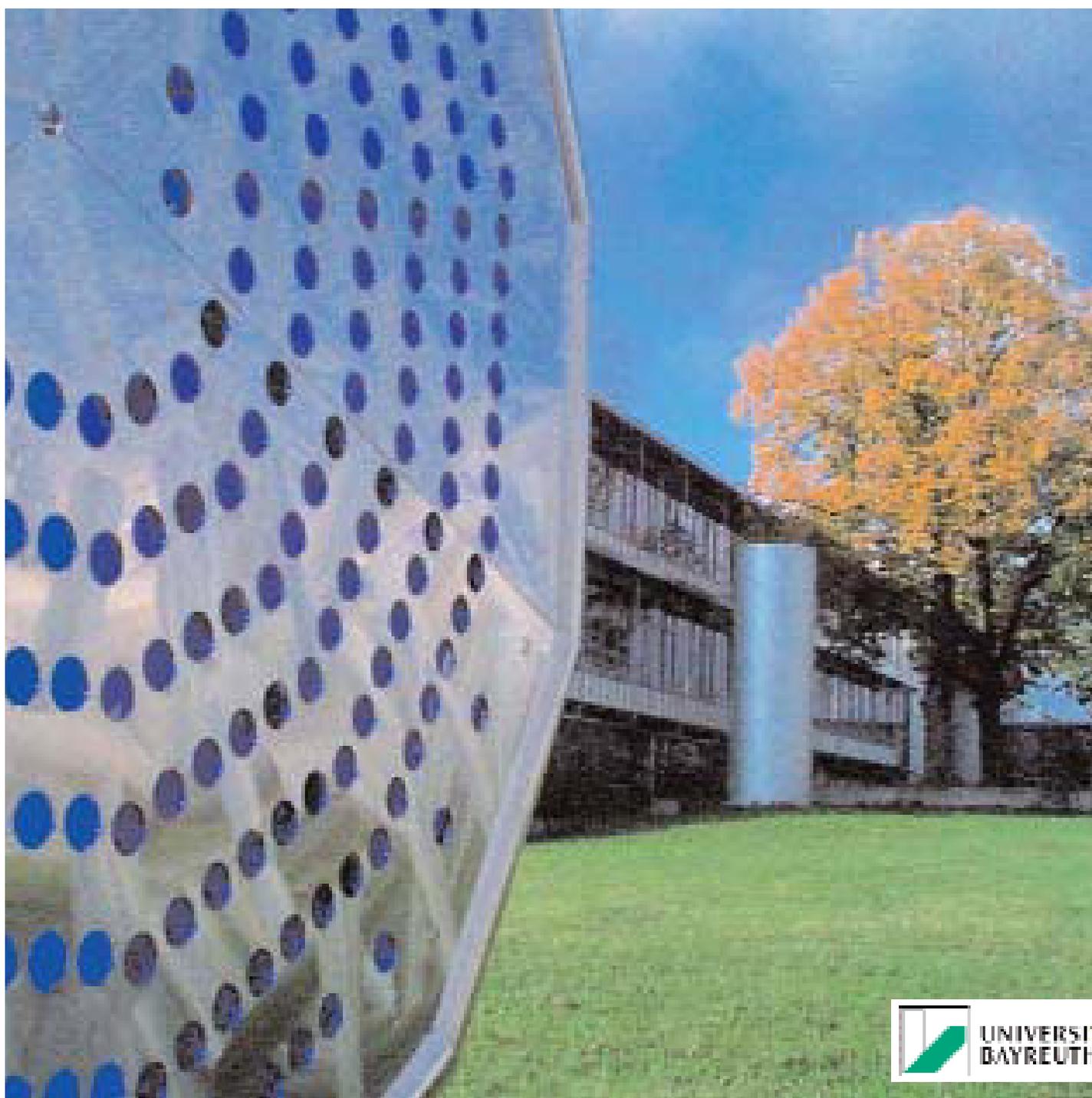


# spektrum

FAKULTÄT FÜR ANGEWANDTE NATURWISSENSCHAFTEN



# Editorial



Präsident der  
Universität Bayreuth  
Prof. Dr. Dr. h.c.  
Helmut Ruppert

In diesem Spektrum-Heft stellt sich die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften vor. Die Idee einer Verbindung von Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften wurde an der Universität Bayreuth bereits in den 80er Jahren geboren und durch ein Memorandum untermauert. Bis Ende der 90er Jahre hat es allerdings gedauert, ehe die ersten Studierenden eines Diplom-Ingenieur-Studienganges an der Universität Bayreuth begrüßt werden konnten. Mit der Bezugsfertigkeit der Gebäude der FAN konnte ein wesentlicher Schritt zur Verstärkung der Forschung und Lehre im Überlappungsbereich von Naturwissenschaft-

ten und Ingenieurwissenschaften vollzogen werden. Das Konzept der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften hat alle überzeugt: Intensive Kooperation mit den Naturwissenschaften in der Grundlagenforschung, hohe Kompetenz in der Anwendungsforschung und eine Verbindung zur praxisnahen Ingenieurtechnik. Spektrum stellt die Lehrstühle an der FAN vor - der Lehrstuhl Bioprozesstechnik wird zum 01. Januar 2003 durch Frau Professorin Dr. Freitag besetzt werden. Eine Auswahl von Forschungsprojekten soll die breite Palette der Aktivitäten gerade auch in der Anwendungsforschung darstellen.

Die Lehrstühle der FAN sind in ihren Forschungsvorhaben international vernetzt, sie geben aber auch viele Forschungsanregungen für Wirtschaftsunternehmen der Region Nordostbayern und stellen ihre gut ausgebildeten Studierenden dem Arbeitsmarkt zur Verfügung. 2003 werden die ersten Absolventen des Diplom-Ingenieur-Studienganges Materialwissenschaft ihre berufliche Karriere starten.

