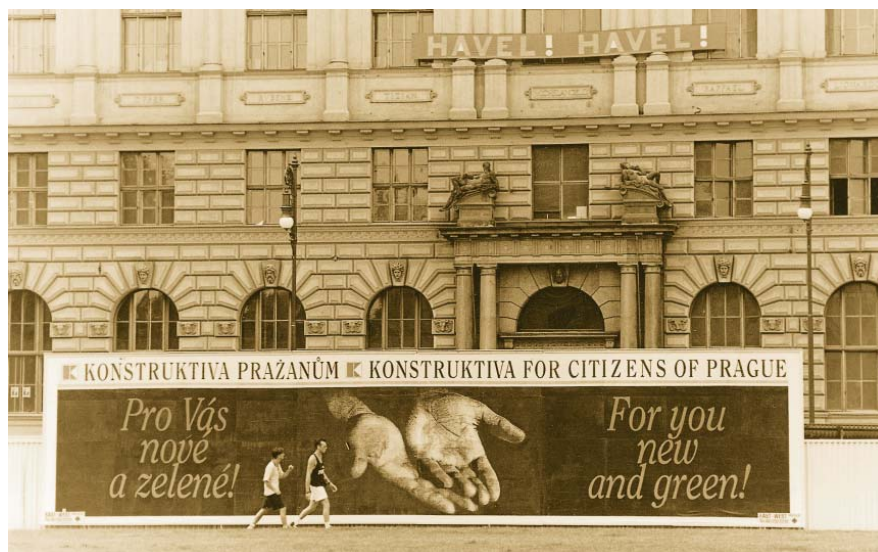


## Die Europäisierung des Staatsrechts

mit dieser europäischen Verfassungsentwicklung richtig gedeutet. Eine isolierte Darstellung des nationalen Staatsrechts ist methodisch nicht mehr zulässig, weil sich im nächsten Jahrzehnt ohne Zweifel immer stärker gegenseitige Abhängigkeiten der einzelnen europäischen Verfassungsebenen und Verfassungssysteme herausbilden. Die Rechtsprechung der Verfassungsgerichte der anderen europäischen Staaten, etwa zu den Grundrechten,

wird für die Interpretation der Grundrechtsgehalte des eigenen Landes von unerlässlicher argumentativer Bedeutung sein. Es ist durchaus ein wesentlicher Fortschritt, dass die nationale juristische Perspektive auf dem Gebiet des Staats- und Verfassungsrechts sich zu einer grundsätzlich europäischen Perspektive ausweiten wird. Eine solche Sichtweise wird auch grundlegend sein für das Gebiet des Europarechts insgesamt, das heute weithin noch mit nationa-

lem Rechtsdenken betrieben wird, in den nächsten zehn Jahren aber unter dem Einfluss dieses Europäisierungsprozesses eine ausschließlich „übernationale“ Perspektive einsetzen muss. Beispielsweise sind Begriff, Umfang und Grenzen der verfassungsrechtlichen Meinungsfreiheit entscheidend für die Entfaltung des Individuums und die Entwicklung des modernen Medien- und Internetrechts. Diese Meinungsfreiheit kann künftig nur mehr in vergleichender europäischer Perspektive unter Einbeziehung der Vorgaben von EU und Europäischer Menschenrechtskonvention betrachtet werden. Auch die aktuellen Entwicklungen der Gentechnologie müssen in Bezug gesetzt werden zu einem gemeinsamen europäischen Rechtsdenken beruht. Kontinentaleuropäische Grundrechtskonzepte fließen auch in traditionelle Systeme wie das englische ein, und es bestätigt sich der Satz Lord Dennings: Das europäische Recht sei „like the incoming tide. It flows into the estuaries and up the rivers. It cannot be held back“.



**Prag 1992 – der Transformationsprozess in den neuen europäischen Demokratien wird erhebliche Modernisierungsimpulse für die Gesamtheit des Europäischen Verfassungsrechts liefern.** (Foto agenda, Hamburg)

### Neudefinition verfassungsrechtlicher Grundbegriffe

Ein rasch fortschreitender Prozess der „Umwertung“ verfassungsrechtlicher Grundbegriffe, die deren Neudefinition erfordert, begleitet diese Perspektivenerweiterung während der nächsten zehn Jahre. Die bisher nationale Dimension der Grundbegriffe wird in steigendem Maß durch eine supranationale Dimension er-



gänzt und schließlich ganz ersetzt. Der Begriff „Verfassung“ selbst wird sich von seiner traditionellen Zuordnung zum Staat lösen und allgemein für supranationale Ordnungen wie die EU und das Straßburger Menschenrechtssystem anerkannt werden. Auch der Begriff der staatlichen Souveränität wird im europäischen Bereich funktionell entleert und wächst gleichfalls den supranationalen Ordnungen zu, die durch europaweite grenzüberschreitende Aufgabenerledigung immer mehr an die Stelle des Staates treten. In zehn Jahren wird dieser Prozess schon einen so erheblichen Grad erreicht haben, dass nur mehr schwerlich von der Souveränität der einzelnen EU-Staaten die Rede sein kann. Die supranationale EU wird sich in einem Zwischenzustand zwischen internationalem Staatenverbund und europäischem Bundesstaat befinden, dabei funktionell aber längst die Machtfülle eines traditionellen Staates erreicht und übertroffen haben.

### Aufgabe der Rechtswissenschaft

Die Wissenschaft muss diese Phänomene berücksichtigen und kann den Bereich „Allgemeine Staatslehre“ nur mehr im Sinn einer „Allgemeinen Integrationslehre“ erfassen. Die traditionellen Aussagen der bisherigen Lehrbücher zur „Allgemeinen Staatslehre“ müssen neu bewertet werden. In diesem Bereich wird, bildlich gesprochen, kein Stein mehr auf dem anderen bleiben.

Aufgabe der Wissenschaft wird sein, diese Phänomene zu erfassen,



**Europaparlament in Straßburg – es wird nicht zu einem Abbau von Individualrechten kommen, sondern zu einem Bedeutungszuwachs des Individuums, dessen zentrale Wertigkeit im modernen Verfassungsrecht erkannt und auf europäischer Ebene propagiert und durchgesetzt werden wird.** (Foto MEV)

die rechtsvergleichende Sicht zugrunde zu legen und die europäische Perspektive einzubringen. Dabei muss aber auch die Rolle des formal weiterhin existierenden Phänomens „Staat“ und die sich verstärkende Rolle der staatlichen Untereinheiten, der Regionen, in Betracht gezogen werden. Ausgleichsprinzipien wie Subsidiarität und Verhältnismäßigkeitsgrundsatz sind besonders wichtig, wobei immer eine gesamteuropäische und keine partikuläre Perspektive eingenommen wird. Die Verfassungsvergleichung wird somit in den nächsten zehn Jahren einen ganz erheblichen Zuwachs an Bedeutung erfahren und die traditionelle verfassungsrechtliche Methodik ablösen.

### Die gesteigerte Notwendigkeit interdisziplinärer Zusammenarbeit

Die Wissenschaft vom vergleichenden Verfassungsrecht ist in Zukunft

in besonderem Maß auf Interdisziplinarität angewiesen. Unerlässlich ist die Kooperation mit den Politikwissenschaften, da die für die Verfassungsauslegung wichtigen politischen Vorgänge nur aus ihrer Perspektive adäquat erfasst werden. Die Wirtschaftswissenschaften erkennen die Rückwirkungen der ökonomischen Grundbedingungen einer Gesellschaft auf Politik und Recht. Sprachwissenschaftler analysieren Unterschiedlichkeiten und Gemeinsamkeiten von Verfassungstexten verschiedener Systeme, die für den Vergleich wichtig sind, in ihrer semantischen Bedeutung. Die vielfältige wechselseitige Bedingtheit von Verfassung und Kultur für das Gesamtverständnis der Problemstellung in die Überlegung einzubeziehen, ist Aufgabe der Kulturwissenschaften.

Die vergleichende Verfassungswissenschaft wird sich in der

---

**Prof. Dr. Rainer Arnold** (geb. 1943) ist Inhaber des Lehrstuhls für Öffentliches Recht, insbesondere Rechtsvergleichung, Wirtschaftsverwaltungsrecht, Recht der Europäischen Gemeinschaften und ausländisches Öffentliches Recht sowie des Jean-Monnet-Lehrstuhls für Europarecht an der Universität Regensburg. Zudem arbeitet er mit im Forschungsverbund Ost- und Südosteuropa FOROST. Seine Forschungsschwerpunkte sind das Europarecht, die Rechtsvergleichung im Bereich des Verfassungsrechts und das Öffentliche Recht.

---

Zukunft zu einer zentralen Disziplin entwickeln. Sie wird gerade für die besonders wichtige Wissenschaftskooperation mit den neuen Demokratien in Mittel-, Ost- und Südosteuropa eine wesentliche Brückenfunktion erfüllen.

Für Bayern als bedeutsamem Wissenschaftsstandort ist es von größter Bedeutung, dem Prozess der Europäisierung im Bereich Recht, aber auch in den übrigen Disziplinen Rechnung zu tragen. Durch Wissenschaftskooperation mit anderen europäischen Staaten, insbesondere in Mittel-, Ost- und Südosteuropa, kann die weithin anerkannte Qualität bayerischer Hochschulen verstärkt werden. Die europäische Dimension der Hochschule wird in Zukunft ein besonderes Qualitätsmerkmal von Forschung und Lehre sein.

### **Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft**

Die europäische Verfassungsvergleichung besitzt eine hohe Aussagekraft für die Stabilität einer Gesellschaftsordnung und insbesondere die verfassungsrechtlichen Sicherungen des Wirtschaftssystems und der unternehmerischen Tätigkeit. Darüber hinaus zeigt sie hinsichtlich der neuen Demokratien den Grad an Transformation in Wirtschaft und Politik auf. Die Ergebnisse dieser Wissenschaft sind deshalb für die Wirtschaft als rechtliche Basisorientierung für Investitionen in anderen Ländern und für die Wirtschaftsentwicklung im Gesamten von besonderer Bedeutung.

Die gesellschaftliche Entwicklung korrespondiert zu einem erheblichen Teil mit den Entwicklungen der rechtlichen Grundordnung der Gesellschaft, d.h. der Verfassung. Europäisierung und Supranationalisierung verfassungsrechtlicher Grundbedingungen bewirken die Herausbildung einer im Ansatz „europäischen Gesellschaft“, deren nationaler Bezug erheblich relativiert wird.

Die Stellung des Individuums wird durch diesen Entwicklungsprozess gefördert: Seine Rechte, besonders seine Grundrechte werden nicht mehr allein durch die nationale Verfassung, sondern auch durch die übrigen europäischen Verfassungsebenen (EU und Europäische Menschenrechtskonvention) geschützt. Die europäische supranationale Sicherung des Individuums wird das primäre Gewicht erhalten, die nationale Sicherung wird eher von sekundärer Bedeutung sein. Die Standards dieser Sicherung, also die Inhalte der Grundrechte, werden sich ebenfalls europäisieren. Es wird dabei nicht zu einem Abbau von Individualrechten kommen, sondern zu einem Bedeutungszuwachs des Individuums, dessen zentrale Wertigkeit im modernen Verfassungsrecht erkannt und auf europäischer Ebene propagiert und durchgesetzt werden wird.

# MIGRATION: EINE ZUKUNFTSFRAGE IM VEREINTEN EUROPA



Barbara Dietz

**Internationale Migrationen gehören weltweit zu den großen Herausforderungen der Gesellschaftspolitik. In nicht allzu ferner Zukunft wird nun durch die Osterweiterung der Europäischen Union ein neuer Migrationsraum entstehen. Eines der ersten Ziele für Migranten aus Osteuropa wird dabei Deutschland sein. Dies birgt Risiken und Chancen. Jetzt ist die Migrationsforschung gefragt, die sich in Deutschland noch in der Entwicklungsphase befindet. Sie untersucht, wie Wanderungsbewegungen entstehen und wie sie verlaufen. Damit gibt sie Politik und Gesellschaft Mittel an die Hand, die Folgen von Migrationen abzuschätzen und zu bewältigen. Heute eher noch ein Randgebiet der Forschung, könnte Migrationsforschung bald zum Kernbereich gesellschaftsrelevanter Wissenschaft zählen.**



**Polnischer Grenzübergang – Migrationsforschung kann die vielschichtigen Problemstellungen und Wirkungen von Migrationsprozessen erkennen und der Politik wichtige Entscheidungshilfen liefern.** (Foto agenda/Michael Kottmeier)

**„Wo kommst du her?“** Das fragen Kinder einander auf dem Spielplatz, im Schulhof oder in der Nachbarschaft. Als Antwort darauf wird nicht mehr, wie noch vor 20 Jahren, der Nachbarort oder das Viertel am anderen Ende der Stadt genannt. Heute sieht es in Europa anders aus: In Deutschland lernen einheimische Kinder neben Klassenkameraden aus der Türkei, aus Italien und Polen. In Frankreich wetteifern Jugendliche aus Marokko mit jungen Franzosen und Algeriern auf dem Sportplatz. Ein Blick in die Zukunft Europas zeigt: Immer mehr Menschen unterschiedlicher Herkunft werden zusammen leben und arbeiten.

Migrations- und Integrationsforschung beschäftigt sich mit den verschiedenen Formen internationaler

Wanderungen und mit ihren Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft. Im Idealfall gelingt es, die Hintergründe von Migrationen aufzudecken und Wanderungspotenziale zu erkennen. Allerdings sind die Folgen internationaler Migrationen weitreichend: Sie betreffen nicht nur Arbeitsmärkte und Sozialsysteme, sondern auch das alltägliche Miteinander der Menschen. Im Fokus der Integrationsforschung steht, wie sich Migranten in der neuen Gesellschaft einrichten und welche „best practices“ ihre Aufnahme erleichtern.

## **Ost-West-Migration: Perspektiven und Strategien in einem erweiterten Europa**

In zehn Jahren wird sich die Europäische Union um zehn osteuropäische Staaten vergrößert haben und etwa 100 Millionen Bürger mehr als heute

## Migration: Eine Zukunftsfrage im vereinten Europa

umfassen. Dann leben nahezu 480 Millionen Menschen im vereinten Europa. Wahrscheinlich herrscht vollständige Freizügigkeit: Grenzen für Güter, Kapital und Arbeitskräfte gehören der Vergangenheit an. Der Handel wird zunehmen, Reisen werden leichter und es werden mehr Arbeitskräfte aus Osteuropa im Westen tätig sein. Dass West- und Osteuropa näher zusammen wachsen, berührt auch das alltägliche Leben.

### Chancen und Risiken

Die künftige Neuordnung Europas birgt mehrfache Chancen. Durch engere Wirtschaftsbeziehungen entsteht ein höheres Wachstum und mehr Wohlstand. Davon profitieren alle Partner, wenn auch nicht in gleicher Weise. Die Erweiterung Europas hat jedoch nicht nur ökonomische Ziele im Blick. Der Aufbau gemeinsamer Rechtsnormen und Institutionen sichert das friedliche Zusammenleben Europas im 21. Jahrhundert. Mögen sich die Nationen in Ost und West jetzt noch fern stehen, die Erweiterung Europas wird den kulturellen Austausch und den interkulturellen Dialog fördern. Vor allem Jugendliche aus Ost und West lernen sich durch gemeinsame Aktivitäten besser kennen. Theater, Musik und Filme aus Osteuropa treten ins Rampenlicht der Kulturprogramme.

Die Erweiterung Europas bleibt jedoch nicht ohne Friktionen. Besonders die Freizügigkeitsregelung stellt die Integrationsfähigkeit west- und osteuropäischer Staaten auf die Probe. Im nächsten Jahrzehnt werden

zahlreiche Osteuropäer ihre Heimat verlassen und zumindest kurzfristig im Westen eine Arbeit aufnehmen. Die verstärkte Konkurrenz auf den westlichen Arbeitsmärkten wird vielfältige Auswirkungen haben – in einigen Fällen auch negative. Nicht auszuschließen ist ein wachsender Druck auf heimische Löhne oder eine Erhöhung heimischer Arbeitslosigkeit in bestimmten Branchen. Das kann zu sozialen Spannungen zwischen Einheimischen, ausländischen Arbeitern und Migranten aus Osteuropa führen und einer Hierarchisierung verschiedener Migrantengruppen Vorschub leisten.

Ost-West-Wanderungen verändern die aufnehmenden Gesellschaften: Im Alltag hören die Einheimischen nun öfter Polnisch oder Rumänisch. In bestimmten Stadtvierteln etablieren sich Geschäfte mit billigen Artikeln aus Polen, Lokale öffnen, in denen Arbeiter aus Osteuropa sitzen, und von zentralen Plätzen fahren wöchentlich Busse nach Warschau, Budapest oder Bukarest ab. Ob schon Osteuropäer immer mehr zum Alltag gehören, kommen die Einheimischen nicht ohne weiteres in Kontakt mit ihnen. Von Sprachproblemen abgesehen verbringen viele Osteuropäer ihre freie Zeit zudem lieber im vertrauten Freundeskreis oder mit der Familie.

Die Zukunftsszenarien der europäischen Osterweiterung weisen darauf hin, dass es heute schon nötig ist, über die Folgen dieser Neuordnung nachzudenken. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die künftige Ost-West-Wanderung dar,

deren Risiken und Chancen es einzuschätzen gilt.

### Migrationforschung: eine Wissenschaft als Puzzle

Wo steht die Migrationsforschung heute und wo wird sie in zehn Jahren stehen, wenn sich in einem nach Osten erweiterten Europa neue Migrationsbewegungen entwickeln? Obwohl Migrations- und Fluchtbewegungen sowie die Frage der Integration von Migranten weltweit zu den herausragenden akuten Themen gehören, ist die Migrationsforschung in Deutschland keine eigenständige Disziplin. Sie basiert auf den Erkenntnissen so verschiedener Wissenschaften wie der Ökonomie, der Soziologie, der Ethnologie, der Rechts-, Geschichts- und Politikwissenschaften. Im Rückgriff auf diese Disziplinen ist es der Migrationsforschung ein Stück weit gelungen, diverse internationale Wanderungen empirisch zu fassen und theoretisch zu formulieren. Jetzt liegen Erkenntnisse vor, die zeigen, welche wirtschaftlichen, sozialen und politischen Zusammenhänge Migrationen auslösen, welche sie verhindern und welche Konsequenzen Migrationen für die wirtschaftliche, soziale und kulturelle Entwicklung ihrer Send- und Aufnahmeländer haben.

### Migrationsnetzwerke

Eine der einflussreichsten Theorien, die neoklassische Theorie der Arbeitskräftewanderung, geht davon aus, dass Lohndifferenzen zwischen verschiedenen Regionen zu Migrationen führen. Eine wesentliche Er-





weiterung dieses Modells bezieht die relativen Chancen, eine Arbeit zu finden, in die Migrationsentscheidung ein. Damit können höhere Löhne und bessere Arbeitsplatzchancen den Beginn einer Migration erklären. Ihre Dynamik, so argumentiert die Theorie der Migrationsnetzwerke, entfaltet sie jedoch durch ein Geflecht von Beziehungen zwischen Migranten und Personen, die noch nicht gewandert sind. Migrationsnetzwerke senken die Risiken und Kosten der Migration: Dies gilt für illegal eingewanderte Mexikaner in den USA ebenso wie für polnische Saisonarbeiter in Deutschland oder für philippinische Hausmädchen in Israel.

Migrationsforschung ist praxisbezogen und bereit, Stellung zu aktuellen Entwicklungen zu beziehen. Grenzenüberwindend wie ihr Untersuchungsgegenstand baut Migrationsforschung auf internationale und interdisziplinäre Kooperation. Im Gegensatz etwa zur amerikanischen Migrationsforschung ist jedoch die europäische im Bereich der eigenständigen Theoriebildung noch wenig innovativ. Insbesondere die Forschung in Deutschland steht in der Theoriebildung noch ganz am Anfang, obschon sie auf eine über 50-jährige Migrationsgeschichte seit der Nachkriegszeit zurückblickt.

### Zukunftsszenarien der Freizügigkeit

Noch ist die Erweiterung der Europäischen Union nicht vollzogen und noch liegt die Freizügigkeit zwischen Ost und West in der Zukunft.



**Rückkehrer beim Wiederaufbau eines zerstörten Hauses in Bosnien – für die Mehrheit der osteuropäischen Migranten steht eine Existenz in der Heimat im Mittelpunkt ihrer Lebensplanung.**

(Foto agenda/Michael Kottmeier)

Aber schon heute kann die Migrationsforschung alternative Wanderungsszenarien und ihre Folgen abschätzen. Und sie kann verschiedene Instrumente der Migrations- bzw. Integrationspolitik diskutieren oder konzeptionell vorschlagen.

### Migration: eine Zukunftsfrage für Deutschland?

Brauchen Deutschland und seine Bundesländer überhaupt Migranten? Und wenn ja, welche? Tatsache ist, dass die deutsche Gesellschaft vor gravierenden demographischen Veränderungen steht. Die Bevölkerung Deutschlands wird sich ohne Zuwanderung verringern, und sie wird in den nächsten Jahrzehnten auch deutlich altern. Um hier keine falschen Hoffnungen zu wecken: Immigration kann die dadurch entstehen-

den Probleme für Wachstum und soziale Sicherheit nicht lösen. Die „richtigen“ Migranten – d.h. diejenigen, die Lücken im Arbeitsmarkt schließen – sind jedoch in der Lage, das Wirtschaftswachstum zu sichern und das Sozialsystem zu stabilisieren.

Ähnliches kann auch für die Arbeitsmärkte gesagt werden. Deutschland hat einen erheblichen Bedarf an hochqualifizierten Arbeitskräften bei gleichzeitig hoher Arbeitslosigkeit, die besonders die wenig Qualifizierten betrifft. Es ist politisch notwendig, eine bedarfsgerechte Strategie für die Zuwanderung zu entwickeln, besonders angesichts des wachsenden internationalen Wettbewerbs um gut ausgebildete Arbeitskräfte. Die Konkurrenz um die besten Köpfe von morgen hat heute schon begonnen.

### Von Ost nach West und wieder zurück

Eine Reihe von Forschungsinstituten hat bereits Prognosen zu Ost-West-Wanderungen nach der Erweiterung der Europäischen Union vorgestellt. Die geschätzten Zahlen bewegen sich zwischen zwei und allerhöchstens vier Millionen Osteuropäer, die in einem Zeitraum von 15 Jahren nach Deutschland wandern könnten. Dies sind beachtliche Größen, dennoch kann von einer „Völkerwanderung“ nicht die Rede sein.

Untersuchungen zeigen, dass Deutschland und Österreich die wichtigsten Aufnahmeländer der Ost-West-Wanderungen sein werden und Polen das herausragende Sendeland. Einigkeit besteht darin, dass höhere Einkommen und besse-

re Arbeitsplatzchancen im Westen die Wanderungen aus dem Osten auslösen, unterstützt von bestehenden Migrationsnetzwerken. In der Tendenz wird davon ausgegangen, dass die heutigen Ost-West-Migranten besser ausgebildet sind als die Süd-Nord-Wanderer früherer Jahrzehnte. Auch nimmt man an, dass viele Migranten aus Osteuropa nur kurzfristig im Westen bleiben werden. Sie kommen um zu arbeiten, ihre Familien bleiben jedoch am Heimatort. Zukunftspläne werden für dort gemacht.

### Die Gesellschaft auf dem Prüfstand

Die abwehrende Haltung gegenüber Migranten wird häufig mit der Furcht begründet, dass Zuwanderer die heimi-

mischen Löhne drücken, einheimische Arbeitskräfte verdrängen und die Sozialsysteme übermäßig belasten könnten. Viele Einheimische haben Angst, dass der soziale und kulturelle Konsens der Gesellschaft durch Migranten aufgehoben werden könnte und dass segregierte Migrantengemeinschaften entstehen. Doch in Wirklichkeit sind die Folgen von Migrationen für den Arbeitsmarkt, die sozialen Sicherungssysteme und die Gesellschaft viel differenzierter. Hochqualifizierte Migranten, z.B. die Blue-Card-Arbeitnehmer in Bayern, sind ein Gewinn für die beschäftigenden Unternehmen und die wirtschaftliche Entwicklung des Landes. Saisonale Arbeitsmigranten, etwa in der Landwirtschaft oder im Gaststättengewerbe, stützen die Erfolge dieser Wirtschaftszweige. Außerdem bringen Arbeitsmigranten Sprachkenntnisse und soziales Kapital mit, das für unternehmerische Aktivitäten in osteuropäischen Märkten entscheidende Wettbewerbsvorteile bringen kann. Schon heute profitieren viele westlichen Unternehmen von den Fähigkeiten osteuropäischer Zuwanderer.

Werden Zuwanderer allerdings in stark belasteten Branchen, aktuell z.B. im Baugewerbe, tätig, dann kann dies negative Folgen für heimische Arbeitnehmer, aber auch Unternehmer haben. Problematisch sind auch geringqualifizierte illegale Arbeitsmigranten, die tendenziell eine Verdrängung von heimischen Arbeitskräften ohne Ausbildung bewirken. Allerdings wäre es zu kurz gegriffen, für die entstehenden Span-



**Kinder – für ihre Zukunft wird viel davon abhängen, wie schnell die durch Krieg und Misswirtschaft zerrütteten sozialen Verhältnisse in ihrer Heimat verbessert werden können.**  
(Foto agenda/Michael Kottmeier)



nungen nur die Migranten verantwortlich zu machen. Vielmehr halten die Folgeprobleme der Migration der aufnehmenden Gesellschaft einen Spiegel vor, indem sie auf strukturelle Probleme der Arbeitsmärkte, der sozialen Sicherungssysteme und auf gesellschaftliche Fehlentwicklungen hinweisen. Sie rufen dazu auf, Reformen vorzunehmen, die ohnehin anstehen.

Von Migranten kann gefordert werden, sich sprachliches und gesellschaftliches Grundwissen anzueignen, denn nur dann sind die Erfolgspotenziale von Wanderungen einzulösen. Allerdings setzt das voraus, dass die Integration von Migranten der ersten und zweiten Generation auch gefördert wird. Hier sind gesellschaftliche Bildungs- und Ausbildungsanstrengungen nötig: Migranten brauchen Sprachkurse, und sie brauchen Erklärungen, wie das Leben in Deutschland funktioniert.

### Offene Fragen

Ost-West-Wanderungen sind ein Teil internationaler Migrationen, und bei diesen stellt man fest, dass Menschen immer häufiger zwischen ihrer Heimat und dem Gastland hin und her wandern. Könnte dies künftig auch die Migrationsszene zwischen Ost und West bestimmen?

Über die globalen Tendenzen der Ost-West-Wanderungen ist weitaus mehr bekannt als über die regionalen. Viele Fragen stehen hier auf der Forschungsagenda. Um nur einige zu nennen: Werden die Migranten aus Osteuropa den Bedürfnissen regionaler Arbeitsmärkte entspre-



**VW-Werk in Poznan/Polen – die meisten osteuropäischen Länder weisen einen hohen allgemeinen Bildungsstandard auf.**  
(Foto agenda/Michael Kottmeier)

chen? Kann beispielsweise eine Region wie Bayern im Wettbewerb um die qualifiziertesten Migranten bestehen? Wird sich aufgrund der Grenzsituation zu Osteuropa eine spezifische Form der Arbeitsmigration herausbilden, und welche Folgen wird diese gegebenenfalls haben? Finden sich die osteuropäischen Zuwanderer in Migrantengemeinschaften zusammen, und werden sie mit der einheimischen Bevölkerung in Dialog oder Konflikt stehen? Entwickelt sich ein neuer Typus des transnationalen Migranten, der in Deutschland und im Herkunftsland zu Hause ist?

Das sind nur einige der Fragen, mit denen sich die Migrationsforschung beschäftigen wird. Mit ihrer Beantwortung leistet sie einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung gesellschaftlicher Probleme.

### Migrationsforschung im Aufbruch

Die Forschungsbereiche Migration und Integration werden für Deutschland zunehmend relevant. Im Rahmen der Osterweiterung ist Zuwanderung zu erwarten. Die Integration von Migranten, die in den sechziger Jahren als Arbeitskräfte kamen, ist noch lange nicht zufriedenstellend

---

**Dr. phil. Barbara Dietz** (geb. 1949) ist Diplom-Volkswirtin und als Wissenschaftlerin im Osteuropa-Institut München tätig. Sie arbeitet mit ihren Forschungsschwerpunkten Migration und Integration im Forschungsverbund Ost- und Südosteuropa FOROST mit. Diese Forschungsschwerpunkte beschäftigen sich mit Fragen der Ost-West-Migration und mit Untersuchungen zur Integration von Migranten aus Osteuropa und der vormaligen Sowjetunion in Deutschland.

---

gelöst. Es leben Aussiedler in Deutschland, Kontingentflüchtlinge und Asylbewerber. Gerade bei der Gruppe der Aussiedler wurden erfolgreiche Integrationskonzepte erprobt. Bei vielen anderen Migranten stehen Integrationsbemühungen erst am Anfang.

### Positionierung einer eigenständigen Disziplin

Was kann Migrations- und Integrationsforschung in diesem Zusammenhang leisten? Sie erklärt internationale Wanderungen, prognostiziert künftige Trends und sie findet heraus, wie sich Immigranten in die neue Gesellschaft integrieren. Sie stellt das nötige Wissen für politische Entscheidungen. Da sich diese Disziplinen in der deutschen Forschungslandschaft aber erst allmählich etablieren, besteht jetzt die Chance, innovative Zeichen zu setzen. Es gilt, die schon bestehende Forschung im Hinblick auf herausragende Leistungen zu evaluieren, vielversprechende Ansätze zu ermutigen und zu koordinieren. Migrations- und Integrationsforschung sollte sich als eigenständige Disziplin konstituieren, ohne ihren interdisziplinären Charakter aufzugeben.

● Besonders fruchtbar wird es sein, Grundlagenforschung und Theoriebildung auf dem Gebiet der Migration und Integration zu fördern. Hier lassen sich neue Erkenntnisse gewinnen, die richtungsweisend für die nationale und internationale Forschung sein können.

- Auch die Lehre in den Bereichen Migration und Integration ist noch zu wenig ausgeprägt. Wissen im Bereich der internationalen Migration und noch mehr im Bereich der Integration bzw. der interkulturellen Begegnung werden Schlüsselkompetenzen für Politik und Wirtschaft, aber auch für Sozial- und Lehrberufe im neuen Jahrtausend sein.
- Universitäre und außeruniversitäre Forschung muss zum Dialog mit der Praxis, zur Politikberatung und Öffentlichkeitsarbeit bereit sein. Hier geht es darum, Fragen aus der Wirtschaft, der Politik, der Verwaltung, der Sozialarbeit, aber auch aus der Öffentlichkeit aufzunehmen. Migrations- und Integrationsforschung sollte politikrelevante Maßnahmen bewerten und Methoden zur Integration von Zuwanderern entwickeln.

Mit einer derart ausgebauten – interdisziplinär und international – agierenden Migrations- und Integrationsforschung wird Deutschland in der Lage sein, sich den wissenschaftlichen, aber auch den praktischen und politischen Anforderungen in einer globaler werdenden Welt nach der Osterweiterung zu stellen.

# EU-OSTERWEITERUNG UND TRANSFORMATIONSÖKONOMIE



Christa Hainz

**Was bedeutet die Osterweiterung für die EU-Staaten, für die Beitrittskandidaten und für die neuen Nachbarn der erweiterten EU? Mit dem Systemwechsel von der Planwirtschaft zur Marktwirtschaft in den osteuropäischen Staaten ergab sich auch ein gesellschaftlicher Umbruch. Die Beitrittskandidaten für die Osterweiterung der EU stehen unter einem ungeheuren Druck, sich schnell in das funktionierende marktwirtschaftliche System der EU-Länder zu integrieren. Neue Fragen und absehbare Probleme entstehen, ausgehend von der spezifischen wirtschaftlichen, politischen und geografischen Situation der Länder. Die junge Wissenschaft „Transformationsökonomie“ nimmt das Thema aus unterschiedlichen Perspektiven auf.**

**D**er Systemwechsel von der Planwirtschaft zur Marktwirtschaft (Transformation) in Mittel- und Osteuropa im Jahr 1989 führte auch zum Zusammenbruch der alten bipolaren Weltordnung, die bis dahin über Jahrzehnte das politische und wirtschaftliche Handeln bestimmte.

## Östliche Wirtschaftsordnung im Wandel

Seit dem Fall des Eisernen Vorhangs wurden nicht nur vielfältige neue Beziehungen zwischen Ost und West möglich, vielmehr erfasst der Prozess der Globalisierung die gesamte Welt. Die Länder in Mittel- und Osteuropa haben sich während der vergangenen Dekade sowohl wirtschaftlich als auch politisch fundamental verändert.

Die mittel- und osteuropäischen Länder wandten sich von der Planwirtschaft hin zu einem marktwirtschaftlichen System. Mit dem wirtschaftlichen Systemwechsel vollzog sich auch in den Gesellschaften ein dramatischer Wandel, der auch gut zehn Jahre nach seinem Beginn noch nicht abgeschlossen ist.

## Ein neues Forschungsgebiet entsteht

Die „Osteuropa-Forscher“, die sich vor allem mit den Problemen planwirtschaftlicher Systeme auseinandersetzen, beobachteten den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandel (Transformation) der Planwirtschaftsstaaten mit wachsender Spannung. Das Forschungsinteresse

richtete sich völlig neu aus: Auf dem Gebiet der Wirtschaftswissenschaften wurde die Transformationsökonomie aus der Taufe gehoben. Die Transformationsökonomie analysiert die Fragen, die mit dem wirtschaftlichen Systemwechsel einhergehen. Sie reichen von einer Betrachtung der institutionellen Rahmenbedingungen über außenwirtschaftliche und makroökonomische Fragen bis zur gesamten Bandbreite mikroökonomischer Probleme.

## Perspektiven der Transformationsländer

Ausgehend von der spezifischen wirtschaftlich-politischen und geografischen Situation der Länder unterscheidet die Transformationsökonomie zwischen Ländern, die in den nächsten zehn Jahren der Europäischen Union beitreten werden, den neuen Nachbarn der erweiterten Europäischen Union und den kaukasischen und zentralasiatischen Staaten. Jede dieser Regionen wird mit unterschiedlichen Problemen zu kämpfen haben und sich unterschiedlich entwickeln.

## Wirtschaftlicher Wandel bei den EU-Beitrittskandidaten

Die Beitrittsländer werden nach den derzeitigen Plänen etwa 2005/06 der Europäischen Union beitreten. In einem sehr optimistischen Szenario werden sie bis 2012 vollständig in die Europäische Union integriert sein und sich mit hohem Tempo dem EU-Durchschnitt nähern. Außerdem gehören sie bis dahin der Europäischen Währungsunion

## EU-Osterweiterung und Transformationsökonomie

an. Dieses Szenario könnte auch als Planübererfüllung angesehen werden.

Realistischer erscheint jedoch, dass sich die bereits absehbaren Schwierigkeiten auch einstellen werden. Aus der Planwirtschaft haben diese Volkswirtschaften strukturelle Defizite „geerbt“, und die Integration in ein funktionierendes marktwirtschaftliches System löst in den Beitrittsländern einen erheblichen Anpassungsdruck aus. Das Ergebnis ist ungewiss. Ökonomisch ist zu wünschen, die Wirtschaftsstruktur möglichst schnell den marktwirtschaftlichen Erfordernissen anzupassen. Durch den politischen Druck, der sich aus dem

schnellen Strukturwandel verbunden mit dem Niedergang ganzer Sektoren und der daraus resultierenden Arbeitslosigkeit ergibt, wird das Ergebnis voraussichtlich anders aussehen. Diese mehr oder weniger zügige Anpassung wird wichtige Rückwirkungen auf die Europäische Union und die Solidarität mit den Beitrittsländern haben. Ganz besonders, wenn die neuen Mitgliedsländer den Euro einführen.

### Die neuen Nachbarn der Europäischen Union

Zu den neuen Nachbarn der erweiterten Europäischen Union werden Russland, die Ukraine, Moldawien,

einige kleinere osteuropäische Staaten sowie einige Balkanstaaten gehören. Zwischen ihnen und der erweiterten Union wird sich ein neues Verhältnis einstellen. Bisher kam es infolge der Erweiterung immer zu einer intensiveren Zusammenarbeit mit den jeweils neuen Nachbarn, wie sich nach dem Fall der Mauer zeigte: Ein intensivierter Handel, neue Spezialisierungsmuster in der Produktion und verstärkte Wanderungen der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital waren die Folge. Entsprechende Abkommen mit der Europäischen Union unterstützten die Annäherung. Eine ähnliche Entwicklung ist für die weiter östlich gelegenen Länder sowie für zahlreiche Balkanländer zu erwarten – vorausgesetzt, die Integration der Beitrittsländer in die EU gelingt.

### Kaukasien und die zentralasiatischen Länder

Für die kaukasischen und zentralasiatischen Länder ist die Vorausschau am unsichersten. Zentralasien ist nach den Terroranschlägen für kurze Zeit stärker in unser Bewusstsein gerückt. Diese Region bleibt auch weiterhin konfliktträchtig, obwohl sich manche der ursächlichen Probleme durch die Unterstützung des wirtschaftlichen Um- und Aufbaus lösen lassen. Allerdings gibt es kaum Experten, die die ökonomische Lage wirklich gut beurteilen können, denn die wirtschaftliche und politische Verflechtung in dieser Region ist nahezu unentwirrbar wie auch in den meisten Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion.



**Sofia 1999 – Die Länder in Mittel- und Osteuropa haben sich während der vergangenen Dekade sowohl wirtschaftlich als auch politisch fundamental verändert.**

(Foto agenda/Jörg Bötling)



### Herausforderung für die Transformationsökonomie

Die Transformationsökonomie als junge Wissenschaft steht vor vielen neuen Fragestellungen, die die rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen der Transformationsstaaten aber auch der bestehenden EU-Länder betreffen.

● **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Was verzögert den Aufbau der wichtigen Institutionen (Gerichte, Bankrottgesetze usw.)? Wie kann der Prozess (durch die EU) unterstützt werden? Welchen Einfluss haben die informellen Mechanismen, die sich in der Zeit des politischen und institutionellen Vakuums herausgebildet haben?

● **Wirtschaftliche Fragestellungen:** Wie kann man einen geordneten Rückzug aus der Währungsanbindung an den US-Dollar oder Euro organisieren? Welche Rückwirkungen hat die Euro-Einführung in den Beitrittsländern für die jetzigen Mitglieder der EU? Welche Faktoren bestimmen die Attraktivität einer Region für ausländische Direktinvestoren? Können die Börsen und die Devisenmärkte den freien Zufluss von ausländischem Kapital verkraften? Sollen die Beitrittsländer bei der Regulierung des Bankensektors die EU-Standards unverändert übernehmen?

● **Fragen aus der politisch-gesellschaftlichen Entwicklung:** Wie könnten die sozialen Probleme durch Arbeitslosigkeit und Armut, die sich in den letzten zehn Jahren verschärft haben, überwunden werden? Wie



**VW-Werk in Poznan, Polen – Mittel- und Osteuropa sind zu einem attraktiven Standort für ausländische Direktinvestitionen geworden.** (Foto agenda/Michael Kottmeier)

viele Menschen werden durch die langsame wirtschaftliche Erholung die Entscheidung treffen, nach Westeuropa zu migrieren? Welche Auswirkungen hat eine erhöhte Migration auf die Arbeitsmärkte der bestehenden EU-Länder? Wie hoch ist die Gefahr, dass nicht-demokratische politische Kräfte, zum Beispiel die Oligarchen in Russland, ihre wirtschaftliche Stärke ausnutzen, um die politische Macht zu ergreifen?

### Chancen und Herausforderungen für die europäische Wirtschaft

Für die europäische Wirtschaft ergeben sich aus dem Wandel in den Transformationsländern neue Chancen und Herausforderungen. Viele Unternehmen haben sich die neuen Absatzmärkte in den geografisch nahen Regionen bereits sehr gut er-

schlossen. Für weiter entfernte Länder, aber auch für Staaten, in denen die marktwirtschaftlichen Reformen noch nicht so weit fortgeschritten sind, gibt es beachtliches Potenzial. Speziell für die vom Krieg zerstörten Balkanstaaten, aber auch für die zentralasiatischen und kaukasischen Staaten wird in Zukunft umfangreiche Unterstützung durch die westlichen Industrienationen nötig sein. Hieraus können sich interessante Möglichkeiten für die Unternehmen in Europa ergeben.

---

Die **Diplom-Volkswirtin Christa Hainz** (geb. 1968) ist im Seminar für Komparative Wirtschaftsforschung der Ludwig-Maximilians-Universität München und als Wissenschaftlerin im Forschungsverbund Ost- und Südosteuropa FOROST tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Transformationsökonomie, Unternehmensfinanzierung und -kontrolle und die Rolle der Banken in Osteuropa.

---

Die Direktinvestitionen in den Transformationsländern steigen weiter an, auch die Banken werden ihre Präsenz vor Ort verstärken. Die jüngste Schiefelage der Schmidt-Bank, teilweise verursacht durch das Engagement in Ostdeutschland, zeigt jedoch, wie schwierig es für viele Unternehmen ist, die wirtschaftliche Situation einzuschätzen, die zudem in den Transformationsländern deutlich risikoreicher als im Westen erscheint. Für die Unternehmen, die ihr Engagement in den Beitrittsländern ausweiten wollen, sinken die bürokratischen Hürden im Zuge der Osterweiterung.

Im Gegenzug erwarten die Unternehmen aus den Beitrittsländern dieselben Freiheiten in der EU. Vor allem die Niederlassungsfreiheit für Dienstleistungs- und Handwerksbetriebe wird die Wettbewerbssituation in zahlreichen Branchen verschärfen. Grenznahe Regionen, auch Bayern, werden diese Entwicklung besonders deutlich spüren. Der einzelne Bürger wird durch die wirtschaftliche Entwicklung, aber möglicherweise auch durch die Migration von der Osterweiterung betroffen sein. Andere Veränderungen, wie die der Reform der Institutionen der Europäischen Union, bleiben hingegen eher abstrakt.

### Transformierte Transformationsforschung

Die Wissenschaftler sind bestrebt, den Wandel in den Transformationsstaaten aus den unterschiedlichen Perspektiven ganzheitlich zu erfassen, die Probleme zu verstehen und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Immer stärker tritt dabei die Notwendigkeit zutage, Fachkenntnisse mit dem Wissen über die Besonderheiten einer Region zu verknüpfen. Die Transformationsökonomie nimmt die unterschiedlichen Fragestellungen auf und gewinnt zweifelsohne an Bedeutung.

München als das traditionsreiche Zentrum der Osteuropa-Forschung räumt der Transformationsökonomie eine zentrale Stellung ein, um auch künftig international anerkannte Forschungsbeiträge zu liefern und im Rahmen der Politikberatung den wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Wandel der östlichen Staaten zu begleiten.

Wünschenswert wäre die Einrichtung eines „Kompetenzzentrums Transformationsländer“, das Unternehmen über die Chancen und Risiken in den Transformationsländern informiert und berät.



# GLOBALISIERUNG ALS HERAUSFORDERUNG



Horst Kopp

**Voneinander lernen! Die Verknappung endlicher Ressourcen zwingt zum nachhaltigen Umgang damit. Die angebotenen technischen Lösungen – vorwiegend aus dem Westen – sind geprägt durch den speziellen kulturellen Hintergrund der Entwickler. Globalisierung führt zu immer stärkerer Mobilität von Gütern, Ideen und Menschen. Dabei stehen sich Gesellschaften, die auf inneren sozialen Ausgleich bedacht sind, und kognitive, auf individuelle Freiheit orientierte Gesellschaften gegenüber. Die Weltgesellschaft wird bestimmt von der „Macht des Stärkeren“, d.h. vom Streben nach der Verfügungsgewalt über materielle, geistige und menschliche Ressourcen. Es wäre utopisch, an eine Auflösung dieses Strebens zu glauben. Welche Arten der friedlichen Konfliktlösung stellen die Weltkulturen bereit?**

**Technisch sind Märkte und Kontinente nur noch wenige Flugstunden voneinander entfernt. Zwischen dem Verständnis der Kulturen sind es oft noch Welten.**  
(Foto MEV)

**D**ie Geographie ist eine ausgesprochene „Querschnittswissenschaft“. Sie analysiert komplexe Mensch-Umwelt-Beziehungen mit naturwissenschaftlichen und kulturwissenschaftlichen Methoden, doch gelingt es ihr bisher noch nicht überzeugend, diese beiden Ansätze kohärent zu verbinden. Zwar gibt es sachbezogene Lösungsvorschläge – so z.B. die Humanökologie –, doch bleibt stets das ungelöste Problem des Nebeneinanders von naturwissenschaftlicher Eindeutigkeit und geisteswissenschaftlicher Vielfalt. Auch ein „Raumbezug“ im Sinne komplexer „Area Studies“ hilft hier nicht weiter. Daran wird sich auch in den nächsten zehn Jahren nichts ändern.

## **Schlüsselfach Kulturgeographie**

Die Kulturgeographie wird sich in der kommenden Dekade aber sicher zu einem Schlüsselfach für die Lösung von konkreten Zukunftsproblemen entwickeln. Diese Probleme (Ressourcenverknappung und Bevölkerungswachstum, „menschengemachter“ Klimawandel, zunehmende Unterschiede in der Verteilung des Reichtums) sind alle vor dem Hintergrund fortschreitender Globalisierung zu sehen. Sie werden immer komplexer, und in ihnen spielen kulturelle Aspekte eine immer bedeutendere Rolle. Die Geographie kann hier mit ihren analytischen (Systemforschung), synthetischen (Regional- bzw. Kulturkompetenz) und ange-



## Globalisierung als Herausforderung

wandten Fähigkeiten aufwarten. Besonders auf drei Feldern sehe ich neue Aufgaben für die Kulturgeographie:

### Ressourcen-Management und Kulturen

Die Verknappung endlicher Ressourcen zwingt zum nachhaltigen Umgang damit. Technischer Fortschritt stellt Lösungen dafür bereit, doch stammen die „Rezepte“ stets aus „dem Westen“. Sie sind geprägt durch den speziellen kulturellen Hintergrund, unbewusst tradierten normativen Leitbildern wie „individuelle Freiheit“ bzw. „Entwicklung = Fortschritt = Verbesserung“ oder „Fortschritt = Lösung vom Naturzwang“. Es stellen sich deshalb folgende Fragen:

- Wie gestaltet sich das Mensch-Umwelt-Verhältnis in Gesellschaften unterschiedlicher kultureller Tradition? Gilt überall unser alttestamentarisches Credo „Macht Euch die Erde untertan!“? Wo gibt es angepasste, nachhaltige Formen der Ressourcennutzung? Welche philosophischen Grundpositionen bestimmen das Mensch-Umwelt-Verhältnis in verschiedenen Kulturen?
- Welche Rolle spielen Umwelt-Erfahrungen in der Ausgestaltung kultureller Traditionen? Haben Gesellschaften in Regionen unterschiedlichen Gefahrenpotentials unterschiedliche Einstellungen zur Natur entwickelt?
- Welche Lehren können daraus für die Erreichung ökonomischer, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit

- gezogen werden? Müssen Nachhaltigkeitskonzepte nicht besser regional adaptiert entwickelt werden?
- Wie flexibel bzw. lernfähig sind Gesellschaften in Bezug auf den Umgang mit technischem Fortschritt? Wird technischer Fortschritt als Chance oder als Bedrohung gesehen? Gibt es Entwicklung auch ohne technischen Fortschritt?
- Welche ethischen Grundpositionen stellen Religionen / Ideologien für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen bereit? Gibt es einen Fundus kulturübergreifender ethischer Positionen („Weltethos“ als Basis globaler Menschenrechte), der nachhaltige Ressourcennutzung fördert? Muss „Wettbewerb“ immer nur im Darwinschen Sinne als „survival of the fittest“ praktiziert werden?
- Wie stellt sich das Spannungsfeld zwischen technischem Fortschritt, nachhaltiger Entwicklung und kulturellem Erbe dar? Ist unser abendländisches Entwicklungsparadigma „technischer Fortschritt = quantitatives Wirtschaftswachstum = Entwicklung“ im Sinne der Nachhaltigkeit zukunftsfähig? Welche alternativen Modelle gibt es möglicherweise?

### Westliche Muster für die ganze Welt?

Die Übernahme westlicher Produktions- und Konsummuster führt (im Zuge der Globalisierung) in Gesellschaften anderer kultureller Tradition zwar oft zu raschem Wirtschaftswachstum (China, Südostasien), aber auch zu steigenden gesellschaftli-



**Landwirtschaft in Bosnien-Herzegowina – wie stellt sich das Spannungsfeld zwischen technischem Fortschritt, nachhaltiger Entwicklung und kulturellem Erbe dar? ...**  
(Foto agenda/Michael Kottmeier)



chen Spannungen und Disparitäten sowie zum Raubbau an Ressourcen. Nur eine adaptierte Fassung unserer Grundwerte führt in anderen Kulturräumen zu nachhaltigem Umgang mit Ressourcen – und dazu zählen auch die „human resources“. Umgekehrt sollten wir uns fragen, ob z.B. der Harmoniegedanke in asiatischen Kulturen Aspekte enthält, die wir in unsere Grundpositionen einbauen können.

Das Agenda 21-Konzept auf lokaler Ebene zeigt, dass einerseits zwar erkannt wird, wie wichtig lokale und damit jeweils kulturangepasste Strategien sind, dass diese aber permanent konterkariert werden durch „globale Kräfte des Marktes“. Erst wenn es gelingt, auch für globale (oder wenigstens großräumige) Entwicklungen kulturangepasste Strategien zu finden, werden lokale Prozesse erfolgreich sein können im Sinne der Nachhaltigkeit.

### Kulturelle Vielfalt auf engem Raum

Globalisierung führt zu immer stärkerer Mobilität von Gütern, Ideen und Menschen. Die Dynamik kulturellen Wandels nimmt zu, multikulturelles Nebeneinander und Miteinander (auch auf engem Raum) wird zur Normalität in einer „neuen Weltordnung“. Immer deutlicher stehen dabei (sehr verallgemeinernd) mehr normativ – auf sozialen Ausgleich orientierte – Gesellschaften den mehr kognitiv – auf individuelle Freiheit orientierten – Gesellschaften gegenüber. Bisher werden solche Gegensätze einfach nur als „Fremdsein“



... Ist unser abendländisches Entwicklungsparadigma „technischer Fortschritt = quantitatives Wirtschaftswachstum = Entwicklung“ im Sinne der Nachhaltigkeit zukunftsfähig? Skyline von Frankfurt am Main (Foto MEV)

wahrgenommen, da sie im Unterbewusstsein verankert sind. In einer globalisierten Welt besteht zu einer jeweils „fremden“ Kultur aber immer weniger räumliche Distanz, es kommt zu dynamisch verlaufenden Mischprozessen. Daraus entstehen folgende Fragen:

- Was können die Menschen der beiden Gesellschaftstypen voneinander lernen und wie lassen sich Kompromisse finden für ein spannungsfreies Zusammenleben? Welche Rolle können intrakulturelle Netzwerke für interkulturellen Austausch / Dialog spielen?
- Kann kulturelle Eigenart als individuelle (Raum-) Erfahrung und grundlegende Identitätsquelle unter den

neuen Bedingungen überhaupt erhalten bleiben? Was schafft in multikulturellen Gesellschaften Identität? Welche gemeinsamen Leitbilder und philosophischen Grundlagen gibt es konkret in multikulturellen Gesellschaften?

- Welche Rolle spielt räumliche Bindung für das Funktionieren von Netzwerken? Übernimmt „Transkulturalität“ mit multilokaler Verortung die bisherige „Heimat“-Funktion? Zeichnen sich in der fragmentierten, multikulturellen Zukunftswelt Lebensstile ab, die zu neuen, spannungsarmen Mustern im Zusammenleben führen?

In unserer Gesellschaft wird die Integrationsaufgabe immer dringender.

## Globalisierung als Herausforderung



**Die Übernahme westlicher Produktions- und Konsummuster führt im Zuge der Globalisierung in Gesellschaften anderer kultureller Tradition zwar oft zu raschem Wirtschaftswachstum, aber auch zu steigenden gesellschaftlichen Spannungen und Disparitäten**  
(Foto MEV)

Wir wissen aber noch viel zu wenig über das Normen- und Wertesystem, über die Netzwerke und Lebensinhalte der bei uns lebenden Ausländer. Forschungen zum „Ethnic Business“, zu den Lebensstilen, zu Kontaktmustern und zu Fragen der Bildung raumbezogener Identität können dazu beitragen, Integration erfolgreich, d.h. im Sinne beider Seiten, zu gestalten.

Umgekehrt lässt sich Forschung über Diaspora-Situationen von Deutschen im Ausland unter dem Stichwort „Netzwerkforschung“ einbinden in allgemeinere Fragestellungen, die untersuchen, wie multikulturelle Netzwerke entstehen und funktionieren. Hieraus lassen sich ganz konkrete Schlüsse ziehen und Anregungen ableiten für das Agieren von Expatriates bei interkulturellen Unternehmenskooperationen.