## Titelbild



Art meets function - die Stahlskulptur von Florian Lechner und der Gebäudeteil C der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften, kurz FAN genannt.

## Impressum

Herausgeber:  
Der Präsident der Universität Bayreuth

Redaktion: Pressestelle der Universität Bayreuth / Jürgen Abel, M.A. (verantwortlich)

Anschrift: 95440 Bayreuth  
Telefon (09 21) 55-53 23/4  
Telefax (09 21) 55-53 25  
pressestelle@uni-bayreuth.de  
<http://www.uni-bayreuth.de>

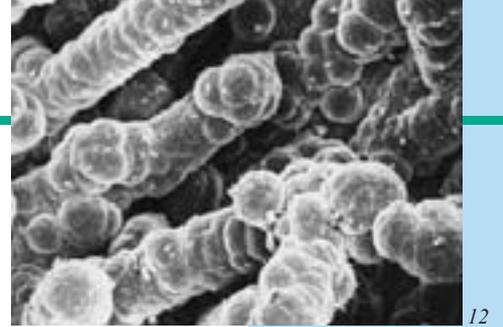
Graphische Gestaltung:  
Evi Remer/Bernd Schröder

Fotos:  
J. Abel und andere

Auflage: 5000 / dreimal jährlich  
Druck: Ellwanger Bayreuth

Kürzungen und Bearbeitung eingesandter Manuskripte behält sich die Redaktion vor.  
Alle Beiträge sind bei Quellenangaben frei zur Veröffentlichung.  
Belegexemplare sind erwünscht.

# Inhalt



12

## Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften (FAN)

Vision und Mission der FAN 4

### Lehrstühle an der FAN:

Keramik und Verbundwerkstoffe 6

Metallische Werkstoffe 8

Polymere Werkstoffe 10

Werkstoffverarbeitung 12

Technische Mechanik und Strömungsmechanik 14

Technische Thermodynamik und Transportprozesse 16

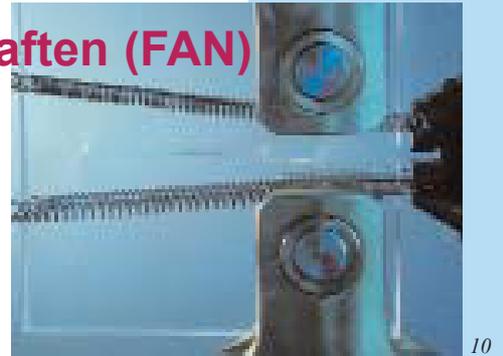
Konstruktionslehre und CAD 18

Umweltgerechte Produktionstechnik 20

Chemische Verfahrenstechnik 22

Funktionsmaterialien 24

Mess- und Regeltechnik 26



10



22

### Projekte an der FAN:

Maßgeschneiderte keramische Werkstoffe für Raumfahrt, Elektronik und Medizintechnik 28