### Ressourcen, Macht und Gerechtigkeit

Die Weltgesellschaft wird bestimmt von der „Macht des Stärkeren“, d.h. vom Streben nach der Verfügungsgewalt über materielle, geistige und menschliche Ressourcen. Es wäre utopisch, an eine Auflösung dieses Strebens zu glauben. Und damit sind Konflikte aller Art auch weiterhin wohl nicht zu vermeiden. Gleichzeitig müssen wir aber feststellen, dass uns heute Waffen zur Verfügung stehen, die binnen kurzem das Auslösen der gesamten Menschheit bewirken und außerdem unsere hochtechnisierte Welt immer verletzlicher wird gegenüber „kleinen Eingriffen“ (Cyber-Krieg, Terror) – und auch dies mit globalen Folgen. Deshalb muss sich die Konfliktforschung verstärkt um die Beantwortung folgender Fragen bemühen:

- Welche Arten der friedlichen Konfliktlösung stellen die Weltkulturen bereit? Wie werden dabei die Interessen beider Parteien berücksichtigt – oder gilt überall nur „das Recht des Stärkeren“?
- Lassen sich solche Strategien friedlicher Konfliktlösung auf anders geartete Konflikte und andere Kulturen übertragen?
- Wie gehen mehr normativ geprägte Gesellschaften mit Machtfragen um? Welche Einstellungen zur Toleranz herrschen vor? Gibt es Mechanismen des sozialen Ausgleichs?
- Was können mehr kognitiv geprägte Gesellschaften daraus lernen?
- Wie lassen sich technischer Fortschritt und wirtschaftliches Wachstum mit dem Problem der Gerechtigkeit in Einklang bringen? Ist die „Sozialbindung des Eigentums“ auf die „Weltgesellschaft“ übertragbar? Kofi Annan hat auf dem Weltwirtschaftsgipfel mehr Gerechtigkeit für die Welt gefordert. Besonders „die Wirtschaft“ solle sich mehr um den Ausgleich zwischen der ersten und der dritten Welt bemühen. Liberalisierungsprozesse waren bei der Globalisierung bisher viel zu wenig begleitet von Maßnahmen des Interessenausgleichs (vor allem in Bezug auf die Ressourcen), was letztlich zu mehr und nicht zu weniger Spannungen führte. Für die Forschung muss deshalb die Vision einer gerechteren Welt zum ethischen Leitbild werden. Die Art von Machtausübung im globalen Maßstab ist letztlich Spiegelbild innergesellschaftlicher kultureller Traditionen und damit Ausdruck unbewusst gelebter Normen und Wer-



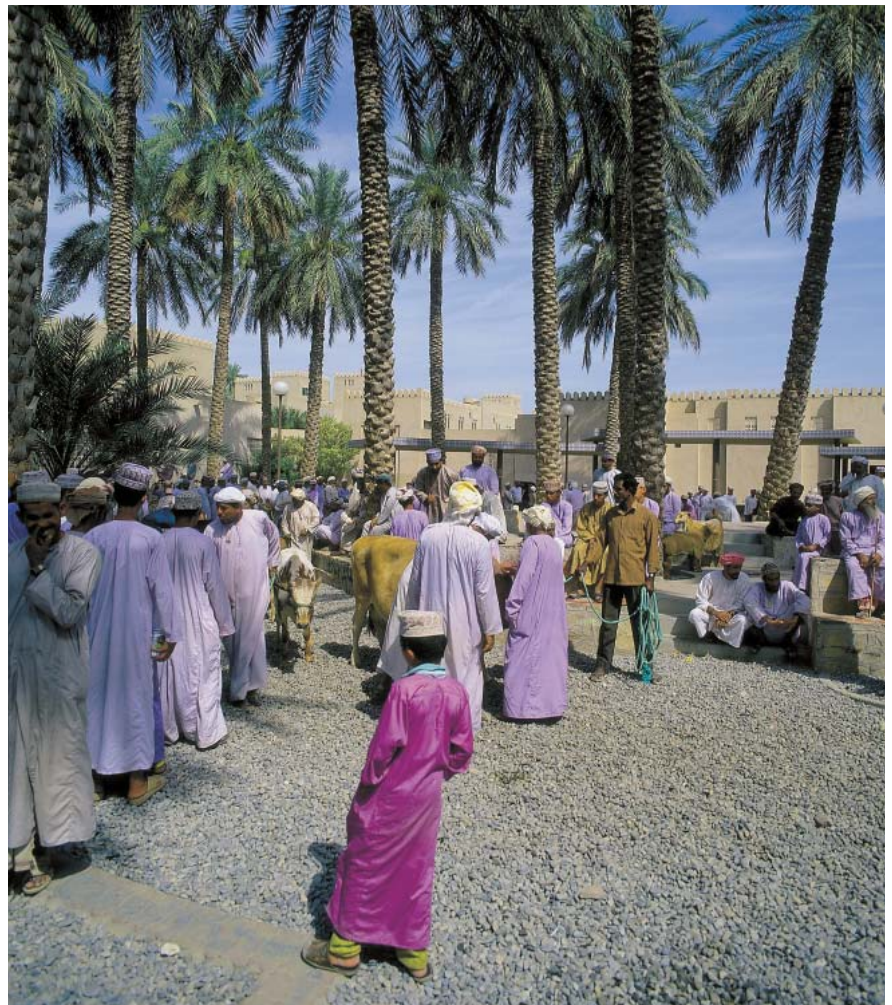
te („Am deutschen Wesen soll die Welt genesen“ oder „American way of life“). Eine bewusstere Reflexion über solche Normen und Werte und ein Lernen von Anderen kann (vielleicht) zu einer Änderung des globalen Zusammenlebens im Sinne friedlicher Konfliktlösungsstrategien führen.

### Herausforderungen für die Wissenschaft

All diese vielfach ineinander greifenden Fragen lassen sich nur interdisziplinär beantworten. Neben der Geographie, die primär raumbezogene Probleme aufgreift, sind dafür vor allem Soziologie, Ethnologie, Philosophie, Religions-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften notwendig. Ich sehe also den dringenden Bedarf einer engen Verbindung dieser Wissenschaften zu neuen „Clustern“, die über die bisherigen „Area Studies“ hinausgehen und mehr die vergleichenden Aspekte verschiedener Weltkulturen betonen. Der Geographie kommt dabei aus zwei Gründen eine zentrale Rolle zu:

- Das Fach mit seiner systemtheoretischen Fundierung und ausgesprochen integrativen Sichtweise ist besonders geeignet, komplexe Phänomene mit einer Vielfalt von Methoden zu analysieren.
- Alle genannten Fragen haben auch eine räumliche Dimension, d.h. eine konkrete Verortung auf der Erde. Der Raumbezug eignet sich also als gemeinsame empirische Basis der aufgezeigten Probleme.

Lange Zeit wurde argumentiert, das Zusammenwachsen der Welt



**Tiermarkt im Oman – Wie werden die Weltkulturen künftig miteinander umgehen? Werden die verschiedenen Interessen wechselseitig berücksichtigt – oder gilt überall nur „das Recht des Stärkeren“? (Foto MEV)**

zum „globalen Dorf“ aufgrund von globaler Kommunikation in „Echtzeit“ habe zum „Verschwinden des Raums“ und damit zum „Ende der Geographie“ geführt. Amerikanische Universitäten schafften vor 40 Jahren die Geographie ab – und entdecken sie jetzt neu, weil sich die Erkenntnis durchsetzt, dass die globalisierte und vernetzte Welt ein ge-

schlossenes Raumsystem ist, in dem keine Ursache ohne Wirkung bleibt. Sogar die „Wirtschaftswochen“ schrieb neulich (und meint damit die Bildungsaufgabe der Geographie): „Eine Gesellschaft, die keine Ahnung vom Raum hat, tappt im globalen Dorf fast noch dümmer herum als eine, die nicht richtig lesen und schreiben kann.“

---

**Prof. Dr. Horst Kopp** (geb. 1943) ist Inhaber des Lehrstuhls für Kulturgeographie und Orientforschung an der Universität Erlangen-Nürnberg und Sprecher des Bayerischen Forschungsverbundes Area-Studies forarea. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Wirtschaftsentwicklung im Vorderen Orient, Tourismus und die Wasserproblematik.

---

In zehn Jahren wird sicher auch in Politik, Verwaltung und Wirtschaft deutlicher als jetzt erkannt werden, wie wichtig eine „Querschnittswissenschaft“ für die Analyse und für die Entwicklung von Lösungen komplexer Probleme ist. Die Geographie mit ihren vielen „freien Valenzen“ zu Nebenfächern eignet sich in besonderer Weise dazu, Aufgaben der Koordination, der Moderation und Mediation sowie komplexer Logistik zu übernehmen. Dabei entfernt sich das Fach wohl immer weiter von „nur“ raumbezogenen Komplex-Themen. Die skizzierten Fragen der Grundlagenforschung werden viel mehr als bisher anwendungsorientiert ausgewertet, aufbereitet und in konkrete Beratungstätigkeit umgesetzt werden, womit sich für Studienabgänger neue gute Berufschancen eröffnen.

Die aufgezeigten Themen erfordern aber neben einer interdisziplinären vor allem auch eine internationale Zusammenarbeit, denn nur ein interkultureller Dialog der Wissenschaftler kann tatsächlich zur Lösung der Fragen beitragen. Hier ergeben sich für die deutschen Hochschulen neue Herausforderungen, aber durchaus auch große Chancen, denn auf der breiten, auch theoretisch gut abgesicherten Basis der deutschen Wissenschaftslandschaft lässt sich hervorragend aufbauen, wenn es uns gelingt, die „besten Köpfe“ hierher zu holen.

### Folgerungen für uns alle

Zunehmende Mobilität in Arbeit und Freizeit führt zu immer häufigeren interkulturellen Kontakten. Tendenziell werden wir auch hier zu Hause immer öfter mit Angehörigen anderer Kulturen zu tun haben. In diesen Begegnungen und Auseinandersetzungen mit anderen Kulturen wird die eigene Kultur, deren ständiger Wandel und deren Normensystem wohl viel bewusster als bisher wahrgenommen. Den Kulturwissenschaftlern kommt in diesem Zusammenhang eine verantwortungsvolle Aufgabe zu. Ich hoffe, dass sie dazu beitragen können, Vorurteile abzubauen und die Vorteile anderer Kulturen klarer herauszustellen.

Gerade die von Samuel Huntington ausgelöste und in der aktuellen Politik oft aufgegriffene Metapher des „Kampfes der Kulturen“ mit ihrem eindeutigen Raumbezug sollte auf diese Weise – und besonders mit den Methoden und Instrumenten einer modernen Kulturgeographie – ad absurdum geführt werden. Denn nur, wenn wir alle nach dem Motto leben „Statt alles selbst besser wissen – voneinander lernen“, können wir auch in zehn Jahren noch in einer einigermaßen friedlichen Welt leben. Und nur so kann unsere eigene Kultur überhaupt überleben.

# MEHR WISSEN AUS DIGITALEN WELTEN



Arndt Bode, Gunther Brenner,  
Franz Durst, Ulrich Rüde

**Die Kombination von Hochleistungsrechnern und neuen Simulationstechniken wird viele Wissenschaftsbereiche revolutionieren. Computer können nicht nur zur Aufbereitung von realen Daten eingesetzt werden, sondern auch zur Simulation. Die Daten aus abstrakten Kunstwelten sind häufig nützlicher als reale (Mess-) Werte. So sind in manchen Fällen Simulationsergebnisse genauer als ihre messtechnisch erfassbaren Pendanten aus der Wirklichkeit. Außerdem können durch die Nachbildung im Computer Fragen untersucht werden, die mit Daten aus der Realität nur schwer zu beantworten sind: In virtuellen Welten können schadlos ganze Sterne explodieren und den Astrophysikern so wertvolle Informationen über Supernoven liefern.**

**V**iele Entwicklungen in den Wissenschaften sind ohne Computersimulationen schon heute nicht mehr denkbar. Trotzdem steht die Disziplin noch ganz am Anfang. Ihre Auswirkungen sind nur zu einem Bruchteil absehbar. Die rechnergestützte Modellierung und Simulation, also das Forschungsgebiet Computational Science and Engineering, wird die Grundlage für die Wissenschaft der Zukunft werden. Es entsteht eine völlig neue Methodik, die Realität zu beschreiben, zu verstehen und letztlich besser zu kontrollieren.

## Mathematik ist Grundlage

Modelle in den Natur- oder Ingenieurwissenschaften werden meist mit mathematischen Gleichungen beschrieben. Bei vielen realen Systemen werden diese Gleichungen aber so kompliziert, dass sie nicht mehr

mathematisch exakt lösbar sind. Allerdings können Computer Näherungslösungen berechnen. Die Umsetzung der mathematischen Gleichungen in ausführbare Simulationsprogramme erfordert eine komplizierte und aufwändige Umformung und Aufbereitung, für die laufend neue Methoden in der Mathematik und Informatik entwickelt werden müssen. Der gigantische Rechenaufwand für diese Berechnungen erfordert speziell konstruierte Supercomputer.

## Computersimulation als universelles Werkzeug

In den kommenden zehn Jahren werden die bisher schon erfolgreichen Anwendungen der Computersimulation, wie zum Beispiel in der Struktur- und Fluidynamik oder der Meteorologie, weiter verfeinert und damit genauer und zuverlässiger

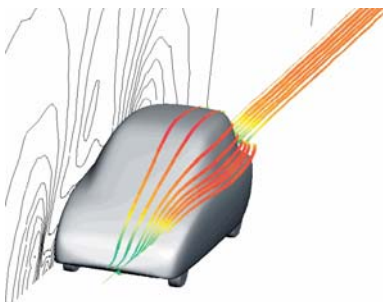
**Das Bild zeigt die Hitachi SR8000-F1/168 im Rechenraum des Leibniz Rechenzentrums München. Die Gesamtlänge der Maschine beträgt zehn Meter, die maximale Breite acht Meter.**



werden. Neue Anwendungen, zum Beispiel in den Wirtschafts- und Biowissenschaften oder der Medizin, werden erschlossen werden. Große Chancen, aber auch enorme Schwierigkeiten, stecken in der Modellierung von Multi-Physik-Phänomenen, in denen mehrere einfachere Simulationen zur Simulation eines größeren Gesamtsystems gekoppelt werden.

Interessant ist etwa die Berechnung von Strömungen mit komplexen Transportvorgängen. Beispiele hierfür sind der gekoppelte radiative und konvektive Wärmetransport in Strömungen oder komplexe chemische Reaktionen in Verbrennungs-, Synthese- oder Katalyseprozessen.

Solche Probleme treten unter anderem bei der Herstellung neuer Materialien auf. So werden in der Zukunft vielleicht Schäume aus Metall als extrem steife und leichte Werkstoffe eine große Rolle spielen,



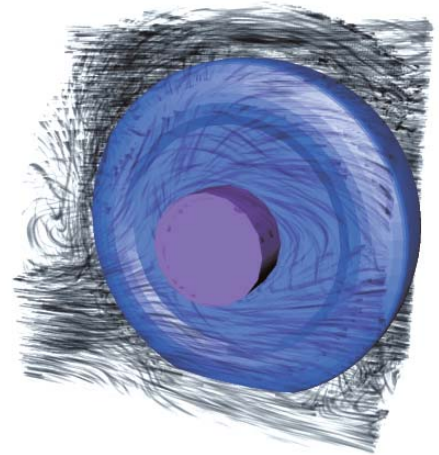
**Visualisierung der Strömung um ein PKW-Modell im Windkanal.**

wenn es gelingt, den Herstellungsprozess zu beherrschen. Die Simulation kann entscheidend dabei helfen, den Prozess zu verstehen und zu kontrollieren. Dazu müssen aber all die verschiedenen chemischen und physikalischen Prozesse im Computer korrekt modelliert werden, die beim Aufschäumen einer Metallschmelze eine Rolle spielen.

### Gekoppelte Simulation

Das größte Potenzial verspricht die Erweiterung der heutigen Simulationswerkzeuge, so dass sie als Bausteine zur Lösung noch komplexerer Aufgaben eingesetzt werden können. Kann zum Beispiel eine Simulation die Flugeigenschaften eines Flugzeugs in Abhängigkeit von Designparametern wie der Flügelform ausreichend genau berechnen, so ist es prinzipiell möglich, mit dem Rechner auch die Flugzeugkonfiguration auf spezielle Kriterien hin zu optimieren – wie etwa minimalen Treibstoffverbrauch. In absehbarer Zeit werden Simulationen von Flugmanövern unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Wechselwirkungen und der mechanischen Belastungen innerhalb der Struktur möglich sein. Auf diese Weise können riskante Flugversuche reduziert oder sogar überflüssig werden.

Bei bodengebundenen Fahrzeugen wie Autos und Zügen können gekoppelte Simulationen – neben der ständig präsenten Frage der Verbrauchsminimierung – auch auf Umwelt-, Komfort- und Sicherheitsfragen Antworten geben. So lässt sich zum Beispiel der Einfluss instationä-



**Simulation einer turbulenten Luftströmung im Inneren eines Radkastens. Direkte Volumenvisualisierung mittels 3D Line Integral Convolution (LIC).**

rer Windlasten auf die Fahrdynamik berechnen oder die strömungsinduzierte Schallemission. Diese Wechselwirkung zwischen Strömung und Akustik, wie sie zum Beispiel bei der Lärmentwicklung eines Kühlgebläses oder eines offenen Schiebedachs eine Rolle spielt, ist derzeit ein sehr interessantes Forschungsthema. Solche Probleme sehen oberflächlich betrachtet fast zu banal aus, um dahinter komplexeste Wissenschaft zu vermuten. Aber gerade bei solchen Aufgaben kann die numerische Simulation ihre Stärken ausspielen. Ist es gelungen, solch ein System mit ausreichender Genauigkeit zu simulieren, kann das Simulationsprogramm genutzt werden, um Hunderte von Varianten der Schiebedachform durchzuspielen und daraus diejenige zu finden, bei der die Lärmentwicklung am geringsten ist.





## Simulationen sparen Entwicklungskosten

Bei einer Computersimulation reicht im Prinzip ein Knopfdruck, um Daten zu erhalten, die sonst ein teures und zeitaufwändiges Experiment erfordern würden. Dies verspricht eine enorme Kostenersparnis und eine drastische Beschleunigung der Entwicklungszeiten. Computersimulationen werden Ingenieure und Wissenschaftler nicht ersetzen, wohl aber deren Arbeitsweise radikal verändern und ihnen völlig neue Möglichkeiten eröffnen.

Selbst in der Medizin und Medizintechnik spielt die numerische Simulation eine gewichtige Rolle. Heute schon alltägliche Diagnoseverfahren, wie die Computertomographie, beruhen im Kern auf einer Simulation der Röntgenstrahlen im menschlichen Körper. Als neue Technik sei die Simulation bioelektrischer Felder erwähnt. Der Computer kann elektromagnetische Felder nachbilden, die im Körper ganz natürlich entstehen, wenn etwa elektrochemische Prozesse im Gehirn stattfinden. Diese Simulation hilft, die Ursache krankhafter Veränderungen zu identifizieren. So kann zum Beispiel ein epileptisches Zentrum im Gehirn lokalisiert und dem Arzt somit wertvolle Information für die Planung eines neurochirurgischen Eingriffs geliefert werden.

## Nur zwei bis vier Superrechner in Deutschland

Technologische Voraussetzung für den Fortschritt in der Computersimulation sind die Steigerung der Re-

chenleistung und die Verfügbarkeit von Höchstleistungsrechnern für die Wissenschaften. Seit den 60er Jahren nimmt die Leistungsfähigkeit der Computer rasant zu. Etwa alle vier Jahre verzehnfachten sich Geschwindigkeit und Speicherkapazität. Dieser Trend hält bis heute an und wird sich auch in absehbarer Zeit fortsetzen.



**Blick auf die Bucht von San Francisco, einer seismisch aktiven Region.**

Die leistungsfähigsten Maschinen, heute beim Real World Computing Projekt in Japan und beim ASCI-Projekt in den USA, sind in fußballfeldgroßen Rechnerhallen untergebracht. Sie haben sehr hohe Anforderungen an Infrastruktur-Komponenten wie Leistungszuführung und Kühlung. Wegen der hohen Kosten für Gebäude, Anschaffung und Betrieb hat der Wissenschaftsrat für Deutschland 1995 und 2000 empfohlen, für die gesamte deutsche Forschung nur mehr zwei bis vier sol-

cher Maschinen zu betreiben. Sie sollen im Rhythmus von zwei bis drei Jahren erneuert werden. Eine dieser Maschinen läuft im Leibniz Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

## Software für die Software

Abgesehen von den Investitionen ist auch die Nutzung dieser Computer eine Herausforderung. Um einen Rechner mit einem Speicher von über zehn Terabyte – was der Kapazität von 100.000 handelsüblichen PCs entspricht – und fünf- bis zehntausend Prozessoren sinnvoll zu nutzen, bedarf es einer zuverlässigen und leistungsfähigen Software-Umgebung, die speziell für diese Computer entwickelt werden muss. Für die Visualisierung von Simulationsergebnissen müssen gewaltige Datenmengen aufbereitet und graphisch dargestellt werden. Dies setzt voraus, dass Computer an verschiedenen Standorten über Datenleitungen vernetzt werden, deren Bandbreite die derzeitigen Standards um Größenordnungen übertrifft.

In acht bis zehn Jahren werden Rechner zur Verfügung stehen, die hinsichtlich Verarbeitungsgeschwindigkeit und Speicherkapazität mindestens um einen Faktor 100 leistungsfähiger als heutige Geräte sind. So unglaublich dies klingt, wird doch auch mit diesen Anlagen nicht genug Rechenleistung bereit stehen, um alle Simulationsprobleme zu lösen. Auch mit hundert mal schnelleren Rechnern wird die Berechnung der turbulenten Umströmung eines kompletten Jumbo-Jets noch außer

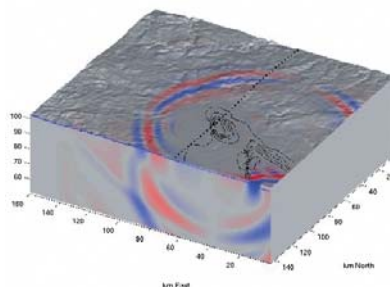
### Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Arndt Bode

(geb. 1948) leitet den Lehrstuhl für Rechner-technik und Rechnerorganisation (LRR) an der Technischen Universität München. Außerdem ist Prof. Bode Vizepräsident der TU München und Sprecher des Kompetenznetzwerks für Technisch-Wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen in Bayern KONWIHR. Seine Forschungsschwerpunkte sind: Technische Informatik, Rechnerarchitektur, parallele und verteilte Systeme, Programmierwerkzeuge, verteilte Anwendungen, Supercomputing.

**Dr.-Ing. Gunther Brenner** (geb. 1962) ist Wissenschaftler am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität Erlangen-Nürnberg und Geschäftsführer des Kompetenznetzwerks für Technisch-Wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen in Bayern KONWIHR. Seine Forschungsschwerpunkte sind Strömungsmechanik, Computational Fluid Dynamics und High Performance Computing.

**Prof. Dr. Dr. h.c. Franz Durst** (geb. 1940) ist Inhaber des Lehrstuhls für Strömungsmechanik der Universität Erlangen-Nürnberg und Forschungsgruppenleiter bei KONWIHR. Seine Forschungsschwerpunkte sind experimentelle, theoretische und numerische Strömungsmechanik.

**Prof. Dr. Ulrich Rüde** (geb. 1957) ist Inhaber des Lehrstuhls für Systemsimulation an der Universität Erlangen-Nürnberg und Forschungsgruppenleiter bei KONWIHR. Seine Forschungsschwerpunkte sind Höchstleistungsrechnen, Numerische Simulation und Computational Science and Engineering.



**Erdbebenwelle: Schnappschuss einer Erdbebenwellenausbreitung im Kölner Becken. Die Blickrichtung ist nach Süd-Osten. In der rechten unteren Bildecke sind verstärkte Effekte zu erkennen, die durch die dort vorliegende Sedimentstruktur bedingt sind.**

Reichweite bleiben. Heutige Superrechner würden für eine solche Aufgabe Jahrhunderte benötigen. Allerdings ergeben sich im Bereich der Grundlagenforschung neue Perspektiven, um die Eigenschaften der Turbulenz besser beschreiben zu können.

### Interdisziplinärer Ansatz

Spitzenleistungen im Supercomputing und der rechnergestützten Modellierung können nur erreicht werden, wenn drei Faktoren zusammenkommen: Erstens müssen die jeweils neuesten und leistungsfähigsten Maschinen zur Verfügung stehen. Zweitens muss die programmiertechnische Beherrschung dieser Maschinen durch Entwicklung neuer Informatikmethoden gewährleistet sein. Drittens müssen Mathematiker und Endanwender kontinuierlich neue Algorithmen entwickeln und implementieren. Vielen Anwendern ist nicht bewusst, dass völlig unterschiedliche Probleme die gleiche Methodik erfordern können. Die Simulation von Flüssigkeiten mit freiem Rand – wie zum Beispiel einem

Bachlauf – führt auf die gleiche Problematik wie die Berechnung von Optionswerten für den amerikanischen Aktienmarkt. Die methodische Verwandtschaft ist weder für den Ingenieur noch für den Finanzwissenschaftler nahe liegend und vielleicht für das jeweilige Fachgebiet auch gar nicht interessant. Die Brücke zu erkennen und zu nutzen ist Aufgabe der Mathematiker und Informatiker, die an der Entwicklung der Methoden, Verfahren und Software im Bereich der Computational Sciences arbeiten.

Die Gesamtaufgabe kann von einzelnen Lehrstühlen nicht geleistet werden, ebenso wenig wie von den Rechenzentren, die die Supercomputer betreiben. Bewährt haben sich interdisziplinäre Zusammenschlüsse wie der Forschungsverbund für Technisch-Wissenschaftliches Höchstleistungsrechnen FORTWIHR und das Kompetenznetzwerk für Technisch-Wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen in Bayern KONWIHR. Durch ihr frühzeitiges Engagement in dieser Thematik gehören die von der Bayerischen Staatsregierung geförderten Einrichtungen zur Spitzengruppe der internationalen Forschung.

# SOFTWARESYSTEME VON MORGEN

## Allgegenwärtige Information

Manfred Broy, Herbert Ehler, Markus Pizka, Andreas Rausch, Sascha Vogel

**In der Zukunft werden die heute vorherrschenden Einzellösungen und -anwendungen der Informatik vernetzt werden. Menschen und autonome technische Einheiten wie Fahrzeuge oder Elektrogeräte werden an jedem Ort und zu jeder Zeit auf Informationen und Dienstleistungen zugreifen können. Ob im Büro, auf Reisen, in intelligenten Gebäuden oder im Wissensmanagement – die Software bestimmt entscheidend die Qualität der verfügbaren Dienste und ihre Funktionalität.**

**W**ir befinden uns auf schneller Fahrt in Richtung Informations- und Wissensgesellschaft. Dies bedeutet, dass Informationen und informationsverarbeitende Prozesse entscheidende Erfolgsfaktoren für Wirtschaftsunternehmen werden. Die Verarbeitung der Informationen und die Verzahnung der Prozesse werden durch Software gesteuert. Damit bestimmt die Fähigkeit, unterstützende Software funktionsgerecht, schnell und kostengünstig zur Verfügung zu stellen, entscheidend die Wettbewerbsfähigkeit unserer Wirtschaft.

### Informatik als Dienstleister

In Zukunft werden aus mobiler Hardware und ausgefeilten Softwarekomponenten vernetzte Informationsdienste gebaut werden, die uns quasi allgegenwärtig umgeben werden. Zum Beispiel auf Reisen: Die Informatik wird Menschen zu jeder Zeit und an jedem Ort lokale Informationen wie Nahverkehrs-Fahrpläne oder aktuelle Informationen über Verspätungen bereitstellen können. Aber auch die Fahrzeuge selbst werden autonom auf geographische oder meteorologische Informationen

zugreifen, die ihnen zum Beispiel in Form von Leit- oder Warnsystemen angeboten werden. Ob über Handy, Taschencomputer oder PC – die Nutzung und Steuerung der Dienste wird zunehmend standort- und geräteunabhängig werden.

Zu den zukünftigen Dienstleistungen der Informatik wird ein umfassendes Dienst- und Wissensmanagement gehören. Der Nutzer der Zukunft wird nicht mehr alle Dienste selbst mühsam lokalisieren müssen. In vorausseilendem Gehorsam werden die Systeme für Unternehmen, Privatpersonen und Maschinen alle relevanten Informationen und Zusammenhänge erfassen, aufbereiten und bereitstellen. Aus den abgespeicherten Kenntnissen über die Interessen des Nutzers selbst und seinen Kontext in Zeit und Raum werden ihm Dienste und Informationen bedarfsgerecht und maßgeschneidert präsentiert.

### Leben in intelligenten Gebäuden

In unseren Wohn- und Arbeitsräumen werden Soft- und Hardware das Management übernehmen. So wird die Informatik in vernetzten Gebäuden die technische Infrastruktur



## Softwaresysteme von morgen

überwachen und regeln. Es ist durchaus denkbar, dass schon in Kürze alle Strom verbrauchenden Geräte mit einer entsprechenden Sensorik ausgerüstet und über das Stromnetz selbst vernetzt werden. Die technischen Einheiten eines Gebäudes werden miteinander kommunizieren und in der Lage sein, selbstständig Fehlerdiagnosen durchzuführen und Reparaturen einzuleiten. Darüber hinaus können die Geräte flexibel und bedarfsgerecht gesteuert werden. So kann beispielsweise die Beleuchtung eines großen Verwaltungsgebäudes automatisch den unterschiedlichen Nutzungsmodi wie Tag-, Nacht- und Wochenendbetrieb

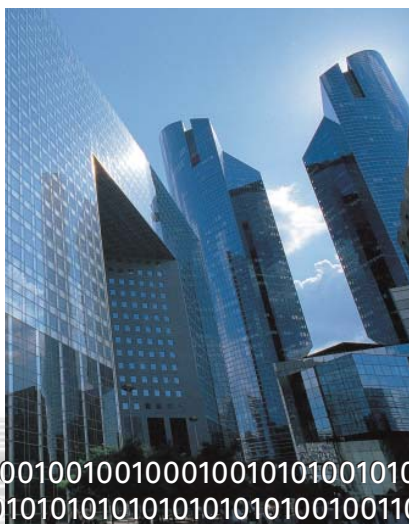
angepasst und enorm viel Energie gespart werden. Ebenso kann intelligente Software die Heizung auf individuelle Bedürfnisse einstellen, den Zugang zu Gebäuden überwachen oder Lifte steuern.

Die Softwareeigenschaften Interoperabilität und Dynamik, d.h. das Zusammenwirken unterschiedlicher Dienste und deren flexible Anpassung an sich ändernde Situationen von Diensten, erhöhen den Komfort, die Nutzungsmöglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit von Gebäuden (heute Hotel, morgen industrielle Einrichtungen, übermorgen Privatwohnung) und verbessern die Arbeitsumgebungen. Fast grenzenlos sind die Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf Bewohner mit speziellen Bedürfnissen. Man denke nur an alternde Menschen, die sich eine besondere Gesundheitsüberwachung und -versorgung wünschen. Ein anderes Beispiel sind sicherheitsempfindliche Komplexe wie Banken, Flughäfen, technische und medizinische Einrichtungen, deren sensible Infrastrukturbereiche geschützt werden müssen.

## Hardware immer kleiner, leistungsfähiger und billiger

Die sich schnell entwickelnde Informationstechnologie stellt immer mehr Konzepte und Verfahren bereit, um aus diesen Visionen Realität werden zu lassen. Ein wichtiger Prozess hierbei ist die fortschreitende Miniaturisierung der Hardware bei gleichzeitiger Steigerung der Kapazitäten und Kosteneffizienz. Es entstehen immer leistungsfähigere Prozessoren und drahtlose Netztechnologien mit enormen Bandbreiten bei gleichzeitig sinkenden Kosten. Dadurch können ständig neue, sehr rechen- und kommunikationsintensive Anwendungsfelder erschlossen werden wie Computersimulationen, Multi-Mediadienste und Steuergerätevernetzung in Autos oder Gebäuden.

Technologien, die bisher nebeneinander eingesetzt worden sind und unterschiedliche Realisierungsverfahren benutzt haben, entwickeln sich aufeinander zu. Diese Konvergenz betrifft die Rechner- und die Kommunikationstechnik in gleicher Weise wie die darauf aufbauenden Dienste und Anwendungen. Stan-





dards und Quasistandards spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Als Ergebnis ist ein riesiges, in sich verknüpftes Netz zu erwarten, in dem Sprachdienste, Datendienste und Bilddienste einschließlich bewegter Bilder flexibel zur Verfügung stehen.

### Der Kundenwunsch als Entwicklungsmotor

Bei aller Triebkraft des technischen Fortschritts: Entscheidend für die Entwicklung und den Einsatz der Informationstechnologie ist der Bedarf der Nutzer und damit des Marktes nach entsprechenden Diensten. Die Bedürfnisse des Anwenders nach Sicherheit, neuen Geschäftsfeldern, computergestütztem Management oder Veränderungen in Arbeitsorganisation und Geschäftsprozessen bestimmen in Wechselwirkung die technologische Entwicklung. In einigen Branchen wie dem Handel oder Beratungsdiensten ist die enge Integration von Informationsdiensten und die ortsunabhängige Verfügbarkeit relevanter und aufbereiteter Information ein zentraler Erfolgsfaktor. Aus der Notwendigkeit, Wettbe-

werbsvorteile zu erzielen, wird ein starker, nachhaltiger Bedarf an mobilen, hochintegrierten, proaktiven und insbesondere transparent agierenden Informationssystemen entstehen.

Menschen unterscheiden sich in ihren Vorkenntnissen, Arbeitsweisen und Bedürfnissen. Für eine optimale Unterstützung der individuellen Fähigkeiten sind personalisierte Informationssysteme erforderlich, die in Bezug auf Inhalt, Ort oder Präsentationsform an die Erfordernisse des Einzelnen angepasst sind.

### Dienste verbünden sich

Es ist zu erwarten, dass aus der bereits umfangreich vorhandenen Infrastruktur von Rechner-, Telekommunikations- und Verteilnetzen eine Plattform entsteht, auf die in vielfältiger Weise Zusatzdienste aufgesetzt werden können. Eine Schlüsselstellung nimmt die Softwaretechnik ein. Eines der wichtigen Entwicklungsziele ist die autodynamische Interoperabilität. Dies bedeutet, dass sich die in einer bestimmten Situation vorhandenen Dienste selbstständig zu ei-



---

**Prof. Dr. Manfred Broy** (geb. 1949) leitet den Lehrstuhl für Software & Systems Engineering an der Technischen Universität München und ist Sprecher des Bayerischen Forschungsverbundes Software Engineering FORSOFT. Seine Forschungsschwerpunkte sind formale und semiformale Methoden des Software & Systems Engineering.

**Dr. Herbert Ehler** (geb. 1958) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Software & Systems Engineering (Prof. Dr. M. Broy) der Technischen Universität München und Geschäftsführer des Bayerischen Forschungsverbundes Software Engineering FORSOFT. Seine Forschungsschwerpunkte sind Software Engineering sowie formale und semiformale Methoden.

**Dr. Markus Pizka** (geb. 1969) ist ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl von Prof. Broy und Projektleiter seitens der TU München für das deutsche Kompetenzzentrum für Software Engineering - ViSEK. Seine Forschungsschwerpunkte sind Software-Produktivität, Software-Wartung und Formale Sprachen.

**Dr. Andreas Rausch** (geb. 1970) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Lehrstuhl und arbeitet im Projekt ZEN von FORSOFT. Seine Forschungsschwerpunkte sind Softwarearchitekturen, komponentenbasierte Softwareentwicklung und modellbasiertes Software-Engineering.

**Sascha Vogel** (geb. 1972) arbeitet im FORSOFT-Projekt TECHNO/IGS unter der Leitung von Prof. Broy. Seine Forschungsschwerpunkte sind Softwarearchitekturen, Netzdienste und formale Methoden.

---

nem Diensteverbund zusammenschließen, sodass dem Nutzer ohne sein Zutun komplexere Dienste zur Verfügung stehen. Ein Beispiel: Ein Reisender betritt sein Hotelzimmer. Er führt einen Laptop und ein Mobiltelefon mit sich. Im Zimmer stehen ein Faxgerät, ein Drucker und ein Fernsehgerät bereit. Denkbar ist, dass sich Laptop und Mobiltelefon mit Drucker, Faxgerät und Fernseher zu einem Diensteverbund zusammenschließen. So könnten beispielsweise Informationen vom Laptop auf das Fernsehgerät übertragen werden oder der Laptop könnte Druckbefehle an den Drucker senden. Fernsehbilder könnten im Laptop abgespeichert, vom Drucker ausgegeben oder per Fax versandt werden. Sollte eines der Geräte zum Beispiel durch einen Defekt ausfallen, so bricht der Diensteverbund nicht vollständig zusammen, sondern konfiguriert sich neu. Er unterstützt den Nutzer mit der dann zur Verfügung stehenden Dienstevielfalt in optimaler Weise.

Auf dem Weg zu den Softwaresystemen der Zukunft arbeiten die Forscher heute – außer an der autodynamischen Interoperabilität – an den Aufgaben Vernetzung, Schnittstellen, (Quasi-)Standards, Vereinheitlichung, Integration, Flexibilisierung, Evolution und Softwarearchitekturen. Nur wenn es gelingt, Modelle für die vom Nutzer gewünschten Funktionen zur Verfügung zu stellen und diese auch in Programmierumgebungen abzubilden, werden die Systeme entsprechend

schnell, leistungsfähig und kostengünstig bereitgestellt werden können.

### Augenmerk auf Sicherheit

Eine besondere Schwierigkeit dabei ist das Thema Sicherheit. Allgegenwärtige Informatik erfordert natürlich weitreichende Maßnahmen, um unbefugtes Nutzen und Manipulieren von Diensten und Daten sowie Vertraulichkeit und Wahrung der Privatsphäre sicherzustellen. Sicherheitsvorkehrungen müssen homogen in den Entwicklungsansatz der Softwaretechnik integriert werden.

### Informatikwissen in allen Anwendungsfeldern verbreiten

Eine weitere Herausforderung ist die notwendige Durchdringung praktisch aller Disziplinen von Technik über Wirtschaft bis hin zum Gesundheitswesen mit Informatikwissen und Softwaretechnik in der Ausbildung und Anwendung. Es darf bei der umfangreichen Informationsinfrastruktur allerdings kein System heranwachsen, das weder wartbar noch weiterentwickelbar ist, aber doch nicht abgelöst werden kann, weil es von so zentraler Bedeutung ist. Um dieses so genannte Legacy-Problem zu verhindern, ist es zwingend erforderlich, jetzt die richtigen Weichen zu stellen und geeignete, langfristig tragfähige Technologien und Methoden bereitzustellen, um die erforderliche Flexibilität und Zukunftsorientierung unserer Informatikinfrastruktur sicherzustellen.

# MENSCHENÄHNLICHE COMPUTER IM BETRIEB



Peter Mertens

**Sinnhafte Vollautomation, so mag man die Vision der Wirtschaftsinformatik bezeichnen: Überall, wo ein informationsverarbeitendes System gleich gut oder besser als ein Mensch agiert, soll es die Funktion übernehmen, sodass immer weniger Menschen in Betrieben arbeiten müssen. Gelingt dies, können auch Gesellschaften mit einer sehr ungünstigen Altersstruktur, wie sie sich in Deutschland und in anderen Industrieländern anbahnt, wirtschaftlich überleben. Der Weg führt über menschenähnliche Computer.**

**E**s liegt im Wesen der Vision, dass sie auf lange Zeit oder vielleicht niemals erreichbar ist. Umso mehr gilt es, Etappen abzustecken. Ein Unterziel für die Wirtschaftsinformatik der Zukunft kann die menschenähnliche Informationsverarbeitung sein. Da der Mensch ein in Jahrmillionen darwinscher Prozesse ausgeprägter, guter Informationsverarbeiter ist, gilt es, ihn bedingt – nicht sklavisch – durch Informationsverarbeitungs-Systeme nachzuahmen. Als Zwischenziel kann man die menschenzugängliche Informationsverarbeitung sehen: Wenn die Menschen in einer Welt von Automaten leben, müssen sie zu diesen leichten Zugang finden, ohne vorher mit großem Aufwand ausgebildet zu werden oder gar Informatik zu studieren.

Diese Etappenziele können nur erreicht werden, wenn sich Computersysteme an Menschen anpassen oder, mit anderen Worten, Menschen gut taxieren und sich individuell auf sie einstellen. Sollen beispielsweise erklärungsbedürftige Produkte nicht von einem menschlichen Verkäufer, sondern von einem elektronischen System angeboten werden, so muss dieses den potenziellen Kunden rasch und zuverlässig mit seinen Vorlieben und Abneigungen kennen lernen, so wie es ein guter Verkäufer vermag.

## **Personalisierung und Situierung**

Der Weg dahin führt über die Personalisierung in Form der Rollen- und Benutzermodellierung sowie über

die Situierung. Der Bayerische Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik (FORWIN) führt zurzeit in Zusammenarbeit mit der Stadt Nürnberg ein Pilotprojekt zur Freizeitberatung durch. Ein geplantes Teilmodul ist die Entwicklung einer elektronisch geleiteten Stadtführung.

Darauf aufbauend lässt sich folgendes Szenario entwickeln: Ein Tourist identifiziert sich gegenüber dem System mit Kennung und Passwort oder über Authentifizierungsmechanismen auf einer Chipkarte. Die Kontaktaufnahme erfolgt über den Browser am heimischen PC oder über Kioskterminals. Es sind nach dem P3P-Konzept (Platform for Privacy Preferences) bereits Informationen auf der Benutzeroberfläche über seine persönlichen Eigenschaften wie zum Beispiel Geschlecht, Alter und Nationalität als „harte Daten“ sowie Vorlieben, Abneigungen und Interessensgebiete als „weiche Fakten“ gespeichert. Ein Software-Agent aufseiten des Benutzers, der dem Besucher zugeordnet ist und dem von seinem „Herrn“ einige Regeln einprogrammiert wurden, entscheidet situationsbedingt, welche Merkmale dem Nürnberger System gegenüber offen gelegt werden dürfen.

Es ist 11.15 Uhr und mithilfe von Mobilkommunikation kann das System den Touristen lokalisieren. Die Ortsbestimmung erfolgt über das Handy oder einen um Mobilkommunikationsfunktionen erweiterten „Organizer“ (PDA = „Persönlicher Digitaler Assistent“). Der Besucher befindet sich in der Nähe des Hauptmarktes. Daraufhin entscheidet das

## Menschenähnliche Computer im Betrieb

System, den Nutzer darauf hinzuweisen, dass um 12.00 Uhr am Turm der Frauenkirche das Männleinlaufen zu besichtigen ist. Da bis dahin noch 45 Minuten verbleiben, dirigiert es den Interessenten in Richtung Henkersteg und rät, von dort aus verschiedene Sehenswürdigkeiten der Altstadt anzuschauen und bis 12.00 Uhr zum Hauptmarkt zurückzukehren. Dieser Rat wird an das Mobiltelefon des Touristen durchgegeben.

Das Szenario lässt die Bandbreite der wissenschaftlichen Herausforderungen in der Wirtschaftsinformatik ahnen: Benutzermodellierung, künstliche Intelligenz in Beratungssystemen, komplizierte mathematische Verfahren zur Aufteilung von Zeitbudgets unter Berücksichtigung von

Rundreisewegen, Sicherheitstechniken zum Schutz der Persönlichkeitsphäre und Mobilkommunikation.

### Informationslogistik

Bereits das Tourismusbeispiel deutet an, dass die Informationslogistik künftig ein zentraler Forschungsschwerpunkt der Wirtschaftsinformatik sein wird. Die richtigen Informationen im richtigen Moment in geeigneter Darstellungsform beim richtigen Adressaten! Anders als einfache Systeme herkömmlicher rechnergestützter Managementinformation mit periodischen Berichten wird die Informationslieferung der Zukunft stärker bedarfsorientiert sein. Der Informationsbedarf hängt von den momentanen Entschei-

dungsnotwendigkeiten (Situierung) ab. Diese wiederum ergeben sich aus der Branche, dem Betriebstyp und der Lebensphase des Unternehmens, beispielsweise Wachstum, Fusion oder Bewältigung einer Krise. Primär sind die Informationslieferungen an der quasiobjektiven Rolle des Entscheidungsträgers im Betrieb festzumachen. Da die handelnden Personen aber auch subjektive Vorlieben und Abneigungen haben, kommt erneut die Benutzermodellierung zum Zuge. Abbildung 1 verdeutlicht die Zusammenhänge.

Eine Reihe von Studien zeigt, dass Führungskräfte eher unter Informationsüberfluss als an Informationsmangel leiden. Hinzu kommt, dass häufig externen qualitativen Informa-

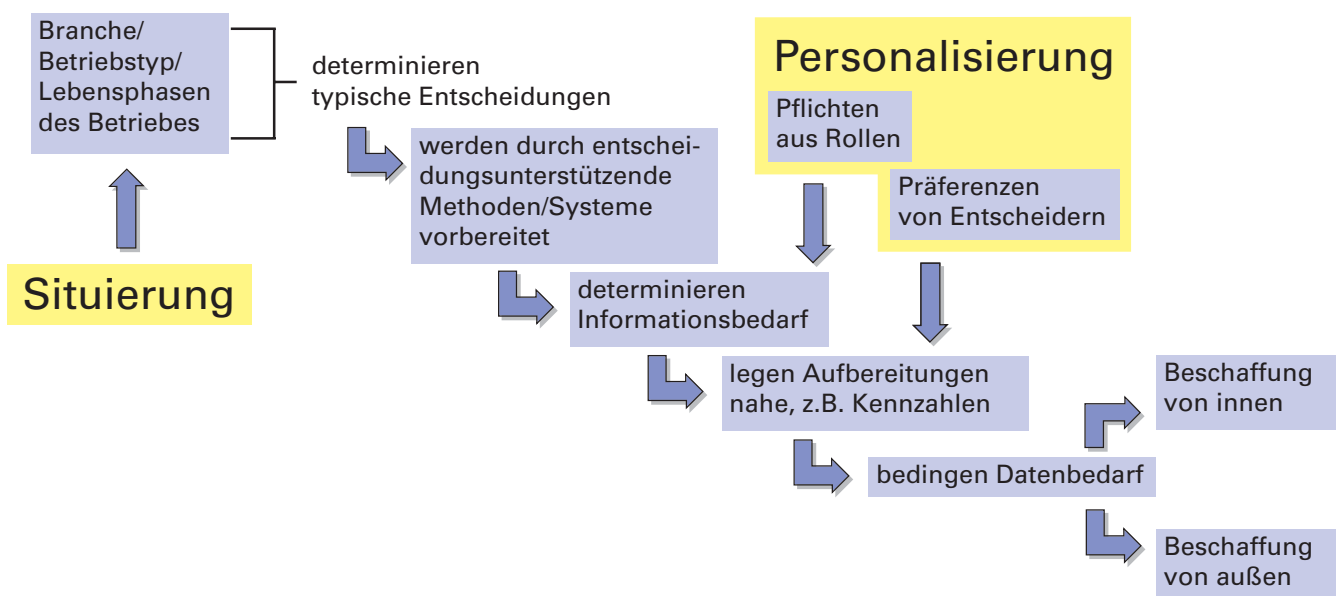


Abb. 1: Entscheidungsarchitektur





tionen im Vergleich zu internen quantitativen ein höherer Stellenwert beimessen wird. So werden zum Beispiel Pressemeldungen über die Auftragslage eines Zulieferers höher bewertet als der betriebsintern registrierte Einkaufsumsatz mit diesem Lieferanten. Die Wirtschaftsinformatiker sind aufgefordert, über das so genannte Text Mining in Kombination mit dem Data Mining Informationen zu filtern, automatisch zu klassifizieren und aufzubereiten. Hierzu bedienen sie sich Grundlagenentwicklungen aus der Informatik, der mathematischen Statistik und der Linguistik. So können zum Beispiel aus längeren Texten kurze, auf den Entscheidungsbedarf der Führungskräfte zugeschnittene Zusammenfassungen automatisch geschrieben werden. Die gegenwärtig eingeführten Data Warehouses müssen weiterentwickelt werden zu Business Information Warehouses und Business Knowledge Warehouses. Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang abstrakt-schematisch.

### Management von Zuliefernetzen

Eine große Entwicklungsrichtung, die mit einer akzeptablen Sicherheit vorausgesagt werden darf, betrifft die erweiterten oder vernetzten Unternehmen. In diesem Zusammenhang werden auch Begriffe wie „Grenzenloses Unternehmen“, „Virtuelles Unternehmen“, „Extended Enterprise“ oder „Extraprise“ mit unterschiedlichen Akzentuierungen benutzt. Gemeinsam ist den Einzelentwicklungen, dass durch die Zu-

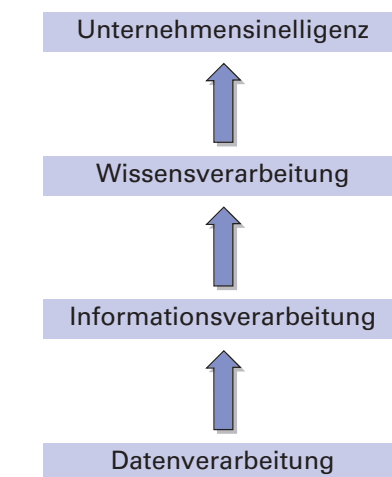


Abb. 2: Von den Daten zur Intelligenz im Unternehmen

sammenarbeit von juristisch selbstständigen Betrieben auf der operativen, taktischen und strategischen Ebene so genannte Win-win-Situationen entstehen können. Ein prominentes Beispiel ist das Management von Liefernetzen (Supply Chain Management). Es gilt dabei zum Beispiel Lagervorräte, Produktionspläne und -aufträge, Fertigungs- und Transportkapazitäten, Flugpläne von Frachtflug-Linien und terminliche Besonderheiten wie etwa Feiertagsregelungen in verschiedenen Ländern gleichzeitig zu berücksichtigen (siehe unten). Die Systementwickler müssen extrem schwierige Optimierungsalgorithmen heranziehen, die zum Teil der Natur nachempfunden sind wie die künstlichen neuronalen Netze oder die genetischen Algorithmen. Hier heißt es, Vorarbeiten aus der Biologie, der Mathematik, der mathematischen Statistik und der In-

formatik für die Wirtschaftsinformatik zu adaptieren und zu modifizieren. Eine Methodenklasse, die der Wirtschaftsinformatik besonders nahe, aber noch am Anfang der Entwicklung steht, verbindet Wissensmanagement mit Algorithmen: Das in Daten- und Wissensbasen abgelegte Wissen wird benutzt, um den Lösungsraum bei komplizierten Dispositions- und Optimierungsproblemen so einzugrenzen, dass die Kombinatorik beherrschbar bleibt und sehr gute Lösungen mit finanzierbaren Rechnerressourcen bei erträglicher Antwortzeit gefunden werden.

### Vom Symptom zur Therapie

In einer weiteren Entwicklungsschiene verfolgt die Wirtschaftsinformatik ein Schema, das aus der Medizin bekannt ist: Symptomerkennung – Diagnose – Therapie – Therapie-Prognose – Überwachung. Bisherige Führungsinformationssysteme enden oft genug mit der Symptomatik. Nur in günstigen Fällen gelangt man – etwa durch Kennzahlenvergleiche zwischen verschiedenen organisatorischen Einheiten und Betrieben – zu Diagnosen. Mithilfe vor allem von komplexeren Simulationen ergeben sich aber auch Potenziale, alternative Abhilfemaßnahmen (Therapien) zu bewerten und damit ihren Erfolg vorherzusagen.

Folgendes Szenario verdeutlicht die Zusammenhänge: In einem Liefernetzwerk der Automobilbranche fällt nach einer gravierenden technischen Störung (Symptom) ein deutscher Hersteller von elektronischen Steuerungen aus. Die voraussicht-

---

**Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Peter Mertens**

(geb. 1937) ist Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Wirtschaftsinformatik I an der Universität Erlangen-Nürnberg. Außerdem ist er Sprecher des Forschungsverbundes Wirtschaftsinformatik FORWIN und Forschungsgruppenleiter des Bayerischen Forschungszentrums für Wissensbasierte Systeme FORWISS. Seine Forschungsschwerpunkte sind die überbetriebliche Kopplung von Anwendungssystemen, die Informationsverarbeitung in Unternehmensnetzen (Supply Chain Management), die Personalisierung von Informationssystemen und die künstliche Intelligenz im Betrieb.

---

liche Dauer dieser Störung in Tagen kann von Fertigungsspezialisten abgeschätzt werden. Aufgabe des Informationsverarbeitungssystems ist es nun, zunächst alle Lagervorräte und die laufenden Produktionsprozesse zu diesen Steuerungen im Netz (andere Elektronik-Produzenten, Automobilhersteller, Ersatzteihändler) abzufragen, um herauszufinden, welcher Bedarf in den nächsten Tagen aus welchen aktuellen und zukünftigen Beständen gedeckt werden kann. Dann prüft das System ab, welche Produktionsvorgänge wann gestoppt werden müssen, weil die Bauteile fehlen und welche Kundenbestellungen nicht erfüllt werden können. Mit anderen Worten: Es werden die Kettenreaktionen auf dem Weg zum Endkunden analysiert und vorhergesagt. Umgekehrt ist auch festzustellen, ob sich Rückstau-effekte ergeben, weil Vorlieferanten, zum Beispiel von Chips oder Silizium für Chips, ihre Erzeugnisse nicht mehr in Richtung auf das gestörte Werk liefern können. Damit ist die Diagnose abgeschlossen. Nun sind Abhilfemaßnahmen – etwa massive Querlieferungen aus einem Werk in Singapur – zu finden und zu vergleichen: Welche Frachtflugzeuge kommen laut einem elektronischen Flugverkehrsplan für den Transport

infrage? Sind noch freie Laderäume vorhanden, in denen die Querlieferungen nach Deutschland transportiert werden könnten? Wann würden die Bauteile in Deutschland verfügbar sein? Welche Mehrkosten entstehen durch die Quertransporte? Schließlich ist die bestgeeignete unter mehreren Ausweichlösungen zu wählen (Therapie) und zu prognostizieren, wann das Netz wieder in einem Gleichgewichtszustand sein wird (Therapie-Prognose). Die Wirtschaftsinformatik dürfte eine Disziplin bleiben, deren Absolventinnen und Absolventen nützliche Aufgaben verrichten und gesucht sind und die auch spannende Forschungsaufgaben hat. Anders als bisher sollten die Hochschul-Kapazitäten so ausgelegt werden, dass nicht zu viele junge Leute am Numerus clausus scheitern.

# DAS PROGRAMM IM MIKROCHIP

Überführung von Programmen auf Hoch- und Höchstleistungsrechnern in direkt einsetzbare Chips für Wissenschaft und Industrie



Peter Urbanek

**Die Vision:** Wenn sich Forschungsergebnisse in Form von Programmen auf Hochleistungsrechnern direkt in Mikrochips „gießen“ lassen, können Prototypen für die Wissenschaft und Produkte für die Industrie schnell und einfach hergestellt werden.

**Der Weg:** Komplexe Programme laufen heute auf mehreren Prozessoren eines Hochleistungsrechners parallel. Künftig transformiert ein Werkzeug die Funktion der Programme direkt in Chips, sodass diese sich exakt so verhalten wie das Programm auf dem großen Rechner.



**D**ie wissenschaftliche Welt lebt von der Rechenleistung von Supercomputern, die Berechnungen mit mehreren Billionen Rechenoperationen in einer Sekunde durchführen können. Das Leben eines Wissenschaftlers würde nicht ausreichen, wenn er sie „zu Fuß“ rechnen müsste. Diese Rechner gewährleisten den rasanten wissenschaftlichen Fortschritt in einem Land. Sie sind für die wissenschaftliche und auch wirtschaftliche Entwicklung mittlerweile lebensnotwendig. Vor allem, wenn wissenschaftliche Ergebnisse in volkswirtschaftlich verwertbare Systeme, also Produkte umgesetzt werden sollen.

## Die Herausforderung

Viele wertvolle, wissenschaftliche Erkenntnisse werden auf diesen Hoch- und Höchstleistungsrechnern erzielt. Das Problem und der zu erforschende Lösungsansatz stecken als Programm im Höchstleistungsrechner. In vielen Simulationszyklen wird dann durch Veränderung der



Eingangsparameter das Ergebnis so lange optimiert bis die bestmögliche Lösung erreicht ist. Doch auch für einfache Systeme aus dem Alltag sind aufwändige Berechnungen notwendig, damit sie unter allen Randbedingungen funktionieren und zudem auch noch marktfähig, d.h. vor allem billig herstellbar sind.