Werkstoffgerechter Materialeinsatz: Der richtige Werkstoff an der richtigen Stelle 30

CFK-Rumpf: Faserverstärkte Kunststoffe im Flugzeugbau 32

Vom Material zum Bauteil: neue Werkstoffe aus Pulvern 34

Filmströmungen: Von regennassen Strassen, Flüssen und Hi-Tech 36

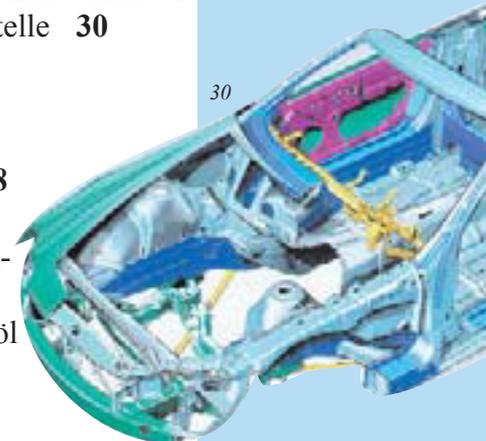
Mit Lasermesstechnik und Computersimulation zu den Motoren der Zukunft 38

Bauteiloptimierung durch Simulation - ein Beispiel aus der Praxis 40

Remanufacturing: "Die Zukunft aufarbeiten" Vielfachnutzen durch Mehrfachnutzung 42

Umweltgerechte Kraftstoffe - Neue Wege zur Tiefentschwefelung von Dieselöl und Ottokraftstoff 44

MEMS - Meister der Multifunktionalität 46



30

### News aus der FAN:

Bayreuther Zentrum für Kolloide und Grenzflächen (BZKG):

Poröse Keramik, dünne Schichten, verbessertes Processing 48

Komplexe Makromolekül- und Hybridsysteme in inneren und äußeren Feldern:

Polymerblends Nanostrukturierte Keramiken 49

Forschervereinigung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde e.V.:

Brücke zwischen Universität und Kompetenzzentrum 50

Forschungsstelle WOPAG: Innovationen aus Glas 52



### Campus

Jonglierprojekt in Venezuela 54

"Wegberufungsbilanz" der Nachwuchswissenschaftler 56

Was Kinder bewegt 60

Turbulente Verbrennung 62

Z-MNU gegen Bildungsdefizite 63



60

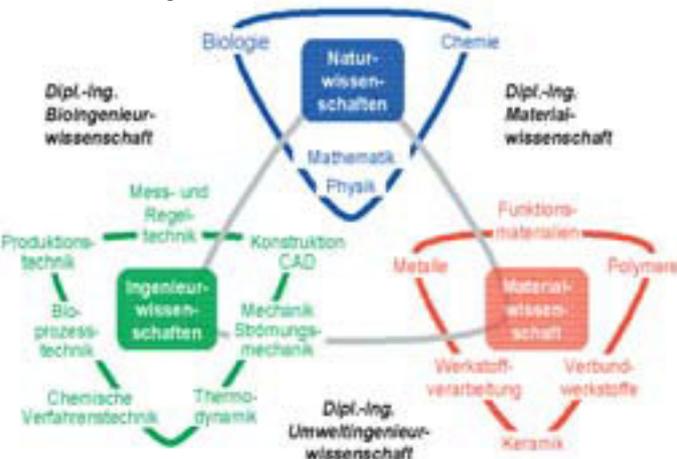
# Vision und Mission der FAN

Rolf Steinhilper

Bayreuths FANtastische Ingenieure..."- so lautete nur eines der visionären Komplimente, die Prominenz und Presse der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften (FAN) an der Universität Bayreuth spendierten, als sie im November 1999 ihre vier neuen Gebäude von Wissenschaftsminister Hans Zehetmair übergeben bekam. Der Minister erläuterte, so "die Universitäten für die Herausforderungen der globalen Welt fitzumachen" und "die Studierenden auf den Umgang mit Spitzentechnologien vorzubereiten". Dem Bayreuther Oberbürgermeister galt die FAN gar als "Hoffnungsträger der Region und Zierde der Universitätsstadt Bayreuth". Heute - genau drei Jahre danach - ist die FAN-Vision schon eine vorangebrachte Mission. Es gibt nicht nur eine "FAN-Gemeinde", sondern auch deren "Fan"-Gemeinde, die uns gute Arbeit attestiert und zur weiteren Fortentwicklung ermuntert. Einige Gedanken zu Leitmotiven und Lehrstühlen der FAN enthält dieser Beitrag.

Mit einem nahezu vollbesetzten Kollegium, einem schon reichhaltigen Forschungsportfolio sowie den ersten erfolgreichen Absolventen ihrer Studiengänge beginnt sich die FAN an den Herausforderungen und Zielen zu messen, die ihr ihre Vordenker und Gründer mit auf den Weg gaben.

FAN: Studiengänge und Wissenschaften im Dreiklang



## Herausforderung Interdisziplinarität

Interdisziplinarität von Forschung und Lehre, maßgebliches Credo der FAN, bedeutet weit mehr als nur den sprichwörtlichen „Blick über den Zaun“ zur jeweils anderen Disziplin. Wer die wesentlichen Innovationen vorantreiben will, die heute in den Grenzbereichen zwischen den Disziplinen stattfinden, muss „auf beiden Seiten des Zaunes“ sicher auf dem Boden stehen. An der FAN wird das Wort von der fachübergreifenden Zusammenarbeit nicht leichtfertig in den Mund genommen - es wird gelebt. Die Universität Bayreuth mit ihrer deutschlandweit einzigen interdisziplinären Fakultät Rechts- und Wirtschaftswissenschaften offeriert die Atmosphäre auch für die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Wissenschaften der unbelebten Materie und der belebten Natur. FAN-intern und mit den auf dem Campus benachbarten naturwissenschaftlichen Fakultäten erwecken Ingenieurwissenschaften, Chemie, Biologie, Physik und Mathematik so die Idee „Angewandte Naturwissenschaften“ zum Leben, wie die nachfolgenden Beiträge zeigen. Wer sich Lehrstühle der FAN anschaut, ob „Funktionsmaterialien“, „Werkstoffverarbeitung“ oder „Umweltgerechte Produktionstechnik“, um nur drei Beispiele aufzuführen, entdeckt Interdisziplinarität vielfach schon bei den Lehrstuhlbezeichnungen selbst.

Von auswärtigen Kollegen hört man zuweilen, dass auch sie ähnliche Konzepte für Angewandte Naturwissenschaften besprochen, dann aber kein Rezept gefunden hätten,

diese gegen interne Widerstände umzusetzen. So ist vielleicht nicht die Bayreuther FAN-Idee einzigartig, aber die Tatsache ihrer Umsetzung: Die Vision wurde zur Mission.

## Erkenntniswissen und Anwendungswissen benötigen Orientierungswissen

Parallel zur Verschmelzung getrennter klassischer Fachdisziplinen erwächst allorten die Notwendigkeit, auch die klassische Trennung von Erkenntniswissen und Anwendungswissen zu überdenken - mit Hilfe einer neuen Kategorie: Orientierungswissen.

- Erkenntniswissen repräsentiert Ergebnisse der Grundlagenforschung
- Anwendungswissen repräsentiert Ergebnisse der angewandten Forschung
- Orientierungswissen besagt, was man tun „sollte“ bzw. „darf“ und was nicht.

Zur Veranschaulichung wird gerne das folgende einfache Beispiel zitiert:

Erkenntniswissen ist die Aussage „das Messer ist spitz und scharf“; Anwendungswissen ist die Folgerung, dass man mit diesem Wissen sowohl Gutes (das Brot schneiden und mit den Armen teilen) als auch Böses (ein Kapitalverbrechen begehen) anstellen kann. Orientierungswissen besagt, welche dieser beispielhaft genannten Anwendungen erstrebenswert sind und auf welchen Wegen man sie erreicht. Dieses einfache Beispiel ist noch überschaubar.