## Beispiele

Zum Beispiel ist der Test eines gesamten Automobils mit allen Funktionen und Sicherheitssystemen wie Airbags, ABS und elektronischen Regelungen äußerst aufwändig. Statt teurer Crash-Tests simuliert das Programm auf dem Höchstleistungsrechner Extremsituationen, die die Grenzen des Fahrzeugs weit übersteigen, ohne dass ein Testfahrer Kopf und Kragen auf der Schleuderpiste riskiert. Das Simulationsergeb-

nis zeigt die Optimierungsmöglichkeiten in kürzester Zeit. Das optimale System wird letztlich gebaut; suboptimale Zwischenstufen gelangen erst gar nicht in den Handel. Das spart Material, Personal und teure Rückrufaktionen.

Ein anderes Beispiel ist die Entwicklung neuer Medikamente. Bevor ein neuer Wirkstoff überhaupt hergestellt wird, simuliert der Wissenschaftler die möglichen Reaktionen im menschlichen Körper am Großrechner. Er optimiert das Medikament bis sich die gewünschte Wirkung einstellt. Tierversuche und klinische Vorstudien können deshalb entfallen oder auf ein Minimum reduziert werden.

Beide Beispiele zeigen, dass äußerst komplexe und aufwändige Rechnungen durchgeführt werden müssen bis letztlich ein scheinbar ganz einfaches Ergebnis herauskommt. Im ersten Beispiel vielleicht eine Sicherheitsfunktion, die man hoffentlich nie benötigt, im zweiten Beispiel vielleicht eine Tablette mit hoher Heilkraft bei minimalen Nebenwirkungen für wenige Cent.

Nach erfolgreichen Forschungsergebnissen beginnen heute die Entwicklungsabteilungen mit der Herstellung des Produkts in einem Entwurfsprozess, der meist ohne die Unterstützung durch die Computersimulation am Großrechner auskommen muss. Das heißt, es wird praktisch wieder von vorne angefangen und das Rad wird wieder neu erfunden.

Die Herausforderung besteht nun darin, die ohnehin auf den Höchst-



leistungsrechnern realisierten und vorhandenen Funktionen wenigstens zum Teil direkt für die Produktentwicklung zu nutzen. Dies scheiterte bisher, denn die Entwurfsprozesse für Programme (auf Höchstleistungsrechnern) und Hardware (in Form von Chips) sind höchst unterschiedlich und bisher technisch nicht ineinander überführbar.

### Die Zukunft beginnt jetzt

Forscher aus aller Welt haben das Problem erkannt und suchen nach Wegen, programmierte Funktionen direkt in Chips zu gießen.

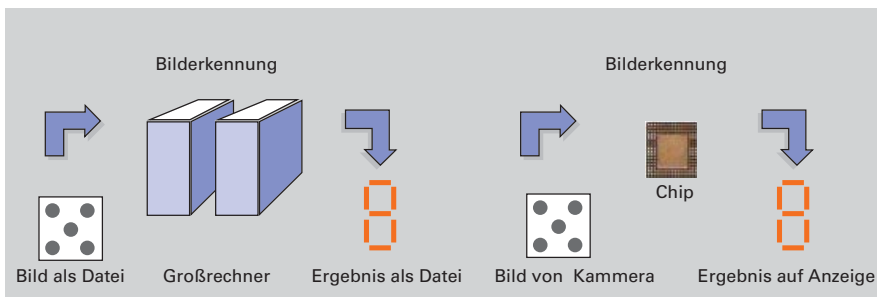
Auf der Softwareseite werden Programme mit Hilfe von Programmiersprachen erstellt. Diese ermöglichen die Beschreibung einer Aufgabe in einer einfachen Sprache, die ein Übersetzungsprogramm (Compiler) in die Nullen und Einsen übersetzt, die der Mikroprozessor versteht.

Heutzutage entwirft auch der Hardwareentwickler seine Chips auf dem Computer und beschreibt die gewünschte Funktion über eine Art

Programmiersprache. Ein spezieller Compiler erzeugt daraus aber keine direkt ausführbaren Befehle für einen Mikroprozessor, sondern setzt das logische Verhalten direkt in Siliziumstrukturen, in einen einzigen Chip um. Damit wird der Mikroprozessor mit Speicher und allen Ein-/Ausgabebechips überflüssig. Der Vorteil liegt auf der Hand: Der Umsetzungsprozess geht schneller und die Hardware wird viel kleiner, braucht weniger Energie und produziert zudem weniger Elektromog.

Der erste Schritt von der Vision zur Realität ist schon getan: Es gibt heute schon einen Compiler, der einfache, programmierte Algorithmen, die auf PCs laufen, mit einigen Einschränkungen in Chips transferieren kann. Im Kompetenzzentrum für wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen (KONWIHR) untersuchen Wissenschaftler, in wieweit sich dieser Compiler nicht nur für PC-Programme, sondern auch für den Transfer von Programmen von Hoch- und Höchstleistungsrechnen auf Chips eignet.

Die ersten Zwischenergebnisse sind vielversprechend. Bereits in diesem Jahr wird das erste, kleine, auf einem Hochleistungsrechner entwickelte Programm in Silizium-Chips „gegossen“. Auch wenn es erst eine Programmiersprache von den vielen auf Hochleistungsrechnern verwendeten ist, auch wenn es erst ein kleines Programm mit wenigen Funktionen ist, so ist es dennoch der erste Schritt in eine Zukunft mit gigantischen Möglichkeiten für diese Technologie.



In diesem einfachen Bildverarbeitungsbeispiel erkennt der Großrechner aus einem eingescanntem Bild, wieviele Augen sich auf einem Würfel nach einem Wurf oben befinden. Nach dem Übersetzen auf einen Chip erledigt dies eine Billigstkamera, ergänzt durch diesen Chip. Die intelligente Auswertung ist also schon dort, wo sie hingehört, nämlich in der Kamera.

Während wir heute noch würfeln, werden wir morgen Robotern das Sehen beibringen und übermorgen werden noch bessere Bildverarbeitungssysteme blinden Menschen das Sehen ermöglichen, indem Optik und Chip direkt mit dem Sehnerv verbunden werden.

Der Entwurf und die Optimierungen erfolgen dabei mit den modernsten Werkzeugen auf einem Großrechner solange, bis alles „passt“. Das Ergebnis arbeitet letztlich nicht mehr ein großer Mikroprozessor ab, sondern ein einziger Chip mit wenigen Quadratmillimetern.

### Heute noch Science Fiction, morgen ein ganz normales, besseres Leben

Das Projekt zeigt nur eine von unzähligen Möglichkeiten zum Einsatz dieser Technologie. Keine Frage, weite-

re Anwendungen werden kommen: Ein 3D-Scanner ist schon in Arbeit und die Tage eines mechanischen Rückspiegels am Auto, der die Aerodynamik signifikant verschlechtert, sind bereits gezählt.

Projekte wie dieses werden auch die technische Ausbildung an Hochschulen nachhaltig verändern. Die strikte Grenze zwischen Soft- und Hardwareentwicklern wird verschwinden. Systementwickler werden die Gewinner sein und sich künftig um die Problemlösung kümmern und nicht mehr um die Probleme mit den Werkzeugen. Forschen und Entwickeln auf vernetzten Höchstleistungsrechnern wird wissenschaftlicher Alltag und der Garant für eine kontinuierliche Weiterentwicklung eines Standorts, der Hochtechnologie erforscht, produziert, nutzt und exportiert.



### Interdisziplinäres Forschen – Innovative Lösungen

Während wir heute mit Hochleistungsrechnern und Chips rein elektronische Lösungen aus Hard- und Software erhalten, stehen schon weitere Fachrichtungen zur Ergänzung der hier beschriebenen Technologie bereit.

Die Mechatronik, (Mechanik, Elektronik und Informatik in einem System) wird zunächst Nutzer, später Bestandteil dieser Entwicklung sein. Während Compiler von heute einfache Programme in Chips „gießen“, werden die Compiler von morgen immer komplexere Programme übersetzen können und bald wird der Ruf nach der Einbeziehung mikro-mechanischer Systeme laut werden.

Biorobots von der Größe eines zehntel Millimeters, die Krebszellen direkt angreifen, zerstören und sich dann über die körpereigene Verdauung wieder verabschieden, können nicht mehr am Zeichenbrett entworfen werden. Ihr Einsatz zu Tausenden muss vorher am Höchstleistungsrechner simuliert werden, ihre Programmierung muss sicheren Code enthalten, ihre Elektronik muss zuverlässig funktionieren, die Mechanik eine definierte Lebensdauer besitzen, biologisches Know-how muss integriert und chemische Randbedingungen müssen berücksichtigt werden. Ohne das Zusammenwirken mehrerer Fachrichtungen würden solche Visionen Science Fiction bleiben.

Die Produkte unseres täglichen Lebens werden in ihrer Realisierung zunehmend komplexer. Das gilt auch

---

**Prof. Dr.-Ing. Peter Urbanek** (geb. 1958) ist Professor im Fachbereich Elektrotechnik, Feinwerktechnik und Informationstechnik an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule in Nürnberg. Er arbeitet mit im Kompetenznetzwerk für Technisch-Wissenschaftliches Hoch- und Höchstleistungsrechnen in Bayern KONWIHR. Seine Forschungsschwerpunkte sind Mikrocomputer, die Chipentwicklung und das Hardware/Software-Codesign.

---

für elektronische Systeme. Damit die Realisierbarkeit nicht hinter den Möglichkeiten zurück bleibt, muss das Zusammenspiel von Programmen und Chips, von Hardware und Software, verbessert werden. Nicht nur Schlagworte wie Hardware-Software-Codesign, d.h. die gemeinsame Entwicklung beider Teile, sondern vor allem die Überführbarkeit von Soft- in Hardware, insbesondere auf der Ebene der Großrechner, ermöglichen eine direktere und konsequenter Nutzung der wertvollsten Forschungsergebnisse.

Der enorme Zeitvorteil einer einfachen Umsetzung der Programme von Hochleistungsrechnern in Chips durch die hier vorgestellte Technologie ist die Basis für die schnellstmögliche Umsetzung von Forschungsergebnissen in Produkte.

### **Visionen sind morgen Wirklichkeit**

Während weltweit in dieser Richtung hauptsächlich an der Umsetzung von PC-Programmen in Chips geforscht wird, wird an der FH Nürnberg, am Institut für Elektronische Systeme, bereits an der Umsetzung von parallel arbeitenden Hochleistungsrechnerprogrammen in Chips geforscht. Das bisher ausgelotete Potenzial der neuen Technologie zeigt, dass wir erst am Anfang einer Entwicklung stehen, die die Zahl der High-Tech-Arbeitsplätze eines Landes mit bestimmen wird.

Auch wenn heute noch Vieles unvorstellbar klingt, werden diese Produkte kommen, und die wichtigste Frage ist nicht wann, sondern: Von wem?

Schiffe, die unter Wasser fahren können, waren auch einst unvorstellbar, heute kennt sie jedes Kind. Bei der Einführung des ersten Mikroprozessors konnten sich nur Einzelne vorstellen, dass man die Rechenleistung damaliger Großrechner später auf jedem Schreibtisch stehen haben wird. Visionen von heute werden zur Wirklichkeit von morgen.

# MENSCHEN, GENE UND MIKROBEN

## Die Zukunft der Infektionsforschung

Jörg Hacker

**Der Mensch und seine Umwelt sind von einer unvorstellbar großen Anzahl von Mikroben umgeben, von denen einige als Krankheitserreger schwere Infektionen auslösen können. Deshalb ist es eine Illusion zu glauben, dass es jemals eine mikrobefreie, infektionslose Welt geben wird. Ein Ziel der molekularen Medizin wird es in Zukunft sein, die krankheitsauslösenden Mechanismen von pathogenen Mikroben noch genauer zu erkennen. Große Hoffnungen ruhen auf neuen Methoden der Genomforschung. Mit diesem Wissen können Infektionskrankheiten besser diagnostiziert, gezielter therapiert und über neue Impfstoffe auch besser verhütet werden. Allerdings wird sich die Wissenschaft immer wieder auf bisher unbekannte Infektionserreger einzustellen haben.**

**D**er Mensch ist von rund 100 Billionen Mikroben besiedelt, er trägt also zehnmal mehr Mikroorganismen als er selbst Zellen hat. In der Umwelt finden wir eine unvorstellbar große Zahl von Mikroorganismen, von denen bisher nur ein bis zwei Prozent beschrieben wurden. Daraus folgt, dass Mikroorganismen auch in der Zukunft Menschen, Tiere und Pflanzen kolonisieren und schädigen können. Infektionskrankheiten wird es immer geben, eine sterile, mikrobefreie Welt ist eine utopische Vision, die niemals eintreten wird. Deshalb ist es nötig, schon heute Strategien zur Bekämpfung der Infektionen von morgen zu entwickeln.

### Status quo der Infektionen

In den Industrieländern sind viele Infektionserreger bereits resistent gegen herkömmliche Antibiotika. In den Ländern der Dritten Welt spielen

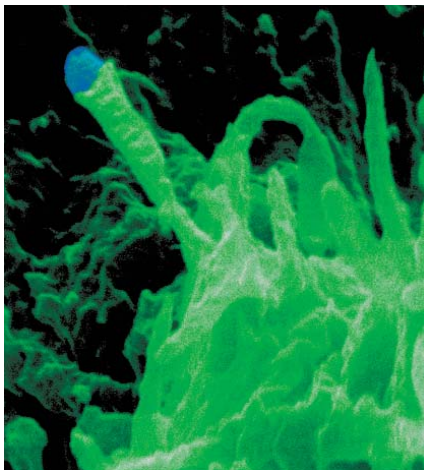
zusätzlich zu den Resistenzen soziale Probleme eine große Rolle. Infektionen treten dort häufig im Gefolge von Unruhen, Hunger oder Krieg auf. Nach einer Statistik der Weltgesundheitsorganisation WHO sind momentan ein Drittel aller Todesfälle auf Infektionen zurückzuführen.

Durchfallerkrankungen, AIDS, Tuberkulose und Malaria fordern jedes Jahr 17 Millionen Tote weltweit. Allein in den vergangenen beiden Jahrzehnten sind 30 neue Erreger aufgetreten, vom AIDS-Virus bis zum Auslöser der Legionärskrankheit. Auch in zehn Jahren werden diese Infektionskrankheiten noch eine Rolle spielen. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass bis dahin weitere Infektionserreger auftauchen werden, die heute unbekannt sind. In allen Fällen gilt: Infektionen müssen rechtzeitig erkannt werden, damit sie erfolgreich bekämpft werden können.



### Genomforschung für gläserne Mikroben

1995 wurde erstmals das Erbgut eines Bakteriums entschlüsselt: die DNS-Sequenz des Krankheitserregers *Haemophilus influenzae*. Momentan sind die Gesamtgenome von über 20 Krankheitserregern bekannt. In zehn Jahren werden die Sequenzen aller wichtigen Infektionserreger von kleinen Viren über Bakterien bis hin zum Malaria-Erreger oder dem Erreger der Schlafkrankheit beschrieben sein. Es werden mit Hilfe der Genomforschung dann viele relevante Krankheitsmoleküle bestimmt sein, so dass aus der DNS-Sequenz neuer Erreger schnell das Krankheitsprinzip abgeleitet werden kann.



Invasion von *Legionella* in eine Amöbe.

Um die molekularen Mechanismen von Infektionen, aber auch von anderen wichtigen Krankheitsprozessen zu verstehen, sind neue Technologien hilfreich. Eine dieser Methoden wird als Chip-Technologie bezeichnet. Hierbei werden bekannte DNS-Moleküle auf Träger, wie Glasplättchen oder Filterpapiere aufgebracht. Mit diesen so genannten Chips ist es dann möglich, unbekannte DNS-Proben, beispielsweise von Krankheitserregern, auf ihre genetische Struktur hin zu untersuchen. Die DNS-Chips werden in Lösungen mit tausenden DNS-Stücken getaucht. Daraus angelt sich die auf die Träger montierte DNS, ihrem natürlichen Drang zur Bildung eines Doppelstranges folgend, die zu ihr passenden Gegenstücke. Ein Lesegerät ortet anschließend die Stellen auf dem Chip, wo DNS-Stücke ins Netz gegangen sind. Auf diese Weise entsteht ein Mosaik im Mikro-Maßstab. Mit Computerprogrammen lässt sich anhand des Mosaik-Musters auf die DNS-Sequenzen in der untersuchten Probe schließen. Ein Vorteil der Chip-

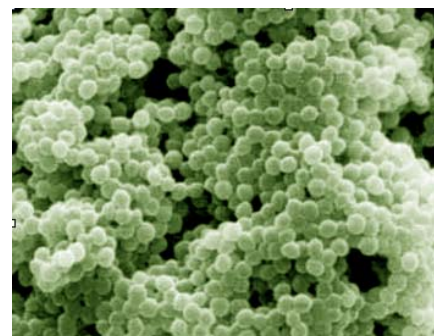


Salmonellen-Adhärenz an Epithelzelle.

Technologie ist es, neue Erreger schnell zu identifizieren und über ihre genetische Struktur Informationen zu erhalten, die für ihre Bekämpfung wichtig sind. Darüber hinaus kann das An- und Abschalten von Genen, auch in humanen Zellen exakt bestimmt werden. Interessant wird dabei sein, die Aktivität einzelner Gene während einer Infektion zu bestimmen. Möglicherweise bieten sich hierdurch neue Möglichkeiten einer gezielten Therapie an.

### Die Individualmedizin – eine Lösung für das Infektionsproblem?

Bei Infektionskrankheiten handelt es sich immer um Auseinandersetzungen zwischen den Krankheitserregern und ihren Wirten, in unserem Fall dem Menschen. Seit einem Jahr ist das gesamte Genom des Menschen bekannt. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die Entwicklung der praktischen Medizin. Wie bereits ausgeführt, wird es in der Zukunft möglich sein, mit Hilfe von DNS-Chips, die Teile des menschl-



Staphylokokken im Biofilm.



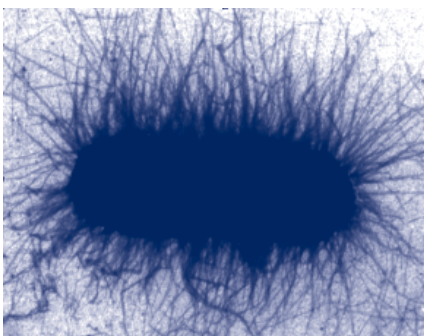
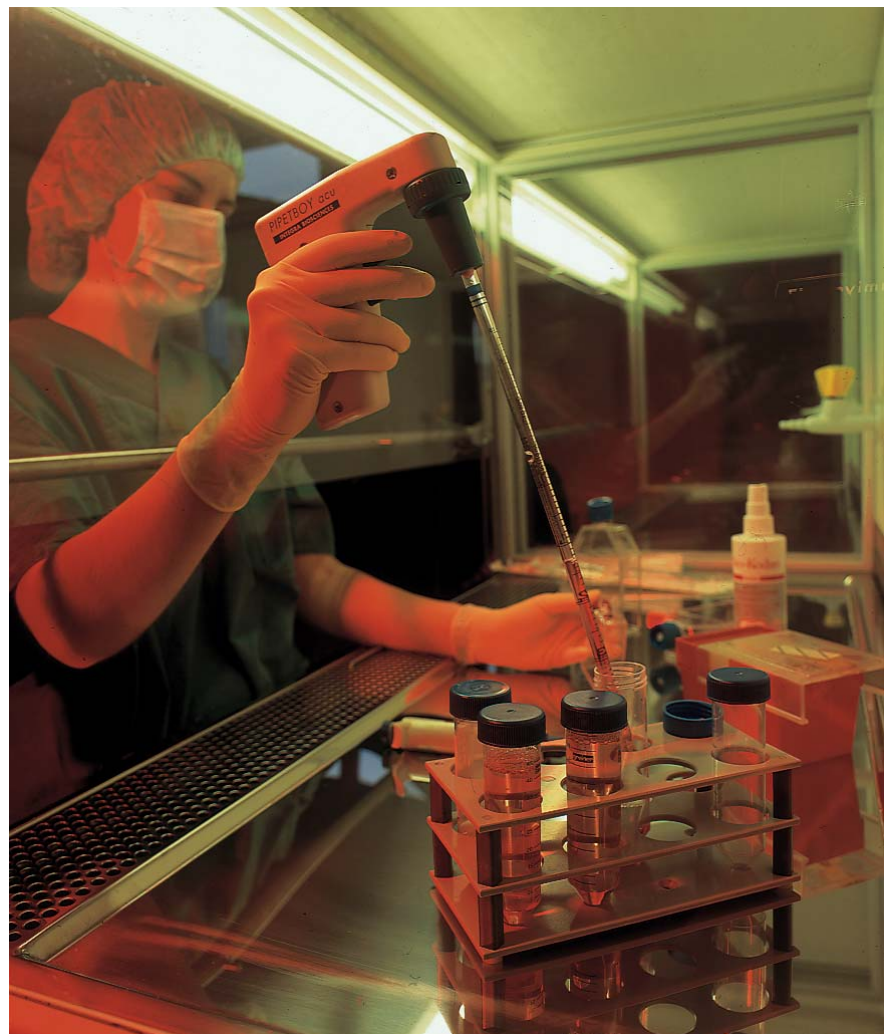


chen Genoms repräsentieren, die individuelle Veranlagung und die Reaktion einzelner Menschen bei Krankheitsprozessen zu studieren. So werden schon heute zum Nachweis von Erbkrankheiten Verfahren der individuellen Diagnostik, beispielsweise DNS-Chips, eingesetzt. Dies wird in der Zukunft auch bei der Analyse von Infektionskrankheiten möglich sein, indem etwa das Risiko kalkuliert werden kann, wie anfällig einzelne Personen gegenüber bestimmten Infektionen und Infektionserregern sein könnten. Deshalb wird die Medizin in zehn Jahren die Patienten individuell diagnostizieren und gezielter als heute therapieren können.

Hierbei werden neue Medikamente angewandt werden, die mit gentechnischen Verfahren produziert werden. Zu diesen Stoffen zählen im Reagenzglas neu verknüpfte Eiweiße, Botenstoffe und andere Biomoleküle, die eingesetzt werden, um während einer Infektionskrankheit infizierte Patienten zu stärken und so ihre Abwehr zu unterstützen.

Durch die ständige Ausbildung von Resistenzeigenschaften der Erreger wird die Bedeutung neuer, antiinfektiver Arzneistoffe zunehmen. Des-

halb werden neue Biomoleküle aus unkonventionellen Quellen wie der Tiefsee, tropischen Pflanzen oder Bodenmikroorganismen genauso



**Uropathogenes Escherichia coli-Bakterium.**

---

**Prof. Dr. Jörg Hacker** (geb. 1952) ist Leiter des Instituts für Molekulare Infektionsbiologie der Universität Würzburg und Sprecher des Forschungsverbundes Grundlagen Gentechnischer Verfahren FORGEN. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Wechselwirkung von Krankheitserregern und Wirtszellen, die Evolution von Bakterien und die Genregulation pathogener Mikroben.

---

eine Rolle spielen wie gentechnisch veränderte Substanzen. Neue Impfstoffe zur Prophylaxe von Infektionskrankheiten werden auf der Basis von lebenden Mikroorganismen, aber auch von DNS-Molekülen entwickelt werden. Es ist damit zu rechnen, dass einige heute mittels Impfungen noch nicht zu behandelnde Erkrankungen beherrschbar werden. Zu denken ist hierbei an manche Darminfektionen, eventuell auch an Malaria und Anthrax, den Keim, auf dessen Basis Biowaffen hergestellt werden.

### Der Feind schläft nicht

Bei allen positiven Erwartungen darf nicht vergessen werden: Infektionserreger sind ungeheuer trickreich. Sie verfügen über so viele Möglichkeiten, Krankheiten auszulösen, dass auch eine individuell ausgerichtete Medizin an ihre Grenzen stoßen wird. Die Forschung wird immer nur auf das Auftreten neuer Erreger oder Erregervarianten reagieren können. Wie in der Geschichte vom Hasen und vom Igel sind die Infektionserreger immer zuerst da, die Infektionsbiologen müssen darauf reagieren und versuchen, schnell adäquate Maßnahmen gegen neue Keime einzuleiten. Es werden auch in Zukunft immer wieder neue, effizientere Impfstoffe entwickelt werden müssen, um den Infektionen Herr zu werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass in vielen Ländern der Drit-

ten Welt eine Anhebung des sozialen Standards und eine Verbesserung der Hygieneverhältnisse entscheidend für das Zurückdrängen von Infektionen sein werden. Diese Prozesse entziehen sich weitestgehend den Einflüssen der Wissenschaftler.

Der Gesundheitsmarkt ist ein Wachstumsmarkt mit Zukunft. Für die Bekämpfung von Infektionen wird in den kommenden Jahren zunehmend mehr Geld ausgegeben werden. Bei der Forschung und Entwicklung arbeiten universitäre und außeruniversitäre Einrichtungen Hand in Hand. Innovationen auf dem Gebiet der Infektionsbekämpfung wie die Entwicklung neuer Diagnostika und neuer Antibiotika oder die Etablierung von Impfstoffen werden vor allem durch kleine und mittlere Biotechnologiefirmen vorangebracht. Es ist zu erwarten, dass 2012 noch mehr Bio-Tech-Firmen an der Entwicklung von antiinfektiven Arzneimitteln beteiligt sein werden als heute. Da es sich bei den Infektionen um globale Ereignisse handelt, die keine Grenzen kennen, wird die Internationalität in der Forschungs- und Entwicklungsarbeit zunehmen.

# DER WERT VON MÜLL UND WASSER



Peter A. Wilderer

**Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Abfallbehandlung stehen vor einem Systemwechsel hin zu integrierten Systemen. Statt die in Abwasser und Abfall enthaltenen Wertstoffe zu vernichten, müssen diese in Zukunft stärker zurückgewonnen werden. So können zum Beispiel aus Urin Düngesalze gewonnen oder Vergärungsprozesse zur Energiegewinnung herangezogen werden.**



**A**lle acht Sekunden stirbt ein Kind an einer durch mangelhafte Wasserversorgung verursachten Krankheit. Nahezu die Hälfte aller Menschen hat keinen Zugang zu adäquaten Sanitäreinrichtungen, viele sind nicht an eine geordnete Abfallbehandlung angeschlossen. Die Welt braucht neue Ver- und Entsorgungskonzepte. Für das Fachgebiet Wassergüte und Abfallbehandlung zeichnet sich ein Paradigmenwechsel größten Ausmaßes ab. Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Abfallbehandlung wurden als Ingenieuraufgaben bisher weitgehend unabhängig von einander behandelt. In Zukunft ist eine integrierte Herangehensweise unabdingbar.

Als vordringliche Aufgabe sah die Entsorgungswirtschaft bislang die Vernichtung und Beseitigung von Schadstoffen in Müll und Abwasser. Künftig gilt es, aus Abwasser und Abfällen Wertstoffe zu gewinnen und diese auf kürzestem Weg in den Stoffkreislauf einzufügen.

Der Systemwechsel ist schon voll im Gange. In der Wissenschaft wird er in wenigen Jahren vollzogen sein. Zur Umsetzung in die Praxis bedarf es dagegen zusätzlich eines Generationswechsels. Gebraucht werden junge Ingenieure mit fundierter Kenntnis der gewachsenen Techniken, die bereit sind, neue Wege zu gehen, statt an dem zu kleben, „wie wir es immer schon gemacht haben“.

## Der Wert von Müll und Wasser

Integrierte Technologien im Ver- und Entsorgungsbereich werden in der Industrie schneller zum Einsatz kommen als in den Kommunen. Außerdem werden die Schwellen- und Entwicklungsländer wegen ihres akuten Handlungsbedarfs schneller auf integrierte Technologien zugreifen als die Industriestaaten. In den Industriestaaten ist die traditionelle Ver- und Entsorgungstechnik bereits weitgehend etabliert, nicht so aber in den Ländern der Dritten Welt, wo die Bevölkerung oft extrem schnell wächst, Geld für den Bau herkömmlicher Techniken aber weitgehend fehlt.

Die Lehre an den Hochschulen wird auf geraume Zeit eine zweiglei-

sige Ausbildung von alten und neuen Ver- und Entsorgungskonzepten bieten müssen. Sommerschulkurse für junge Leute aus dem Ausland ebenso wie für bereits Berufstätige werden den Umstellungsprozess fördern. Außerdem werden sie mit helfen, die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft zu sichern.

### Die klassische Kläranlage – ein Auslaufmodell

Die Kläranlage als Wertstoff-Vernichtungseinrichtung muss Anlagen zur Wertstoff-Rückgewinnung weichen. Moderne mechanische Stofftrenntechniken wie die Membranfiltration

werden an Bedeutung gewinnen, während biologische Oxidationsreaktionen und damit die bisherige aerobe biologische Abwasserreinigung auf dem Rückzug ist. Bei der Membranfiltration wird das Schmutzwasser durch dünne Schichten aus Keramik oder Kunststoff hindurchgepresst oder gesaugt. Feinste Partikel samt krankheitserregenden Mikroorganismen werden zurückgehalten. Das so entstehende, nahezu keimfreie Wasser kann zum Reinigen und Spülen gefahrlos wieder verwendet werden. Aus den zurückgehaltenen Feststoffen kann Biogas und Kompost gewonnen und direkt genutzt werden.



**Integrierte Technologien im Ver- und Entsorgungsbereich werden in der Industrie schneller zum Einsatz kommen als in den Kommunen. Die Kläranlage als Wertstoff-Vernichtungseinrichtung muss Anlagen zur Wertstoff-Rückgewinnung weichen. (Foto MEV)**

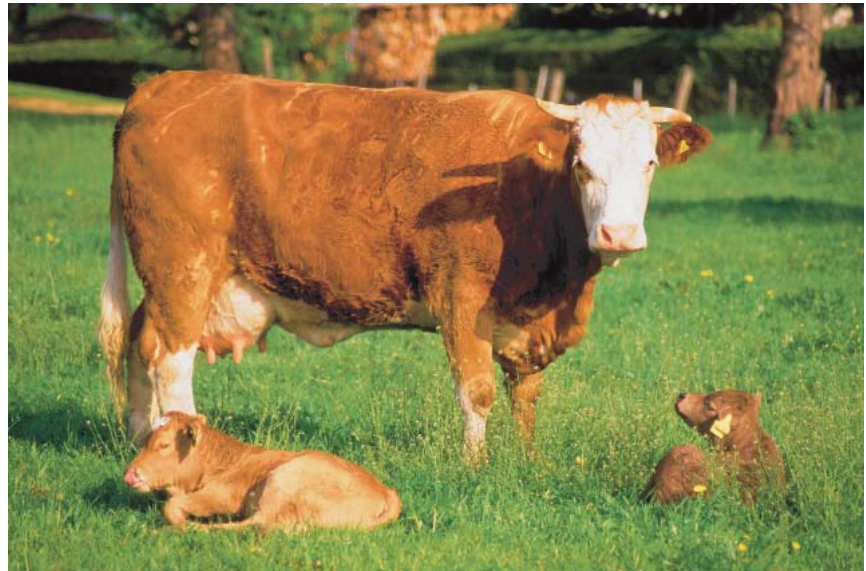


Doch der Systemwechsel beginnt schon lange vor der Kläranlage. Die getrennte Erfassung von Abwasserströmen ermöglicht es, auf relativ einfache Weise Wertstoffe zu gewinnen und einer neuen Nutzung zuzuführen. Ein Beispiel hierfür ist die Umwandlung von Urin zu Düngesalzen. Die zur Urin-Aufbereitung benötigten Techniken wie Eindampfen, Kristallisation und Extraktion, lassen sich auch in der Landwirtschaft zur Behandlung von Gülle einsetzen. So verschmelzen kommunale, landwirtschaftliche und industrielle Ver- und Entsorgungstechnologie – sehr zum Vorteil der Umwelt.

Die Biogas-Technologie wird in diesem Zusammenhang stark an Bedeutung gewinnen. Das im Dezember 2001 in München gegründete Anaerobie Zentrum Bayern hat sich zum Ziel gesetzt, zur Umwandlung von kommunalen und landwirtschaftlichen Abfällen moderne, leistungsfähige Verfahren zur Verfügung zu stellen. Das Zentrum will der Forschung in Deutschland eine Chance geben, auf diesem Gebiet zur Weltspitze aufzurücken. Es vereint unter seinem Dach bisher den Lehrstuhl für Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Technischen Universität München und Forscher der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Weitere Lehrstühle und Partner aus anderen Regionen Bayerns haben bereits Interesse an einer Mitarbeit signalisiert.

### Obstschalen zu Biogas

Auch bei der Behandlung organischer Abfallfraktionen, wie sie in



Küchen und Kantinen entstehen, wird die Anaerobtechnik weiter an Bedeutung gewinnen. Die Kopplung der im Kuhmagen heimischen Mikrobiologie mit Membrantrenntechnik und anaerober Biofilm-Technik hat gute Erfolgsaussichten, die Effizienz von Anaerobreaktoren zu steigern. Kühe, Ziegen, Schafe und viele andere so genannte ruminante Tiere schaffen es in wenigen Stunden, in ihren Mägen Gras und andere Strukturmaterialien so aufzubereiten, dass es von den Tieren genutzt werden kann. Die in der Natur seit Millionen von Jahren erfolgreich eingesetzte Methode gilt es, technisch nutzbar zu machen.

Ein Ziel der Forscher muss es sein, für die Erwärmung der Abfallstoffe und des Abwassers möglichst wenig Energie zu verbrauchen.

**Kühe, Ziegen, Schafe und viele andere so genannte ruminante Tiere schaffen es in wenigen Stunden, in ihren Mägen Gras und andere Strukturmaterialien so aufzubereiten, dass es von den Tieren genutzt werden kann. Die in der Natur seit Millionen von Jahren erfolgreich eingesetzte Methode gilt es, technisch nutzbar zu machen.**

(Foto MEV)

Es sind Techniken zu entwickeln, die bei Umgebungstemperatur hohe Stoffumsatzleistungen erbringen.

Bei der Vergärung von organischen Abfällen entsteht Biogas, das zum Beispiel in Brennstoffzellen in Wärme und Strom umgewandelt werden kann. Allerdings sind Methoden zu entwickeln, um die Katalysatoren der Brennstoffzelle vor schädlichen Gasbestandteilen wie schwefelhaltigen Verbindungen zu schützen.

---

### Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Peter A. Wilderer

(geb. 1939) leitet den Lehrstuhl für Wasser-  
güte und Abfallwirtschaft der Technischen Uni-  
versität München und die gleichnamige Ver-  
suchsanstalt. Außerdem ist Prof. Wilderer  
Sprecher des Bayerischen Forschungsverbun-  
des Abfallforschung und Reststoffverwertung  
BayFORREST. Seine Forschungsschwerpunk-  
te sind die Trinkwasseraufbereitung, biolo-  
gische Abwasserreinigung, dezentrale Ver-  
und Entsorgungssysteme, Anaerobtechnik  
und die biologische Abfallbehandlung.

---

### Putzmittel und Tabletten als Störstoffe

Probleme bereiten Haushaltschemi-  
kalien und Arzneimittelrückstände.  
Über ihre Wirkung in einem weitge-  
hend geschlossenen Kreislaufsyste-  
m ist wenig bekannt. Wir wissen,  
dass Arzneimittel meist in veränderte  
Form ausgeschieden werden  
und so in das Abwasser gelangen.  
Man findet diese Stoffe in zuneh-  
mendem Maße in unseren Ober-  
flächengewässern, dort allerdings in  
sehr geringen, wahrscheinlich un-  
schädlichen Konzentrationen. Wenn  
man allerdings das Abwasser im  
Kreislauf führt, werden sich die Stoffe  
vermutlich anreichern. Um dies  
zu verhindern, ist die oben bereits  
erwähnte getrennte Sammlung und  
Verwertung von Urin sehr wichtig.  
Zudem müssen die Hochschulen  
eng mit der chemischen Industrie  
zusammenarbeiten, um Haushalts-  
chemikalien zu entwickeln und auf  
den Markt zu bringen, die bei der  
Aufbereitung der Abfallströme abge-  
baut werden.

### Die Zukunft ist dezentral

Generell gilt: Die Abwasser- und Ab-  
fallbehandlung der Zukunft ist de-  
zentral. So muss zum Beispiel Ab-  
wasser als Wertstoff verstanden und  
möglichst schon am Entstehungsort  
entsprechend aufbereitet werden.  
Dies vermeidet den Bau und die In-

standhaltung teurer Transporteinrich-  
tungen wie einer Kanalisation. Das  
gesparte Geld kann stattdessen  
direkt in Aufbereitungstechnologien  
investiert werden.

Um dezentrale Ver- und Entsor-  
gungstechniken einführen zu kön-  
nen, ist die Schaffung geeigneter  
Rahmenbedingungen eine unabding-  
bare Voraussetzung. Dazu gehören  
gesetzliche Regelungen, Finanzie-  
rungsmodelle sowie der Aufbau ei-  
nes Überwachungs- und Wartungs-  
netzes. Hier wird die Umwelttechnik  
in den nächsten Jahren dringend mit  
anderen Disziplinen zusammenarbei-  
ten müssen, insbesondere mit Lehr-  
stühlen aus den Bereichen Chemie,  
Verfahrenstechnik, Energietechnik,  
Architektur sowie Wirtschafts- und  
Rechtswissenschaften. Um die ent-  
wickelten Methoden auf dem Welt-  
markt auch unterbringen zu können,  
ist zusätzlich eine enge Kooperation  
mit der Wirtschaft erforderlich.

# KERAMIK LÄUFT ZU HÖCHSTFORM AUF



Peter Greil

**Keramik ist ein äußerst vielseitiges Material. Kein anderer Werkstoff kann so hohe Belastungen aushalten. Neue Herstellungsverfahren, die der Natur entlehnt sind, sollen zu Hochleistungskeramiken mit neuartigen Strukturen und verbesserten Eigenschaften führen.**

**D**as Innere eines Baumes beherbergt eine faszinierende Architektur. Dicht gepackt sitzen langgestreckte hohle Zellen – das Holzgewebe – nebeneinander, durchzogen von dünnwandigen Röhrchen, die Wasser von den Wurzeln zu den Blättern transportieren. Dieser inhomogene Aufbau ist charakteristisch für biologische Strukturen. Andere augenfällige Beispiele für solche hochgradig strukturierten Materialien sind etwa Kieselalgen mit ihren filigranen Skeletten oder Korallen.

Im Gegensatz zu diesen „Schönheiten der Natur“ haben im Labor hergestellte Werkstoffe meist einen weit einfacheren Aufbau. Ein Querschnitt, egal an welcher Stelle, zeigt stets die gleiche Beschaffenheit. Für die Forscher ist dies sehr unbefriedigend. Denn die Eigenschaften

eines Materials werden nicht nur von seiner chemischen Zusammensetzung, sondern auch durch seine Struktur bestimmt. Daher liegt es für die Mitarbeiter des Bayerischen Forschungsverbunds FORKERAM auf der Hand, Mechanismen und Prozesse aus der Natur zu nutzen und ins Labor zu übertragen. Mit so genannten biomimetischen Synthesen wollen sie einen Zugang zu künstlichen Materialien mit inhomogener Struktur schaffen, von denen sie gänzlich neue und ungewöhnliche Eigenschaften erwarten.

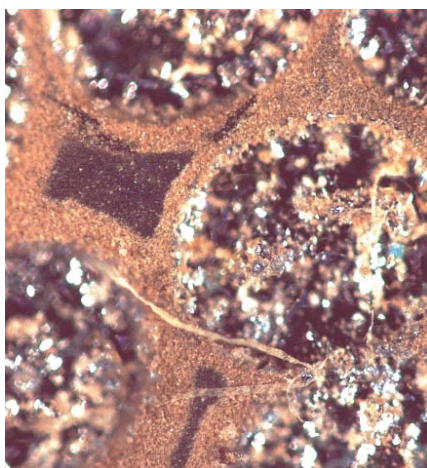
## Vorbild Natur

Beim so genannten Biomimicking bedienen sich die Forscher natürlicher Strukturen wie dem Zellgewebe höherer Pflanzen, um diese gleichsam auf andere Werkstoffe abzubilden.



**Offenzelliger Keramikschaum auf Polysiloxanbasis. Die Polysiloxanschmelze schäumt bei 300 °C auf und wird anschließend durch die Pyrolyse in Stickstoffatmosphäre keramisiert.**

## Keramik läuft zu Höchstform auf



**Mit Magnesium infiltrierter Keramikschaum aus präkeramischen Polymeren. Der Keramikschaum als Verstärkung steigert die Kriechfestigkeit von Magnesium deutlich.**

den. Die Ausgangsstrukturen werden mit physikalischen und chemischen Prozessen in so genannte biomorphe Werkstoffe umgewandelt: Es entsteht eine Art Kopie der biologischen Struktur. Gerade die höheren Pflanzen mit ihrem intravasculären Transportsystem bieten sich für solche biomimetischen Synthesen an. Denn die Wissenschaftler können das dreidimensionale Porensystem dazu nutzen, das Gewebe – das hauptsächlich aus Cellulosefasern und Lignin aufgebaut ist –, mit anderen Substanzen zu infiltrieren.

Tränkt man etwa das Holz mit einem kolloidalen Sol, dringen die Mo-

leküle in das gesamte Gewebe ein und lagern sich auf den Zellwänden ab. Dort vernetzen sie zunehmend. Und wenn in einem letzten Schritt die Probe so hoch erhitzt wird, dass die ursprünglichen Holzbestandteile gleichsam verbrennen, bleibt ein hochporöses oxidkeramisches Gerüst zurück, das eine detailgetreue Kopie der Holzstruktur darstellt.

### Keramische Kopien

Eine andere Möglichkeit besteht darin, zunächst die pflanzliche Struktur so zu erhitzen, dass lediglich ein Skelett aus reinem Kohlenstoff übrig bleibt. Auch dieses so genannte Biocarbontemplat reproduziert die Anatomie der Ausgangsstruktur bis in den Nanometerbereich. Anschließend infiltriert man das Gerüst mit gasförmigen oder flüssigen Silicium-Precursoren und erhält auf diesem Wege eine zellulare Siliciumcarbid-Keramik. Das biomorphe Material zeichnet sich gegenüber herkömmlichen Keramiken gleicher Porosität durch eine höhere Festigkeit in Zellenrichtung aus. Solche hochtemperaturstabilen Zellularkeramiken sind von besonderem Interesse beispielsweise für die Entwicklung effizienter Katalysator-Träger in der Technischen Chemie und als Partikelfilter für die Abgasreinigung von Dieselmotoren. Mit der voranschreitenden Verschärfung der Umweltgesetzgebung werden diese Filter eine viel größere Verbreitung als heute erreichen.

Darüber hinaus bieten Keramikmembranen wegen ihrer guten Reinigungs- und Sterilisationsfähigkeit

neue Möglichkeiten für den Einsatz in der Lebensmittel-, Bio- und Medizintechnik, wo die Hyperfiltration von Flüssigkeiten und Gasen im molekularen Bereich eine wichtige Aufgabe ist. Dies gilt auch im Bereich der Trinkwassergewinnung und -reinigung, der vor dem Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung von steigender Bedeutung ist. Unverzichtbar sind makrozelluläre Keramiken weiterhin auf dem Gebiet der Energieerzeugung und Wärmetechnik, etwa als Verbrennungsraum in Porenbrennern sowie für die thermische Isolation in der Wärmeprozess-technik. Mit mikrozellulären Keramiken lässt sich wiederum die Kriech- und Verformungsbeständigkeit moderner Leichtmetalle erhöhen. Damit werden Aluminium und Magnesium auch in thermisch höher beanspruchten Bereichen wie der Antriebstechnik im Fahrzeugbau einsetzbar.

### Bestechendes Konstruktionsprinzip

Ein anderes Feld, auf dem die Materialwissenschaftler gerne mit der Natur konkurrieren möchten, ist die Biomineralisation. Dieser Vorgang bezeichnet eines der faszinierendsten Beispiele, wie in lebenden Systemen durch Selbstorganisationsprozesse makroskopische Formen erzeugt werden. Denn Knochen, Eierschalen oder Schneckenhäuser entstehen, indem nanometergroße Bausteine aus mineralisierten Kristallen in der zellulären und extrazellulären Matrix lebender Organismen abgeschieden und zu makroskopischen Strukturen organisiert werden. Die Präzision,





mit der dieses Kristallwachstum gesteuert wird, ist allen technischen Synthesen weit überlegen. Insbesondere von den Fortschritten in der Proteomforschung, die die Funktion der einzelnen Proteine im Körper hinterfragt, erwarten die Wissenschaftler, dass grundlegende molekulare Steuermechanismen bei der Biomineralisation aufgeklärt werden können. Daraus könnten einerseits kostengünstige Prozesse zur Werkstoffsynthese abgeleitet werden. Andererseits hofft man, durch einen vertieften Einblick Therapieansätze für Erkrankungen wie Osteoporose zu finden, bei denen der natürliche Mineralisationsprozess gestört ist.

### Bakterien als Helfer

Die Synthese neuer Werkstoffe könnte man mit diesen Kenntnissen beispielsweise speziellen Bakterienstämmen übertragen. Diese würden in ihren Zellen einheitlich geformte – monodisperse – Kristalle produzieren. Je nach Größe und molekularem Aufbau der Bakterienhülle könnten damit nanoskalige Keramikpulver mit Durchmessern im Größenbereich von zehn bis 100 Nanometer nahezu monodispers hergestellt werden. Diese Pulver sind durch die Proteinbelegung auf ihrer Oberfläche gegen Agglomeration stabilisiert. Mit derartigen, unter ausgesprochen milden Bedingungen synthetisierten Keramikpulvern könnten bestehende Schwierigkeiten in der Prozesstechnik nanoskaliger Systeme elegant umgangen werden.

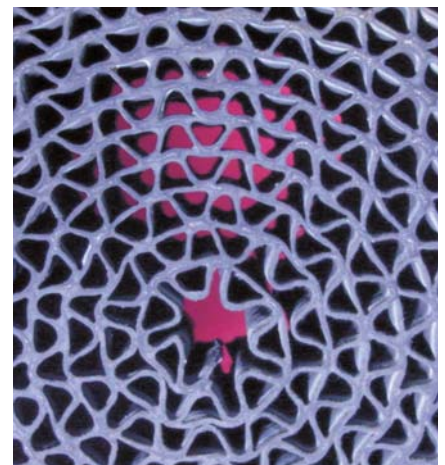
Erfolgt die Biomineralisation an bioorganischen Templatoberflächen, führt dies zu Komposit-Materialien wie etwa schicht- und faserförmigen Verbunden, in denen eine harte Mineralphase in eine zähe bioorganische Phase eingebettet ist. Dadurch wird es beispielsweise möglich, hybride Verbundmaterialien zu erzeugen, deren Aufbau dem von natürlichem Hartgewebe – Knochen oder Zähnen – gleicht. In analoger Weise gelingt es, durch Steuerung von Ionenaustauschprozessen auf Implantatoberflächen Haftsichten aus Calciumphosphat zu erzeugen, die optimal an die physiologischen Umgebungsbedingungen angepasst sind.

Schließlich stellt das Prinzip der „orientierten Anlagerung“ ein bisher nur hypothetisches, aber dafür umso interessanteres Konzept zur Synthese von nano- und mikrodimensionierten neuen Materialstrukturen dar. Es nutzt die Belegung definiert geformter Partikel wie zum Beispiel Rhombendodekaeder mit biomolekularen Erkennungsgruppen aus. Selektiv verknüpft über so genannte Linkermoleküle, wird die orientierte Anlagerung der Partikel aneinander organisiert. So gelingt es beispielsweise, Biotin als funktionale Kuppelungsgruppe auf unterschiedlichen Partikeloberflächen zu fixieren. Durch die Verknüpfung über Streptavidin, einem zweiarmigen Linker, können wohldefinierte zwei- und dreidimensionale Nanoarchitekturen aufgebaut werden. Damit könnte es gelingen, Nanopartikel zu ausgedehnten, nahezu perfekten Festkörperstrukturen zu organisieren. Das

Problem der Packungsheterogenitäten in größeren Volumina von nanoskaligen Materialien wäre somit durch einen völlig neuen Ansatz zu lösen.

### Forschung für das 21. Jahrhundert

Die biomimetische Materialsynthese gilt als eine der wichtigsten Materialtechnologien im 21. Jahrhundert. Das sich rasch entwickelnde Gebiet liegt im Grenzbereich zwischen Materialforschung, Nanowissenschaften, molekularer Medizin und Biotechnologie. Es wird daher von Fortschritten auf den Gebieten der molekularen Zellbiologie mit Beiträgen aus der Genom- und Proteomforschung sowie der Bioinformatik



In Si-A1-O-C-Keramik umgesetzte Wellpappenstruktur

## Keramik läuft zu Höchstform auf

profitieren. Die Werkstoffwissenschaftler hoffen, künftig Materialien mit optimierten Anwendungseigenschaften weit präziser und effektiver erzeugen zu können, als es bisher mit konventionellen technischen Verfahren der Fall ist. Die biomimetische Materialsynthese scheint darüber hinaus Werkstoffe mit bisher nicht möglichen Eigenschaftskombinationen und gesteigerter Leistungsfähigkeit wie etwa selbstheilende Materialien, ultraharte Verschleißschutzmaterialien oder ultraleichte Verbundwerkstoffe zu ermöglichen. Nicht zuletzt haben biomimetische Syntheseverfahren ein großes Potenzial, um den Verbrauch an Rohstoffen zu senken, die Energiekosten bei der Fertigung zu reduzieren sowie sehr aufwändige Herstellungsprozesse – etwa für die Mikrostrukturierung – zu vereinfachen.

### „Fabrik der Zukunft“

Wer die Biomimetik konsequent weiterdenkt, landet unweigerlich in der „Fabrik der Zukunft“. Hier erfolgt die Nanofabrikation von räumlich definierten Partikelaggregaten durch die so genannte bottom-up-Synthese. Zelluläre Maschinen übernehmen dabei die Aufgabe, Materialstrukturen durch gezielte Nutzung von Selbstorganisationsprozessen, die der Natur nachempfunden sind, zu produzieren. Herkömmliche bottom-up-Ansätze, die das Prinzip der Selbstorganisation verfolgen, haben ihre Grenzen bei etwa zwei bis fünf Nanometer. Dagegen führt der konventionelle top-down-Ansatz zu Strukturen, die eine Größenordnung von 100 Nano-

meter nicht unterschreiten. Der Bereich dazwischen bietet aber gerade besonders interessante Perspektiven, biomolekulare Komponenten wie Proteine oder Nukleinsäuren mit Nanopartikeln aus Metall, Halbleitern oder Keramiken zu kombinieren und dadurch neuartige, selbstorganisierte Materialsysteme mit speziellen physikalischen, chemischen und medizinischen Funktionen aufzubauen.

Der Entwicklung neuer Materialien kommt in unserer wissensbasierten Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft eine ungemein wichtige Rolle zu. Ob Mobilität, Kommunikation oder Energieversorgung: Technische Innovationen hängen vielfach davon ab, ob es gelingt, einen Werkstoff mit dem geforderten Eigenschaftsprofil bereitzustellen. Den modernen keramischen Materialien kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Denn sie sind leicht verfügbar, von exzellenter Stabilität – auch bei hohen Temperaturen und unter stark belastenden Umgebungsbedingungen – und lassen sich bezüglich ihrer Eigenschaften geradezu maßschneidern.

### Jahrtausend alter Werkstoff

Keramik war das erste künstliche Material, das der Mensch schuf. Das Potenzial dieses Werkstoffs ist jedoch auch Tausende von Jahren nach seiner Entdeckung bei weitem nicht ausgeschöpft. Denn die technische Nutzung so genannter Hochleistungskeramik ist oftmals durch die mangelnde Festigkeit der Bauteile eingeschränkt. Während des konventionellen Fertigungsprozesses aus pulverförmigen Ausgangssubstanzen

schleichen sich immer wieder „Baufehler“ in das Material ein. Sie lassen später ein Bauteil versagen, etwa durch einen Riss oder eine Pore. Gelänge es, die Größe dieser Fehler auf die Korngröße im Gefüge zu begrenzen, könnte die Festigkeit um das Fünf- bis Zehnfache gesteigert werden – verglichen mit heutigen Keramikwerkstoffen. Deshalb interessieren sich die Wissenschaftler des FORKERAM für neuartige Herstellungsverfahren zur fehlerfreien Fertigung, die insbesondere molekulare sowie biologische Organisationsprinzipien ausnützen. Das Verhalten eines solchen Werkstoffs oder Bauteils ließe sich wesentlich verlässlicher vorhersagen. Damit könnten Hochleistungskeramiken in Anwendungsbereiche vordringen, die ihnen bislang aus Sicherheitsgründen verwehrt waren: etwa in Flugzeugturbinen oder langzeitstabilen medizinischen Implantaten.

### Große Erwartungen

Schon heute finden sich Hochleistungskeramiken vielerorts im Alltag, etwa in Zündkerzen oder Elektrobauteilen. Doch mit neuen Verfahren, die den Zugang zu festeren und auch kostengünstiger herstellbaren Werkstoffen eröffnen, dürften sich weit aus mehr Anwendungen realisieren lassen. Große Erwartungen verbinden die Forscher beispielsweise mit den so genannten Kompositkeramiken, die neben dem keramischen Grundmaterial noch weitere Komponenten enthalten. Keramik-Metall-Komposite können in Hochleistungsbremsen von Automobilen oder

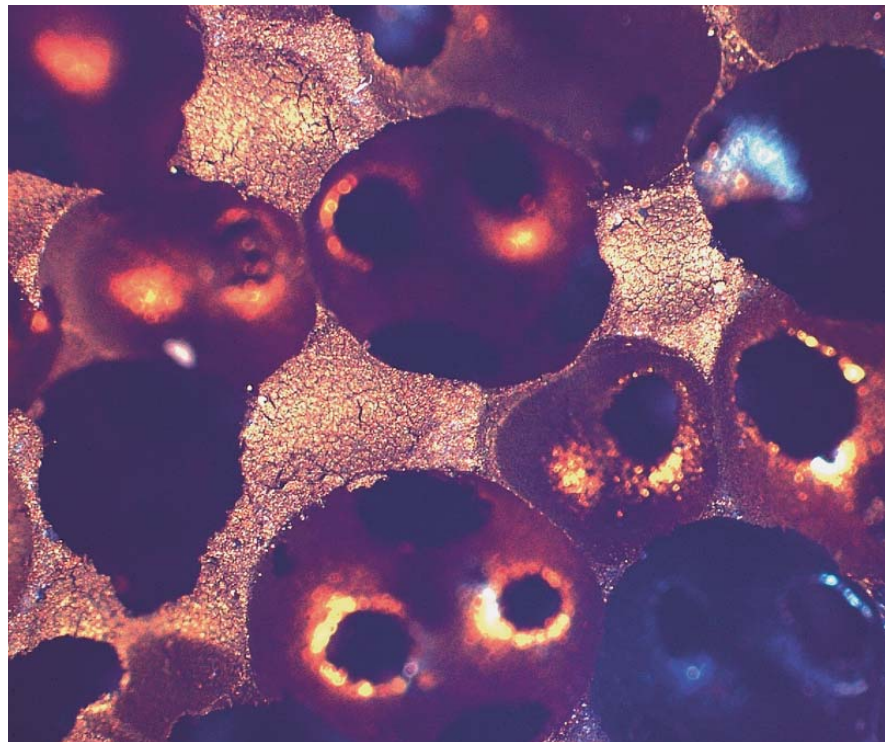


Schienenfahrzeugen eingesetzt werden und diesen eine weit bessere Leistungsfähigkeit und Lebensdauer verleihen.