Wer jedoch wissenschaftlich an Aufgaben arbeitet, die sich komplexer und konfliktreicher präsentieren als obiges Anschauungsbeispiel - und dies sind nicht nur Kernkraft oder Gentechnik, sondern auch weniger brisante Themen - steckt schnell tief im Dilemma zwischen Erkenntnis und Anwendung, sollte also auch Orientierungswissen bereithalten.

## Die FAN stellt sich der Verantwortung

Beispielsweise werden die Lehrstühle Metallische Werkstoffe oder Keramik und Verbundwerkstoffe Orientierung geben können, wenn Innovationen bei Implantatwerkstoffen mit deren biologischer Verträglichkeit in der Humanmedizin abgeglichen werden müssen.

Hier kommt wohl auch zum Tragen, dass die FAN stark von ingenieurwissenschaftlichem Geist geprägt ist. Ingenieure sind die Brückenbauer zwischen Forschung und Praxis - sie verbinden die wissenschaftliche Erleuchtung mit dem Blick für das Machbare - und Ingenieure bildet die FAN in ihren beiden Studiengängen ja auch aus. Unsere Absolventen der „Materialwissenschaft“ sowie der „Umwelt- und Bioingenieurwissenschaft“ werden fachübergreifend ausgebildet - ganz im Sinne der FAN-Vision, aber auch der Universitas Litterarum Alexander von Humboldts, der fünf Jahre im Bayreuther Raum tätig (und damals fest in den Natur- und Ingenieurwissenschaften verwurzelt) war.

Solche Wurzeln werden auch den interdisziplinären FAN- Studierenden zuteil : FAN- Lehrstühle und Lehrfächer wie Konstruktionslehre und CAD, Mess- und Regeltechnik, Technische Thermodynamik und Transportprozesse, Technische Mechanik und Strömungsmechanik etwa sorgen bei aller Modernität auch für die technische Solidität und Anwendungsnähe, die der Arbeitsmarkt von zukünftigen Ingenieuren erwartet - bzw. von Ingenieurinnen: etwa ein Viertel der FAN-Studierenden sind weiblichen Geschlechts! Auch sie haben ihre Freude nicht nur am Konzept, sondern auch an den neuen Gebäuden und der modernen Ausstattung der FAN. Mehrere Lehrbücher aus der Feder von FAN- Ordinarien zählen zudem zur aktuellen und angesehenen Konstruktions- und Produktions- Standardliteratur in Wissenschaft und Wirtschaft.

## Blueprint“ statt „Greencard“?

Deutschland ist nicht nur Hochlohnland, sondern vor allem Hochtechnologieland - auch wenn Produktionen zunehmend in Ländern mit günstigeren Kostenstrukturen (ent)stehen, sind Know-how und Technologie vielfach weiterhin „Made in Germany“. Blaupausen (oder „Blueprint“-)Export lautet hierfür das geflügelte Wort. Gefahr droht diesem Konzept hauptsächlich durch einen bedrohlichen Ingenieurmangel schon in naher Zukunft, den Bildungspolitik, Wissenschaft und Wirtschaft unisono vorhersagen, bzw. bereits spüren. Die FAN-Studierenden können diesen Umstand durchweg positiv sehen:

Auf sie warten glänzende Berufsaussichten. Mit einem breiten Fundus an Technologie-know-how - wozu nicht zuletzt auch die FAN-Lehrstühle Polymere Werkstoffe, Chemische Verfahrenstechnik oder Bioprozesstechnik aktuelle Wissensspektrale zuschießen, sind sie befähigt zur verantwortlichen Übernahme vielfältiger Aufgaben in Industrieunternehmen jeder Größe und verschiedener technischer Branchen, oder auch in der Wissenschaft. Sie sind vielseitig und flexibel von den biologischen und ökologischen Grundlagen über Material- und Verfahrensentwicklung bis hin zur Produktion in technischen Anlagen und den damit verbundenen Rechtsfragen.

Anders als „Greencard“-Inhabern, die man mit enger Spezialisierung im informationstechnischen Bereich unlängst hastig einschleusen zu müssen glaubte, wird umfassend ausgebildeten „Blueprint“-Experten das Tor zur (Arbeits-) Welt wohl wesentlich weiter offenstehen. Dabei kann ein Sprung in die Praxis auch schon „direkt vor der Haustür“ gelingen:

Etwa beim Bayreuther Kompetenzzentrum Neue Materialien, das als Bestandteil der HighTech Offensive Bayern und Partner der FAN ein wichtiges Bindeglied in die Wirtschaft ist.



## Think global - act local

Bewusst weltoffen präsentieren sich sowohl die Lehre als auch die Forschung an der FAN. Lehrveranstaltungen in Fremdsprachen - auch in Zusammenarbeit mit dem Sprachenzentrum der Universität Bayreuth - gehören fest zum Repertoire. Weltweit gefragt sind auch die Ergebnisse unserer wissenschaftlichen Arbeit: Engagierte Wissenschaftler aus der „kleinen“ FAN sieht und hört man regelmäßig auch auf den „großen“ Bühnen des nationalen und internationalen Parketts - in der Weltstadt München, im japanischen Forschungszentrum Tsukuba, in der amerikanischen „MotorCity“ Detroit oder beim Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg. Auch hier steht die FAN ganz im Geist der Universität Bayreuth, mit ihrer bewusst gepflegten Internationalität.

Die Mitarbeiterinnen, Mitarbeiter und Studierenden im Mikrokosmos FAN erfüllt es mit Freude, dass ihr Engagement in wenigen Jahren nicht nur Bereicherung, sondern integrativer Bestandteil des Lehr- und Forschungsangebots der Universität Bayreuth insgesamt wurde - ganz so wie der Makrokosmos Universität nicht mehr wegzudenkender Bestandteil der Stadt Bayreuth bzw. das Universum von Wissenschaft und Technik inzwischen fester Bestandteil unserer Kultur geworden sind.

# Keramik und Verbundwerkstoffe

Günter Ziegler

*Als erster Lehrstuhlinhaber der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften war Prof. Dr.-Ing. G. Ziegler maßgeblich an der Vorbereitung der Begutachtung durch den Wissenschaftsrat und dem sich daran anschließenden Aufbau der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften beteiligt. Der Lehrstuhl ist stark interdisziplinär zwischen den Naturwissenschaften, insbesondere der Chemie und den Ingenieurwissenschaften ausgerichtet. Interfakultative Kooperation ist eines der Kennzeichen des Lehrstuhls. Dies hat die Mitwirkung bei der Gründung und beim Aufbau verschiedener Zentren und Forschungsstellen an der Universität Bayreuth zur Folge. Das Konzept des Lehrstuhls beinhaltet ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung. Dieses Konzept führte zu hoher Drittmittelinwerbung, in den letzten 10 Jahren von ca. 25 Mio. DM. Aus den Erfolgen in der Materialentwicklung und speziellen Verarbeitungstechniken entwickelte sich mit dem Friedrich-Baur-Forschungsinstitut für Biomaterialien ein neuer Schwerpunkt an der Universität Bayreuth ‚Neue Materialien in der Medizintechnik‘.*



Professor Dr.-Ing. Günter Ziegler, Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe

Der Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe ist der erste Lehrstuhl der Materialwissenschaft und der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften der Universität Bayreuth. Er befasst sich mit der Entwicklung von keramischen Materialien und deren verfahrenstechnischen Umsetzung in Werkstoffe und Bauteile für spezielle Anwendungsfelder. Der Lösungsweg wird durch vier konzeptionelle Ansätze realisiert:

- Bearbeiten der gesamten Entwicklungskette von der Materialsynthese über die Werkstoffverarbeitung bis zu der Umsetzung in Modellbauteile.
- Entwicklung von neuartigen Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden auf Keramikbasis (Keramik-Keramik, Keramik-Polymer, Keramik-Metall).