Auch faserverstärkte Kompositkeramiken bieten wegen ihrer außergewöhnlich guten mechanischen Hochtemperaturstabilität – bei minimalem Gewicht – ein großes Anwendungspotenzial. Dieses wird jedoch wegen der hohen Herstellungskosten bislang nur in der Raumfahrt und Militärtechnik genutzt. Gelänge es, die Werkstoffe billiger herzustellen, würden sie ihr technisches Potenzial auch in Bereichen wie Energieerzeugung, Umwelttechnik sowie Verkehrstechnik entfalten können.

### Schlüsselkomponenten für Innovationen

Eine weit größere Bedeutung als diese so genannten Strukturkeramiken haben die als Funktionskeramik bezeichneten Werkstoffe, bei denen es auf spezielle Eigenschaften – etwa elektrischer oder magnetischer Art – ankommt. Ihre Position dürfte in den kommenden Jahren noch an Gewicht gewinnen, so die Einschätzung der Mitarbeiter des FORKERAM. Dies gilt besonders für die ferroelektrischen Keramiken. Ihnen kommt eine Schlüsselrolle in der mobilen Kommunikationstechnologie sowie der Informationsverarbeitung zu. Vor allem elektro- und akustooptische Keramiken als Kopplerkomponenten in hochintegrierten Bauteilen werden nach Einschätzung der Fachleute auf diesem Gebiet weiter an Bedeutung gewinnen. Deutliche Fortschritte erwartet man ebenso auf dem Gebiet



**Struktur und die Eigenschaften offenzelliger Keramikschaume lassen sich durch den Zusatz von Füllstoffen (hier: Quarzmehl) beeinflussen.**

der piezoelektrischen, pyroelektrischen und magneto-resistiven Keramiken. Ihre Anwendung in Sensoren und Aktoren sowie in gekoppelten, so genannten adaptiven Systemen dürfte künftig weiter zunehmen. Die adaptiven Keramikmaterialien und -bauteile sind wegen ihrer ausgezeichneten Stabilität gegen hohe Temperaturen und chemische Einflüsse von großer Bedeutung für das schnell wachsende Gebiet der mikroelektromechanischen Systeme

(MEMS). Schließlich werden auch die keramischen Halbleitermaterialien mit großer Bandlücke eine immer größere Rolle auf dem Gebiet der Leistungselektronik in der Steuerungs- sowie der Lasertechnik spielen.

Ein ebenfalls stark wachsendes Gebiet sind schließlich die nanoskaligen Biokeramiken. Denn keramische Partikel, die nur wenige Nanometer (ein milliardstel Meter) groß sind, gewinnen für die Medizin sowohl in der

---

**Prof. Dr. Peter Greil** (geb. 1954) ist Inhaber des Lehrstuhls für Werkstoffwissenschaften (Glas und Keramik) der Universität Erlangen-Nürnberg und war Sprecher des Bayerischen Forschungsverbundes für keramische Materialentwicklung und Prozesstechnik FORKERAM. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Grundlagen moderner Herstellungstechniken von Keramiken und Verbundwerkstoffen, biomimetische Materialsynthese, Polymerkeramik und Aufbau und Eigenschaften von Hochleistungskeramiken.

---

Diagnostik als auch in der Therapie an Bedeutung. Einerseits sind sie von außerordentlichem Interesse als biokompatible Werkstoffe in der Prothetik und dem sogenannten Tissue-Engineering. Andererseits entstehen durch die Kupplung von keramischen Nanopartikeln mit Biomolekülen wie Enzymen, Antikörpern oder Rezeptoren neuartige kolloidale Reagenzien, die als Biomarker und Biosensoren im Bereich der medizinischen Diagnostik Einsatz finden können. Für therapeutische Anwendungen sind Nanopartikel-Trägersysteme von Interesse. Anwendungsbereiche sind zum Beispiel die so genannte Gene-Gun-Technologie für die biologische Transfektion von Organismen oder auch die genetische Immunisierung mit DNA. Weiterhin eignen sich keramische Trägerpartikel für Verfahren, die auf speziellen physikalischen Effekten beruhen wie etwa die lokale Hyperthermie oder die Tumorbehandlung mittels lokaler Bestrahlung mit Radionukliden.

All diese Forschungsfelder zeigen auf, dass die Werkstoffwissenschaftler eine starke Vernetzung mit unterschiedlichen Disziplinen wie der Fertigungs- und Produktionstechnik, der Biologie und Medizin sowie den interdisziplinären Ingenieurwissenschaften (Mikrotechnik, Mechatronik, Chemie- und Bioverfahrenstechnik) anstreben. Keramik wird

sich im Zuge dieser Entwicklung vom heutigen Massenwerkstoff zum anwendungsspezifischen Designwerkstoff wandeln, der auf die systemspezifischen Anforderungen des Anwenders hin maßgeschneidert wird. Diese High-Tech-Keramiken werden die Schlüsselkomponenten technischer Innovationen sein, wie beispielsweise auf dem Gebiet der Energieerzeugung mittels Photovoltaik, der Verkehrstechnik – wo Keramik moderne Hochleistungsantriebe für Schienenfahrzeuge und sicherheitstechnische Komponenten der Fahrzeugtechnik möglich macht –, der Umwelttechnik sowie der Medizin – etwa in intelligenten Herzschrittmachern.

# HEILUNGSFÖRDERNDE IMPLANTATE

Gottfried Schmalz

Die Zukunftsvision in der Entwicklung von Werkstoffen in der Zahnmedizin sind Materialien, die aktiv in Heilungs- und regenerative Vorgänge des Organismus eingreifen: Denkbar sind bakterienabweisende Oberflächen und die gezielte Freisetzung von biologisch aktiven Molekülen. Hier bietet sich eine enge Zusammenarbeit mit anderen medizinischen Fachrichtungen wie Chirurgie und Orthopädie an.



**D**ie Menschen werden immer älter – und sie bleiben bis ins hohe Alter fit. Die „ersetzen-de Medizin“ macht es möglich: Wer früher wegen eines kaputten Knie- oder Hüftgelenks nur mühsam und unter Schmerzen gehen konnte, braucht heute mit einem neuen Gelenk nicht auf Spaziergänge und Reisen zu verzichten.

Dabei spielen innovative Werkstoffe eine entscheidende Rolle. Bisher konzentrierte man sich in der Werkstoffentwicklung auf die durch Messapparaturen gut erfassbaren mechanischen Eigenschaften, doch zunehmend rückt heute das Zusammenspiel dieser Werkstoffe mit dem lebenden Gewebe in den Mittelpunkt der Diskussion. Dabei geht es nicht wie bisher nur darum, Materialien zu entwickeln, die keine negativen Eigenschaften besitzen – für derartige Probleme zeichnen sich Lösungen ab.

## Modifizierte Oberflächen

Eine wesentlich wichtigere Rolle werden in der Zukunft Werkstoffe spielen, die aktiv in Heilung und Regeneration des Organismus eingreifen. Entscheidend ist die Oberfläche des Werkstoffs. Sie kann so glatt sein, dass Bakterien „abrutschen“ – das verhindert Infektionen, z.B. bei Implantaten. Umgekehrt kann eine Oberfläche so beschaffen sein, dass der Körper Zellen darauf ablagert und damit das Implantat – das z.B. einen Zahn ersetzt – in den Organismus integrieren kann. Ideal wäre natürlich ein Werkstoff, der beides kann: infektiöse Bakterien abweisen und körpereigene Zellen aufnehmen. Werkstoffe mit modifizierten Oberflächen (z.B. Titan) sowie so genannte Hybridmaterialien bieten dafür gute Chancen. Letztere vereinen die Vorteile von zwei Werkstoffen, man mischt z.B. Kunststoff mit fein gemahlenem Glas oder Keramik.

---

**Prof. Dr. Gottfried Schmalz** (geb. 1946) ist Leiter der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Regensburg und Forschungsgruppenleiter im Bayerischen Forschungsverbund Biomaterialien FORBIOMAT. Seine Forschungsschwerpunkte sind zahnärztliche Werkstoffe und ihre Biokompatibilität, Knochenregeneration im Zahnhalteapparat und die Entwicklung von Alternativmethoden zu Tierversuchen.

---

Aber Implantate können noch mehr: Sie können Regenerationsmechanismen des Körpers in Gang setzen. Schon heute verschaffen sich zahnärztliche Implantate festen Halt durch spezielle Membranen, die das Wachstum des Kieferknochens anregen. Derartige Membranen (resorbierbare Werkstoffe) können auch bei Parodontitis, also der Erkrankung des Zahnhalteapparates, neues Knochenwachstum anregen. Die Membranen setzen einerseits Wachstumsfaktoren frei, andererseits hindern sie Bindegewebs- und Deckzellen (Epithelzellen) daran, in den Knochendefekt einzuwandern, was sein Wachstum verhindern würde. Sie können zukünftig auch mit Wachstumsfaktoren beladen werden. Schon lange stimulieren Zahnärzte auch mit Kalziumhydroxid als Bestandteil von Füllungen die Neubildung von Zahnbein (dem Hauptbestandteil der Zähne).

### Steuerbare Regeneration

Dieser Vorgang kommt nach gewisser Zeit von selbst zum Erliegen. Die Herausforderung der Zukunft ist, eine solche Regeneration nicht nur zu initiieren, sondern auch gezielt zu steuern: Die Werkstoffe der Zukunft starten und beenden die körpereigene Regeneration mit Signalmolekülen, z.B. Wachstumsfaktoren. Zahnfüllungen bestehen dann im Inneren aus einem Gelee, das die Neubildung von Zahnbein so lange stimuliert, bis das Loch wieder geschlossen ist. Klassisches Zahnfüllungsmaterial verwendet der Zahnarzt dann nur noch, um das mit dem Ge-

lee gefüllte Loch nach außen zu verschließen, also den Zahnschmelz zu ersetzen.

### Entwicklungsstrategie

Um diese Ziele zu erreichen, müssen Industrie und Hochschule Hand in Hand arbeiten. Im Bereich der Zahnmedizin hat sich in den vergangenen Jahren eine Arbeitsteilung entwickelt: Die forschende Industrie widmet sich der Entwicklung und Konstruktion neuer Werkstoffe, die Hochschulen konzentrieren sich auf die präklinische und klinische Prüfung dieser neuen Materialien. Diese Kooperation sollte in Zukunft noch intensiver werden. Um besser zu einer gemeinsamen Entwicklungsstrategie zu kommen, könnten Industrie und Hochschulen für eine gewisse Zeit – ein halbes oder ganzes Jahr etwa – ihre Mitarbeiter austauschen, die in dieser Zeit dann die jeweils „andere Welt“ kennen lernen.

Die Möglichkeiten der heilungsfördernden Werkstoffe beschränken sich nicht auf die Zahnmedizin. Membranen, die den Kieferknochen wachsen lassen, sind auch für die Orthopädie oder Unfallchirurgie interessant. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Rahmen von FORBIOMAT profitieren Chirurgen und Orthopäden von den Erfahrungen der Zahnmedizin mit heilungsfördernden Werkstoffen.

# WERKSTOFF-VISIONEN

Karlheinz G. Schmitt-Thomas

**Der Weg zu neuen, innovativen und konkurrenzfähigen Produkten führt über neue Werkstoffe mit Eigenschaften, die höchste Anforderungen erfüllen. Dazu gehören hohe Temperaturbeständigkeit, hohe Festigkeit bei gleichzeitig guter Sprödbrochbarkeit sowie hohe Beständigkeit gegen Verschleiß und Korrosion. Weitere Forderungen an die neuen Werkstoffe sind gute Verarbeitbarkeit, der schonende Umgang mit Ressourcen und die Möglichkeit der stofflichen Wiederverwertung bzw. der umweltgerechten Entsorgung. Komplexe Materialien für komplexe Anwendungen erfordern neue, interdisziplinäre Ansätze in der Forschung und bei der Ausbildung der Ingenieure.**

## Neue Akzente

Eindrucksvolle technische Entwicklungen gehen Hand in Hand mit der Entwicklung neuer Werkstoffe: Dies gilt für den Triebwerksbau genauso wie für die Luft- und Raumfahrttechnik, die Energieerzeugung oder die Medizintechnik. Die Frage nach dem Stand der Werkstoffwissenschaften in der Zukunft lässt sich nicht loslösen von der Abschätzung technischer und gesellschaftlicher Entwicklungen, die neue, höhere Anforderungen an Materialien stellen. Entsprechend sind künftige materialwissenschaftliche Ziele und Entwicklungen unmittelbar verknüpft mit wichtigen Schwerpunkten in der wissenschaftlich-technischen Entwicklung. Technische und gesellschaftspolitische Trends und Forderungen, die sich in der Entwicklung neuer Materialien niederschlagen werden, sind Umweltverträglichkeit, Menschengerechtigkeit, technische Sicherheit, Ressourcenschonung, optimale Energieausnutzung, Innovationen in der Kommunikationstechnik und umweltgerechte Entsorgung.

Diese Forderungen weisen viele Abhängigkeiten untereinander auf, beginnend von der Erzeugung über die Verarbeitung und Nutzung hin zur Wiederverwertbarkeit der Materialien. Es ist zu erwarten, dass wichtige Forschungs- und Entwicklungsakzente im weitem Spektrum der Werkstoffe auf folgenden Gebieten liegen werden:

- Steigerung der Festigkeit bei gleichzeitiger Steigerung der Zähigkeit,

- Erhöhung der Warmfestigkeit bis zu sehr hohen Anwendungstemperaturen,
- erhöhte Verschleißbeständigkeit,
- verbesserte Korrosionsbeständigkeit,
- angepasste Verarbeitbarkeit durch neue Verfahrenstechniken,
- Erfüllung spezieller Anforderungen u.a. in der Fotovoltaik (Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht) und bei Hochtemperaturbrennstoffzellen, in der Energieübertragung und der Datenverarbeitungsgeschwindigkeit,
- intelligente Werkstoffe bzw. intelligente Strukturen („Smart Structures“),
- Werkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe,
- Verrottbarkeit oder umweltfreundliche Verbrennbarkeit.

## Zukunftsperspektiven

Aufgrund der Bandbreite der Materialwissenschaften lässt sich die Frage nach einem Zukunftsszenario in diesem Wissensbereich nur exemplarisch beantworten. Es soll auf die so genannten Struktur- bzw. Konstruktionswerkstoffe beschränkt werden, also auf tragende Bauteile, die die eigentliche Struktur eines Gegenstandes darstellen. Außer Betracht bleibt hier die Festkörperphysik mit bedeutsamen Themen wie der Entwicklung von Bauelementen für die Nanotechnik oder der Steigerung von Datenverarbeitungsgeschwindigkeiten durch Nutzung quantenphysikalischer Vorgänge.

Innerhalb der Strukturwerkstoffe wiederum sind Forschungsthemen



spezifisch auf die einzelnen Werkstoffgruppen ausgerichtet, also auf Polymere (Kunststoffe), Metalle, Keramik, Verbundwerkstoffe und Beschichtungen. Das Entwicklungspotenzial jedes Werkstoffs ist begrenzt durch seine Festigkeit und Temperaturbeständigkeit. So zeichnen sich für jede Gruppe individuelle Entwicklungstrends ab.

### Kunststoffe

Bei Polymermaterialien stehen die Erhöhung der Einsatztemperaturen, die Verbesserung der Alterungsbeständigkeit und umweltverträgliche Entsorgung im Mittelpunkt. Leichtmetalle (Aluminium, Magnesium, Titan) sollen korrosionsbeständiger werden und es gilt, angepasste Verarbeitungs- und energiesparende Erzeugungsverfahren zu entwickeln.

### Metalle

Bei Eisenbasismetallen kann die (Warm-)Festigkeit und Kriechbestän-

digkeit erhöht werden; neue Wärmebehandlungs-Verfahren sollen die Materialeigenschaften verbessern, z.B. die Härte von Stahl steigern. Die Umformbarkeit der Metalle kann durch die so genannte umformunterstützende Phasenumwandlung erleichtert werden (TRIP-Stähle). Hochtemperaturlegierungen (Nickel/Kobalt-Basis) erfordern Entwicklungen auf dem Gebiet der Formgebung, vor allem neue Techniken für das Umformen dieser hitzebeständigen Materialien. Innovationsbedarf besteht auch bei den Füge-technologien, also den Methoden zum Zusammenfügen von Bauteilen durch Schweißen, Löten und Kleben.

### Keramiken

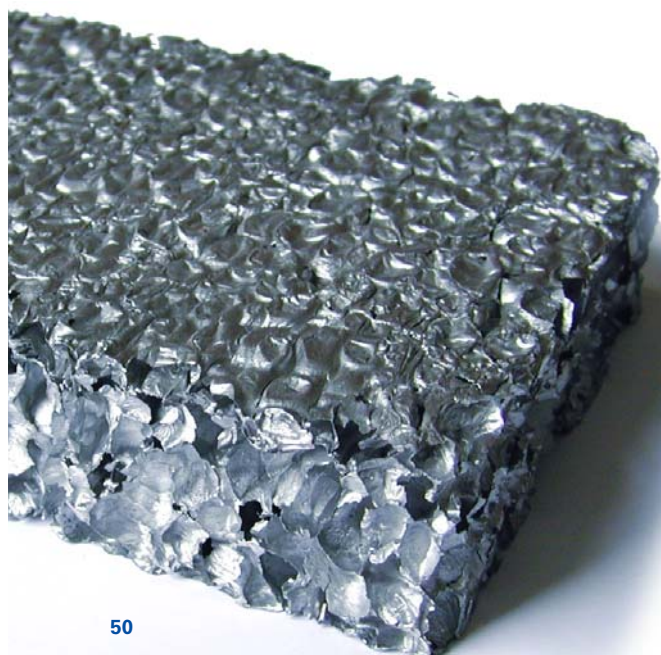
Keramiken bieten in vielerlei Hinsicht ein hohes Entwicklungspotenzial durch ihre Hochtemperaturbeständigkeit, ihren hohen Verschleißwiderstand und ihre Beständigkeit gegen

äußere Einflüsse. Im Mittelpunkt stehen bei Keramiken Verarbeitungsfragen, wie z.B. Füge-technologien und vor allem die Steigerung der Bruchfestigkeit.

Außerordentlich bedeutsame Forschungsthemen werden sich übergreifend über alle Werkstoffgruppen aus der Entwicklung von Verbundmaterialien ergeben. Sie haben ein großes Potenzial, die Grenzen der Werkstoffgruppen zu durchbrechen und scheinbar unvereinbare Eigenschaften in maßgeschneiderten neuen Materialien zu kombinieren.

Dabei spielen Beschichtungen eine immer größere Rolle, da die Anforderungen an die Bauteiloberfläche andere als an den Bauteilquerschnitt sind. Letzterer hat vor allem den Festigkeitsanforderungen zu genügen, während die Oberfläche dem Verschleiß durch die umgebenden Medien, Temperaturen und mechanischen Einwirkungen widerstehen muss. Eine Zukunftsvision, die sich durch Beschichtung erfüllen kann, ist die ölfreie Maschine und insbesondere das ölfreie Getriebe. Auch in der Biomedizin werden Beschichtungen im Hinblick auf Körperverträglichkeit einen wichtigen Beitrag leisten.

Ein ebenso übergreifendes Thema sind die „intelligenten“ Materialien („Smart Materials“), z.B. Formgedächtnislegierungen („Shape Memory“ Metalle), die heute in Zahnspangen ebenso wie in der Raumfahrt ihre Anwendung finden. Tatsächlich sollte jedoch eher von „Smart Structures“ als von „Smart Materials“ die Rede sein, denn es



**Extrem leichter Aluminiumschaum zur Aufnahme hoher Verformungsenergien.**





sind Werkstoffverbunde, in denen tatsächlich beanspruchungsangepasste und steuerbare Bauelemente zu realisieren sind. Beispielsweise ein Flugzeugflügel, dessen Wölbung sich mittels piezoelektrischer Elemente, also durch das Anlegen einer elektrischen Spannung, für jede Phase des Fluges ideal einstellen lässt. Heute wird die Formveränderung für die Landung durch mechanische Klappen erreicht. Ebenfalls durch unterschiedliche Spannungen lässt sich die Fließfähigkeit so genannter elek-

torheologischer Flüssigkeiten verändern, etwa in einem Bereich zwischen einem zähen Honig und Wasser. In Metallschäume eingebracht eröffnen solche Flüssigkeiten die Möglichkeit, Federungen oder die Steifigkeit von Bauelementen quasi per Knopfdruck zu verändern.

### Verflechtungen

Als interdisziplinäres Fachgebiet ist Forschung und Entwicklung im Bereich der Materialwissenschaften in hohem Maße auf die Verknüpfung

**Das solargetriebene Helios-Flugzeug erreicht eine Höhe von derzeit 23 km und soll in naher Zukunft als erdnahe Satellit eingesetzt werden. Das Zusammenwirken von 62 000 Solarzellen aus Silizium in Kombination mit einer Ultraleichtbauweise der Tragfläche aus Verbundwerkstoffen ermöglichte diesen Höhenflug am 14. Juli 2001 über Hawaii. (Foto Nasa)**

---

### **Prof. Dr.-Ing. Karlheinz G. Schmitt-Thomas**

(geb. 1928) ist emeritierter Ordinarius für Werkstoffe im Maschinenbau und Sprecher des Bayerischen Forschungsverbundes Materialwissenschaften FORMAT. Seine Forschungsschwerpunkte sind bauteilbezogene Werkstoffanwendung, Beschichtungstechnologie, zerstörungsfreie Prüfverfahren und die Schaden- und Schwachstellenanalyse.

---

mit anderen technischen und naturwissenschaftlichen Fächern angewiesen. Das ergibt sich logisch aus der Abhängigkeit des technischen Fortschritts von den verfügbaren Materialien. Ebenso ermöglichen Fortschritte in anderen Fachgebieten neue Methoden zur Erzeugung, Be- und Verarbeitung der verschiedenen Materialien. Zu nennen sind hier die Lasertechnik, die Plasmatechnologie und schließlich auch die Möglichkeiten der Raumfahrt: Im Weltall lässt sich der Einfluss der Schwerelosigkeit bzw. der Mikrogravitation unter anderem auf Gießen und Erstarren der Werkstoffe untersuchen. Auch die Ergebnisse der Schaden- und Schwachstellenforschung liefern neue Ansatzpunkte für innovative und verbesserte Konzepte bei der Werkstoffbe- und -verarbeitung ebenso wie bei der beanspruchungsgerechten Gestaltung.

Schließlich zeichnen sich Verknüpfungen zwischen Werkstoffherzeugung und Gentechnik ab. Sie haben das Potenzial, bei Naturprodukten wie etwa Holz oder Schilf gezielt Eigenschaften für eine technische Anwendung einzustellen. Dies öffnet nicht zuletzt neue Horizonte für nachwachsende Rohstoffe.

Betrachtungen zur Entwicklung und Verflechtung der Werkstoffwissenschaften laufen darauf hinaus, Innovationszentren für Werkstoffe, Produkte und Fertigungsverfahren zu schaffen, die eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gewährleisten. Solche Zentren sollten eine enge Verknüpfung zwischen Werkstoffentwicklung und -anwendung herstellen

und damit weit über spezielle Zentren für Werkstoffe oder für Produktentwicklung oder Fertigungstechnologie hinaus gehen.

### **Über den Tellerrand**

Analog dem anzustrebenden zukünftigen Standort der Werkstoffwissenschaften ist die Ausbildung des auf Konstruktion und Fertigung spezialisierten, d.h. des produktorientierten Ingenieurs, sehr viel enger mit der Materialwissenschaft zu verzahnen. So werden z.B. immer stärker die Werkstoffherzeugung und die Einstellung der Werkstoffeigenschaften ganzheitlich zusammen mit der Herstellung des Produkts zu betrachten sein – etwa wenn bei pulvermetallurgischen Verfahren ein Bauteil ohne Zwischenschritt aus einem metallischen Pulver entsteht. Wird doch bei solchen Verfahren der endgültige Werkstoffzusammenhang erst gleichzeitig mit der Fertigung des Produkts geschaffen. Es mutet bei den zukünftigen Entwicklungen immer mehr als Anachronismus an, wenn noch Ingenieure ausgebildet werden, die nur wenig oder gar keine Berührung mit der materialwissenschaftlichen Forschung und mit neuen innovativen Materialien haben.

# FETT ADE – SCHICHTEN SCHMIEREN SAUBERER



Marc Steinmann, Harald Meerkamm

**Weltweit werden ökologische Aspekte in Zukunft noch stärker an Bedeutung gewinnen. In vielen Bereichen des täglichen Lebens verursachen Reibung und Verschleiß erhebliche Kosten, die verwendeten Schmierstoffe sind zumeist ökologisch problematisch. Die Beschichtungstechnologie bietet das Potenzial zur Verringerung von Reibung und Verschleiß bei weitgehendem oder vollständigem Verzicht auf umweltschädliche Schmierstoffe und gleichzeitiger Kosteneinsparung. Die Beschichtung von Lagern, Zahnrädern und anderen Maschinenteilen wird daher in Zukunft verstärkt in Alltagsprodukten Einzug halten. Durch Entwicklung neuartiger Schichtsysteme sowie geeigneter Simulations- und Expertensysteme wird Produktentwicklern die Möglichkeit zur Auswahl optimaler, für die Anwendung problemangepasster Beschichtungen zur Verfügung stehen.**

**N**achhaltigkeit, die Schonung endlicher Ressourcen, ist das Gebot der Stunde. Bei allen technischen Systemen, sei es in Maschinen, in Fahrzeugen oder in der Medizintechnik, führt Reibung zu höherem Energiebedarf und Verschleiß, also zum Verbrauch von Ressourcen, auch für Schmierstoffe und den Ersatz von Maschinenbauteilen. Und Schmierstoffe sind zudem ökologisch problematisch: Sie können das Grundwasser gefährden und lassen sich oft nur unter besonderen Vorkehrungen umweltschonend entsorgen. Die nachhaltige Al-

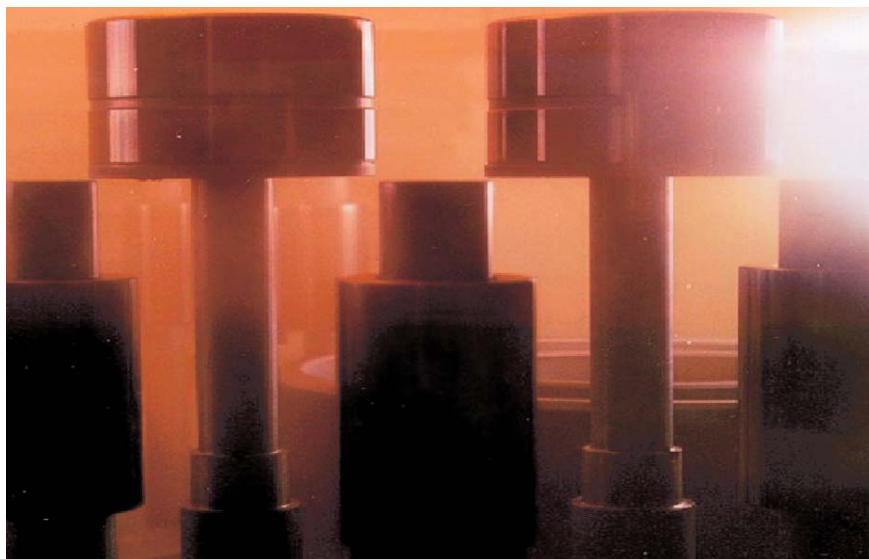
ternative zu Schmierstoffen sind spezielle, besonders glatte und harte Beschichtungen der belasteten Bauteiloberflächen.

## Umweltschonende Beschichtungsverfahren

Statt mit ökologisch sehr problematischen galvanischen Verfahren bringt man solche Schichten heute in vielen Fällen mit Hilfe der Plasma-Oberflächentechnik auf, kurz PVD (Physical Vapor Deposition). Ein Plasma ist ein ionisiertes, also elektrisch leitendes Gas; Leuchtstoffröhren enthalten zum Beispiel so ein Plasma. Um



## Fett ade – Schichten schmierer sauberer



**Blick in die Plasma-Kammer einer PVD-Anlage während der Titan-Aluminiumnitrid-Beschichtung mit Hilfe der Magnetron-Kathodenzerstäubung. Im Bild Tassenstößel, die in KFZ-Motoren Verwendung finden.**

eine Metalloberfläche zu beschichten, verwendet man als Plasma ein Edelgas, meist Argon. Das Beschichtungsmaterial wird in einer Vakuumkammer mit diesem Plasma durch Verdampfen oder mechanisches Zerstäuben ebenfalls in einen gasförmigen Zustand überführt und kondensiert dann auf dem zu beschichtenden Bauteil. Abgesehen von elektrischer Energie, Arbeitsgas und Beschichtungsmaterial werden keine weiteren Betriebsstoffe benötigt, es fallen im Wesentlichen keine problematischen Rückstände an.

### Reibungsmindernd und verschleißfest

Maßgeschneiderten Oberflächenbeschichtungen auf Basis von PVD-Verfahren wird in Zukunft wachsende Bedeutung zukommen. Ihre erste Anwendung fanden sie als Verschleißschutzschichten für Schneidwerkzeuge, um deren Lebenszeit zu verlängern. Inzwischen machen PVD-Beschichtungen Karriere als reibungsmindernde Schichten für bewegliche Maschinenelemente wie Kugellager oder Gleitführungen.

Langfristig geht der Trend zu exakt auf die Anwendung abgestimmten funktionellen Schutzschichten, die die Bauteile vor Verschleiß schützen und gleichzeitig die Funktion des Schmierstoffes übernehmen, so dass überhaupt keine Öl- oder Fettschmierung mehr erforderlich ist. Solche Schutzschichten eignen sich auch für Anwendungen, bei denen Schmierstoffe aus technischen Gründen nicht in Frage kommen: zum Beispiel Röntgenröhren, die im Vakuum und bei hohen Temperaturen rotieren – unter diesen Bedingungen verdampfen Öle oder Fette. Kugellager für Röntgenröhren werden deshalb mit Silber beschichtet. Dabei sind die mit der Plasmatechnik aufgebraachten Schichten dünner, gleichmäßiger und stabiler als die mit – noch dazu ökologisch problematischen – galvanischen Verfahren hergestellten.

Mit der erfolgreichen Beschichtung von Lagerkugeln wurde eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz so genannter trockenlaufender Linienkugellager geschaffen, mit denen sich z.B. Maschinen bewegen

lassen. Dafür kommen Kohlenstoff-Beschichtungen infrage, die eine diamantähnliche Struktur haben. Für solche Kugellager interessiert sich zum Beispiel die Nahrungsmittelindustrie, die wegen ihrer sensiblen Produkte besonders vorsichtig mit Schmiermitteln umgehen muss und gerne ganz darauf verzichten würde.

Derzeit aufgrund der noch hohen Kosten und geringen Lebensdauer nur für Sonderanwendungen wie Röntgengeräte oder die Raumfahrt wirtschaftlich relevant, werden besonders trockenlaufende Kugellager in zunehmendem Maße für „normale“ Produkte des Alltags, beispielsweise in Kraftfahrzeugen, interessant.

### Umweltfreundlich und leistungsstark

Die gleitfähigen und harten Oberflächen der beschichteten Bauteile verlängern die Nachschmier- bzw. Schmierstoffwechselintervalle bis zu einer vollständigen Wartungsfreiheit und verlängern die Lebensdauer beweglicher Bauteile erheblich. Schmierstoffverluste durch undichte Getriebe und die entsprechenden Gegenmaßnahmen werden deutlich geringer oder entfallen ganz, Maschinen müssen seltener gewartet oder repariert werden, der Schmiermittelbedarf sinkt – das alles senkt die Kosten, ist aber gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit. Zwar ist der Energieaufwand zum Erzeugen des erforderlichen Vakuums hoch, doch unter dem Strich fällt die Ökobilanz der Plasmabeschichtungen positiv aus. Denn bei ihrer Her-



stellung entstehen keine problematischen Nebenprodukte – im Gegensatz zur Herstellung von Schmieröl oder -fett, bei deren Produktion und Entsorgung giftige und umweltschädliche Rückstände anfallen. Die für das Plasma notwendigen Gase, z.B. Argon oder Stickstoff, stellen dagegen natürliche Bestandteile der Luft und damit keine Gefahr dar.

Das Recycling der Bauteile wird durch die Beschichtung ebenfalls deutlich erleichtert. Eine aufwändige, umweltbelastende Reinigung sowie die anschließende Entsorgung der Rückstände ist nicht nötig. Da die Schichten nur wenige tausendstel Millimeter dick sind, fallen sie im Verhältnis zum Volumen des gesamten Bauteils kaum ins Gewicht. Sie können einfach mit eingeschmolzen werden, ohne dass nennenswerte Verunreinigungen das Metallrecycling behindern.

### Fortschrittlich und intelligent

Maschinen, die keine Schmierstoffe brauchen, können einfacher – und damit preiswerter – konstruiert werden, denn Abdichtungen und Auffangvorrichtungen für austretendes Öl sind überflüssig.

Stattdessen können Beschichtungen bei der Produktentwicklung von vornherein als Funktionselement berücksichtigt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit zur Entwicklung neuartiger Produkte, bei denen die Beschichtung eine tragende Funktion übernimmt.

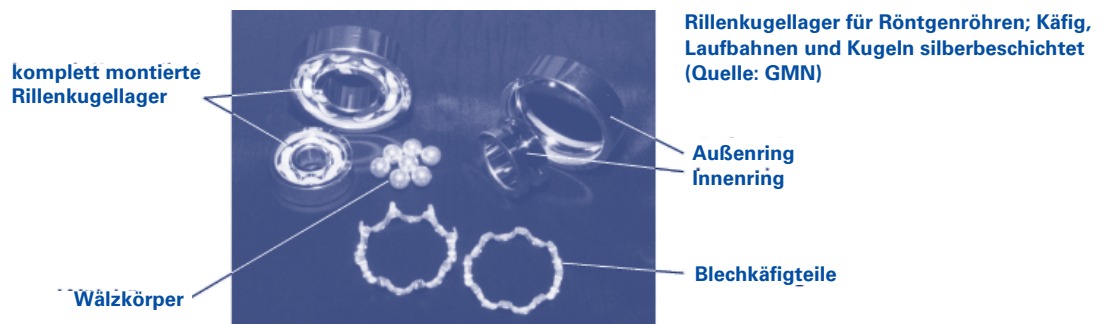
Da es keine Universalschicht für alle Anwendungen geben kann, kommt der Auswahl des geeigneten Materials entscheidende Bedeutung zu. Produktentwickler können diese Entscheidung mit der Unterstützung spezieller Expertensysteme zur beanspruchungsgerechten Schichtauswahl treffen. Dabei kann die „virtuelle Beschichtung“, also die Simulation von Beschichtungsprozessen und das Verhalten beschichteter Bauteile im Computer, wie die bekannten Crash-Simulationen in der Automobilindustrie einen Beitrag zur Kostensenkung und Verkürzung der Entwicklungszeiten leisten.

Eine interessante Möglichkeit liegt in der Nutzung von Beschichtungen für „intelligente“ Systeme, beispielsweise aus vielen dünnen Einzelschichten bestehende Schichten (Multi-Nanolayer) mit einem alternierenden Wechsel von elektrisch leitfähigen

und isolierenden Materialien, die elektronisch überwacht werden. Nun braucht ein Computer nur noch darüber Buch zu führen, wie oft die Leitfähigkeit der Beschichtung gewechselt hat, um zu „wissen“, wie weit der Verschleiß fortgeschritten ist. Eine rechtzeitige Warnung kann den Ausfall der Maschine ebenso wie eine vielleicht zu frühe Wartung „auf Verdacht“ verhindern und damit hohe Folgekosten vermeiden.

### Auswirkungen auf Hochschule, Wirtschaft und Gesellschaft

Die oben genannten Beispiele stellen lediglich einen kleinen Teilbereich des möglichen Anwendungsspektrums dar. Weitere wichtige Einsatzbereiche liegen in der KFZ-Motorentechnik, wo leistungsfähige Beschichtungen im Bereich der Einspritzsysteme die Voraussetzungen für weitere Verbrauchs- und Schadstoffreduzierungen schaffen; in der Medizintechnik, etwa bei künstlichen Gelenken und anderen Implantaten, die ja so lange wie möglich halten sollen und aus körperverträglichen Materialien bestehen müssen; oder in der Luft- und Raumfahrt mit ihren



---

**Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm** (geb. 1943) leitet den Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg und ist sowohl Forschungsgruppenleiter wie Vorstand in den Forschungsverbänden Oberflächen-, Schicht- und Trocknungstechnik FOROB und Abfallforschung und Reststoffverwertung BayFORREST. Seine Forschungsschwerpunkte sind rechnerunterstütztes Konstruieren, Integrierte Produktentwicklung, „Design for X“ und Maschinenelemente.

**Dipl.-Ing. Marc Steinmann** (geb. 1971) ist als Wissenschaftler am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik von Prof. Meerkamm an der Universität Erlangen-Nürnberg tätig und beschäftigt sich vor allem mit PVD-Festschmierstoffschichten für Wälz- und Gleitlager.

---

besonders hohen Belastungen wie dem Vakuum, in dem Öl verdampft, und den extremen Temperaturunterschieden. Die Neu- und Weiterentwicklung hochleistungsfähiger Schichtsysteme erfordert sowohl detaillierte Kenntnisse der Materialkunde (Stichwort „Neue Werkstoffe“) als auch der Plasmaphysik und Elektro- bzw. Anlagentechnik. Erst die spezifische Kombination von Materialien und Beschichtungsverfahren garantiert eine für den jeweiligen Zweck maßgeschneiderte Oberfläche.

Dabei werden die „virtuelle Beschichtung“ und die Simulation von Reibung und Verschleiß am Computer erheblich an Bedeutung gewinnen, um Entwicklungszeiten zu verkürzen und die Anzahl der notwendigen Untersuchungen zu verringern. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Anwendern ist unabdingbar, um diese Verfahren weiterzuentwickeln.

Da die reine Substitution von Öl oder Fett durch schmierwirksame Schichten alleine keine optimalen Ergebnisse liefern wird, muss die Beschichtung bereits bei der Auslegung der Bauteile berücksichtigt werden, um das Schicht-Bauteil-System im Sinne eines „beschichtungsgerechten Konstruierens“ aufeinander abzustimmen. Die Beschichtungstechnologie schafft den Raum für teilweise völlig neuartige Konzepte und Konstruktionen. Den Universitäten kommt die Aufgabe zu, zukünftigen Studentengenerationen diese Aspekte während der Ausbildung zu vermitteln. Informationssysteme

über Eigenschaften und Einsatzbereiche von Beschichtungen stecken jedoch noch in den Kinderschuhen. Bei der Erarbeitung der entsprechenden Grundlagen und Entwicklung geeigneter Simulationswerkzeuge wird die schon im Rahmen der bisherigen Forschungsaktivitäten praktizierte fächerübergreifende enge Zusammenarbeit der Institute weiter an Bedeutung gewinnen.

### Wachstumspotenzial der Beschichtungstechnologie

Die Wirtschaft kann ebenfalls mit tiefgreifenden Auswirkungen rechnen. Ein Know-how-Vorsprung in der Beschichtungstechnologie schafft neue Arbeitsplätze; bereits in der Vergangenheit zeigte die Beschichtungstechnologie ein überdurchschnittliches Wachstumspotenzial. Bei zunehmend breiter gefächertem Spektrum beschichteter Bauteile ist noch eine Verstärkung dieses Trends zu erwarten, zumal bei entsprechendem Wachstum des Marktsegmentes eine deutliche Reduktion der Anlagenkosten aufgrund der höheren Stückzahlen zu erwarten ist. Die konsequente Weiterentwicklung dieser Technologie sichert der bayerischen Wirtschaft im globalen Wettbewerb einen Spitzenplatz bei der Entwicklung zukunftsweisender, nachhaltiger Produkte.

# DIE NATUR ALS VORBILD

## Physiologisch strukturierte Werkstoffe für den künstlichen Organersatz

Roger Thull

**Werkstoffe für Medizinprodukte mit Anwendungen im menschlichen Körper erfordern zukünftig vor allem die Auseinandersetzung in Forschung und Entwicklung mit der Einstellung von individuellen Oberflächeneigenschaften. Die Vision sind intelligente Werkstoffe mit Eigenschaften, die sich am Anwendungsort nahtlos in den Organismus integrieren. Voraussetzung für die Erreichung des Zieles ist die Aufklärung kausaler Zusammenhänge der Wechselwirkungen zwischen Werkstoff und Biosystem. Dies wird die engere Kommunikation von Naturwissenschaftlern und Ärzten erfordern, um Fortschritte in diesem wichtigen Forschungsgebiet mit großem Synergiepotential zu erreichen.**

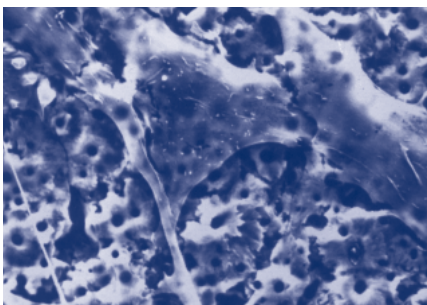
**S**o wie ein Knochen ganz anders aufgebaut ist als ein Muskel oder gar das Blut, so müssen auch Implantate individuell für ihre Funktion und ihren Einsatzort im Körper gestaltet werden. Intelligente Werkstoffe passen sich ihrer jeweiligen Umgebung an und werden vom Organismus integriert. Dazu müssen Implantate mit Blutkontakt andere Eigenschaften aufweisen als solche mit Knochenkontakt oder solche, die als Wachstums-Substrat oder Gerüst – so genannte „Scaffolds“ – für die Anzucht von Gewebe dienen („Tissue Engineering“).

### Die Oberfläche entscheidet

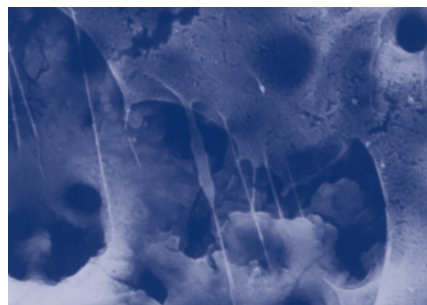
Wenn sich Zellen an der Werkstoffoberfläche anlagern sollen, können Implantat-Designer die Natur zum Vorbild nehmen und die Oberfläche des Bio-Ersatzteils mit einer Schicht so genannter Haftproteine überziehen. Das sind dieselben Proteine,

mit denen sich auch die körpereigenen Zellen aneinander festhalten. Finden diese Zellen die ihnen bekannten Haftproteine auf der Implantat-Oberfläche, integrieren sie das künstliche Material problemlos ins körpereigene Gewebe. Damit wird die Langzeitfixierung von Implantaten im tragenden Knochen des Skelettsystems entscheidend verbessert.

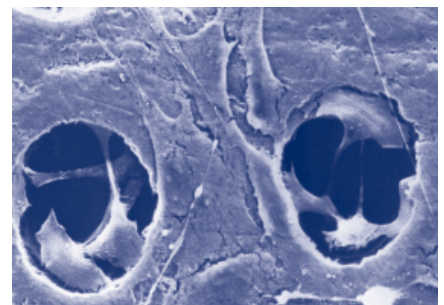
Bei Implantaten, die mit Blut in Kontakt kommen – zum Beispiel die „Stent“ genannten Drahtstützen, die Blutgefäße stabilisieren, oder künstliche Herzklappen – ist das Gegenteil erwünscht: Hier gilt es, die Blutgerinnung an der Werkstoffoberfläche zu verhindern. So ein Blutgerinnsel verengt nicht nur das Blutgefäß, sondern es kann sich auch ablösen und an anderer Stelle im Körper – schlimmstenfalls im Gehirn – eine Thrombose verursachen. Um die Blutgerinnung an einem Implantat zu verhindern, bieten sich zwei Wege



**Fibroblasten (Gewebezellen) auf einer sandgestrahlten Titanoberfläche.**



**Osteoblasten (Knochenzellen) auf einer sandgestrahlten Titanoberfläche.**



**Osteoblasten (Knochenzellen) auf einer laserstrukturierten Titanoberfläche.**

an. Einer besteht in der Vermeidung jedweder Wechselwirkung mit den Blutbestandteilen, die den Gerinnungsvorgang auslösen, d.h. die Oberfläche muss so glatt sein, dass Zellen nicht daran haften können. Die andere Möglichkeit ist, die Oberfläche des Implantats mit einem Biofilm zu überziehen, der unter anderem Wachstumsfaktoren enthält; diese Schicht fördert die Integration des Implantats in die Gefäßwand, weil sie die Entstehung einer neuen Gefäßauskleidung („Neointima“) anregt.

Im dritten Fall, den Substraten oder „Scaffolds“ für das „Tissue Engineering“, sollten die Oberflächen durchgängig poröse Strukturen aufweisen und der jeweiligen Zellart, die die Matrix des Gewebeersatzes bilden soll, bestmögliche Ansied-

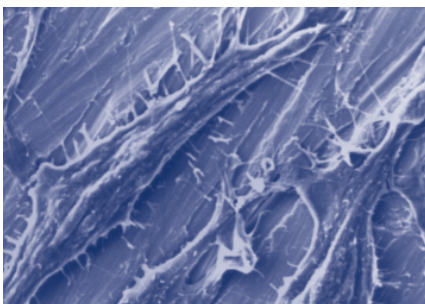
lungsbedingungen bieten. Im Idealfall wird das Substrat bzw. „Scaffold“ nach und nach abgebaut, während das neue Gewebe wächst. Diese Technik eignet sich z.B. um verlorengegangene Knochensubstanz neu zu schaffen. In diesem Fall sind es Knochenzellen (Osteoblasten) des Patienten, die auf einer solchen Matrix angezchtet werden; den so geschaffenen Knochenersatz integriert der Körper später ohne jegliche Abstoßungsreaktion.

### Methodik

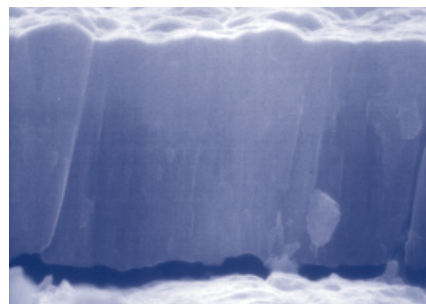
Bei der anwendungsort- und funktionsgerechten Gestaltung intelligenter Implantat-Oberflächen greifen Methoden aus verschiedenen naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen und der Medizin ineinan-

der, um die grundlegenden Probleme der Wechselbeziehungen von Struktur- und Funktionseigenschaften zu erforschen.

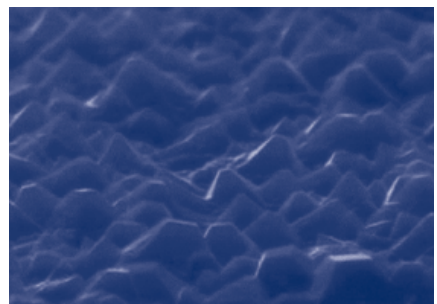
Entscheidend sind die Eigenschaften der Oberflächen, beispielsweise ihre elektronischen, physikalisch-chemischen und biologischen Charakteristika. Ihre Zusammensetzung wie auch ihre Struktur lässt sich für den Einsatzzweck und -ort im Körper individuell einstellen. Es steht ein breites Spektrum physikalischer, chemischer und biologischer Methoden zur Verfügung, um beispielsweise einer künstlichen Herzklappe eine so glatte Oberfläche zu verleihen, dass kein Blut daran gerinnen kann, oder ein künstliches Gelenk mit einer Schicht von Haftproteinen zu überziehen, damit das Implantat schneller einwächst.



**Osteoblasten (Knochenzellen) auf einer gewalzten Titanoberfläche.**

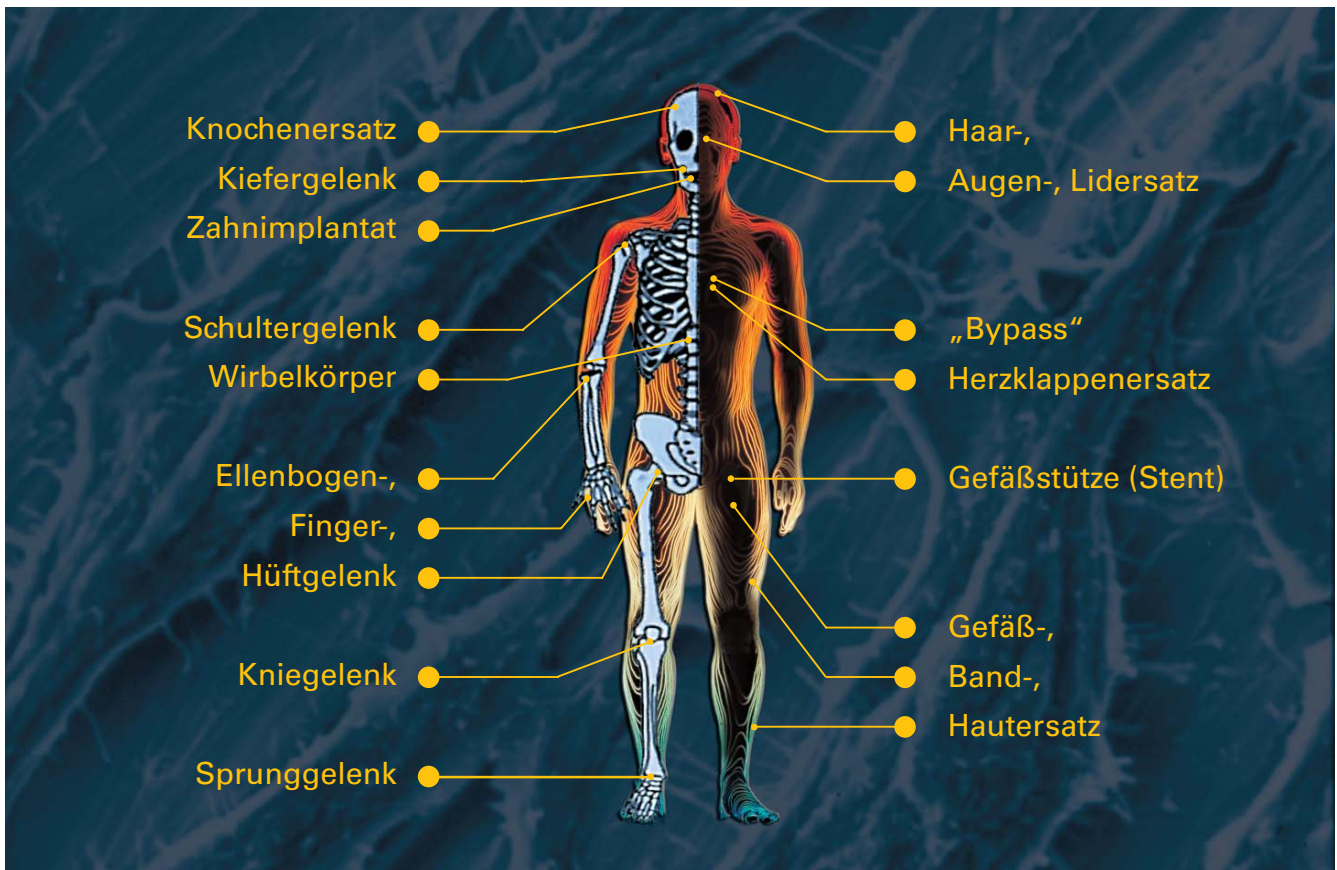


**3 µm (ein µm = ein tausendstel Millimeter) - dicke TiN-(Titanitrid-)Beschichtung einer Titanoberfläche im Querschnitt unter dem Feldemissionsmikroskop (FEM).**



**Eine dreitausendstel Millimeter dicke Titanitrid-Beschichtung einer Titanoberfläche im Querschnitt unter einem Feldemissionsmikroskop.**





An zahlreichen Stellen des Körpers können künstliche Werkstoffe zum Einsatz kommen.

### Wechselwirkungen von Implantat und Körper

Zu den relevanten biologischen Phänomenen beim Kontakt des Körpers mit Fremdkörpern gehören auch die Entstehung von nicht-bakteriellen Entzündungen – etwa durch zu starken Druck des Implantats auf Knochen oder anderes Gewebe – sowie Abstoßungsreaktionen, die das Immunsystem auslöst. Letztere lassen sich im Labor an Modellsystemen mit menschlichen Zellen experimentell überprüfen.

Biophysikalische und biologische Untersuchungen der Werkstoffe in Blut oder in Zell- und Gewebekulturen zeigen schließlich, wie der Körper auf die verschiedenen Oberflächen reagiert, z.B. ob sich Proteine beim Kontakt mit dem Implantat so verändern, dass sie ihre physiologische Rolle nicht mehr spielen können, oder ob Zellen daran haften. Diese Untersuchungen müssen sich an der klinischen Relevanz orientieren, d.h. sie müssen stets ein konkretes Implantat vor Augen haben. Damit

---

**Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. habil. Roger Thull**

(geb. 1941) ist Inhaber des Lehrstuhls für Funktionswerkstoffe der Medizin und Zahnheilkunde an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und Sprecher des Bayerischen Forschungsverbundes Biomaterialien FORBIOMAT. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Kommunikation zwischen künstlichem Werkstoff und Körperflüssigkeiten und -geweben, oberflächenmodifizierten Werkstoffen und Implantaten, die funktionsgerecht sind und ihrem Anwendungsort angepasst.

---

dient das grundlagenorientierte Schwerpunktprogramm auch der gesellschaftspolitischen Forderung, einen Beitrag für die Verbesserung von Werkstoffsystemen für Implantate zu liefern und damit die Implantologie für den Patienten sicherer und für die Volkswirtschaft kostengünstiger zu machen.

### Forschungsstrukturen

Forschungen zu modifizierten Werkstoff-Oberflächen, die im Kontakt mit dem Organismus stehen, erfordern interdisziplinär arbeitende Forschungsgruppen aus Naturwissenschaftlern und Ärzten, die entsprechend groß sein müssen um das Spektrum der mitwirkenden Disziplinen abzudecken. Allzu große Institute allerdings, die neben Wissenschaftlern auch „Wissenschaftsmanager“ erfordern, haben sich als wenig effektiv erwiesen. Ideal sind

kreativ arbeitende Verbünde zwischen verschiedenen Forschungsinstitutionen und der Industrie mit spezifischen Schwerpunkten und Fachkenntnissen. Sie können das örtlich gestreute, auf hohem Niveau etablierte Wissen bündeln, um – aufbauend auf der Grundlagenforschung und deren Ergebnissen – international wettbewerbsfähige Werkstoffe für Medizin und Zahnheilkunde mit neuen Denkansätzen zu konkreten Anwendungen in Medizinprodukten zu bringen.