- Einsatz spezieller Techniken zur Herstellung der Materialien und Komponenten.
- Mikrostrukturelle und mikroanalytische Charakterisierung des Materialaufbaus bis in den Nanometerbereich, um Rückschlüsse für die weitere Materialentwicklung ziehen zu können.

Die bis zu 45 Mitarbeiter kommen aus verschiedenen Fachdisziplinen, unter anderem Material-/Werkstoffwissenschaft (Keramik, Metalle, Polymere), Chemie, Physik, Mineralogie, Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Geoökologie, Biologie und Medizin. Weitere Kennzeichen des Lehrstuhls sind das Werkstoffklassen übergreifende Denken, die Ausgewogenheit zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung und die Übertragung der F- und E-Ergebnisse vom Labor- in den Technikums- bzw. Produktionsmaßstab.

Prof. Dr. G. Ziegler wurde Ende 1989 als erster Lehrstuhlinhaber in der damals in die in der Planung befindlichen neuen Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften berufen. Nach seiner Tätigkeit in der Industrie, an Hochschulen und einer Großforschungseinrichtung der Luft- und Raumfahrt mit gleichzeitiger Professur an der Technischen Universität Eindhoven hat er sich ab 1989 voll dem Aufbau der Materialwissenschaft in Bayreuth und den Vorarbeiten zur Errichtung der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften gewidmet. Er wurde ab 1996 zum Fachgutachter der Deutschen Forschungsgemeinschaft für das Gebiet ‚Werkstoffeigenschaften und

Werkstoffmechanik nichtmetallischer Stoffe‘ gewählt. Die internationale Ausrichtung des Lehrstuhls zeigt sich u.a. durch die Mitgliedschaft im Vorstand und Präsidium der Europäischen Keramischen Gesellschaft.

## Lehrangebot

Im Studiengang Materialwissenschaft werden die Fachgebiete ‚Synthese und Herstellung‘, ‚Verfahrens- und Verarbeitungstechniken‘ und ‚Charakterisierung und Eigenschaften‘ von keramischen Materialien und Verbundwerkstoffen in Vorlesungen, Praktika und Übungen gelehrt. Der Studiengang ist konzeptionell so angelegt, dass den Studenten die gesamte Herstellung- und Entwicklungskette sowie die Umsetzung in die industrielle Produktion und marktwirtschaftliche Aspekte näher gebracht werden. Ergänzt wird das Lehrangebot durch erfahrene Gastdozenten aus der Industrie und durch Seminar- und Projektarbeiten.

Im Studiengang Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften werden die Vorlesungen ‚Biokompatible Materialien‘ und ‚Bio-Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde‘ angeboten.

## Forschungsangebot

Der Lehrstuhl arbeitet auf drei Arbeitsgebieten:

- Material- und Werkstoffentwicklung
  - Verfahrenstechnik und Werkstoffverarbeitung
  - Charakterisierung und Prüfung.
- Von der Materialseite werden hochfeste Keramiken, zum Teil auch Funktionsmaterialien, Schichten

für korrosive, tribologische und funktionelle Anwendungen, poröse Werkstoffe, keramische Fasern, faserverstärkte Keramiken sowie Keramik-Metall- und Keramik-Polymer-Verbundwerkstoffe entwickelt. Hierzu werden verschiedene Herstellungstechniken angewendet: die herkömmliche Pulverkeramik, das Sol-Gel-Verfahren sowie neuartige chemische Synthese- und Verarbeitungstechniken, wie die so genannte Precursorkeramik, die über die Pyrolyse metallorganischer Verbindungen hergestellt wird. Die Entwicklung erfolgt für folgende Anwendungsbereiche: Maschinenbau, chemische Verfahrenstechnik, Automobilbau, Luft- und Raumfahrt, Informations-, Energie-, Fertigungs- und Medizintechnik sowie umwelt- und biotechnologische Anwendungen. Hierfür stehen Herstellungs- und Verarbeitungsanlagen bis in den Pilotmaßstab sowie modernste Messgeräte zur Verfügung.

#### Interfakultative Kooperationen

Da der Lehrstuhl stark interdisziplinär ausgerichtet ist, bestehen über die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften hinaus Kooperationen mit Wissenschaftlern der Chemie, Biochemie, Mathematik und Physik. Weiterhin wird mit dem Bayerischen Geoinstitut in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe das Transmissionselektronenmikroskop betrieben.

Verschiedene Kooperationen sind in geförderte Projekte oder Zentrale Einrichtungen bzw. Forschungsstellen eingebunden.

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (Prof. Kerber, Mathematik, Dr. Lipps, Biochemie, Prof. Rößler, Experimentalphysik)
- SFB 481 (Prof. Hoffmann, Physikalische Chemie)
- Zentrale Einrichtungen oder Forschungsstellen:
  - Bayreuther Zentrum für Kolloide und Grenzflächen (BZKG)
  - Werkstoffverbunde und oberflächenveredelte Produkte aus Glas (WOPAG)

– Forschungsvereinigung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde.(FVW)

Nach der konzeptionellen Hilfestellung beim Aufbau des Kompetenzzentrums Nordbayern durch den Lehrstuhl werden verschiedene Projekte vom Lehrstuhl in das Kompetenzzentrum transferiert. Die Bearbeitung dieser Projekte erfolgt gemeinsam.

#### Hohe Drittmittelwerbung bei grundlagen- und anwendungsbezogener Forschung

Die Forschungsarbeiten der bis zu 45 Mitarbeiter werden größtenteils über Drittmittel finanziert. Die Grundlagenarbeiten werden vor allem über die Deutsche Forschungsgemeinschaft (16 Projekte zum Teil mit einer Laufzeit bis zu jeweils sechs Jahren), aber auch die Volkswagenstiftung und Europäische Union gefördert. Die anwendungsbezogenen Arbeiten werden meist über Drittmittel der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschung Otto von Guericke e.V. sowie durch Länder- und Bundesförderung unterstützt. Der Lehrstuhl hat vielfältige Kooperationen mit klein- und mittelständischen Betrieben sowie Großunternehmen. Inklusiv der medizinischen Aktivitäten beläuft sich die Gesamtsumme der Drittmittel in den letzten 10 Jahren auf ca. 25 Mio DM.

#### Neuer Schwerpunkt Medizintechnik

Aufbauend auf den F- und E-Ergebnissen aus anderen Anwendungsbereichen beschäftigt sich der Lehrstuhl in den letzten Jahren verstärkt mit der Entwicklung neuer oder der Verbesserung vorhandener Materialien für die Medizin. Die erfolgreichen Arbeiten führten schließlich zu einem neuen Themenschwerpunkt „Biomaterialien“, der im Friedrich-Baur-Forschungsinstitut für Biomaterialien mit wesentlicher finanzieller Unterstützung der Friedrich-Baur-Beteiligungs-GmbH in Burgkunstadt aufgebaut wird.



#### Kontakt

Universität Bayreuth  
 Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe  
 95440 Bayreuth  
 Hausanschrift: Ludwig-Thoma-Straße 36b, 95447 Bayreuth  
 Tel.: 0921/55-5501  
 Fax: 0921/55-5502  
 E-Mail: ima1@uni-bayreuth.de  
 Internet: <http://www.ima-keramik.uni-bayreuth.de>

Abb. 1: Synthese von polymeren Precursoren für neuartige keramische Materialien im Pilotmaßstab



# Metallische Werkstoffe

Jean Pierre Bergmann \*

*Die Entwicklung des Fahrzeugbaus sowie des allgemeinen Maschinenbaus benötigt Werkstoffe, die neben geringen Kosten auch eine hohe Festigkeit und Steifigkeit besitzen. Die Kenntnis des Verhaltens eines Werkstoffes während der Bearbeitung spielt einerseits eine bedeutende Rolle für die Produktionskosten, andererseits ist die Kenntnis des Verhaltens im Betrieb sehr wichtig für die Sicherheit eines Bauteils.*

*Unter diesem Aspekt und unter dem Motto „Werkstoffgerechter Einsatz“ wird am Lehrstuhl Metallische Werkstoffe das Eigenschaftsprofil eines Werkstoffes für die Anwendung im Fahrzeugbau sowie in der Elektronik untersucht.*



Prof. Dr.-Ing. Hans Wilhelm Bergmann (Lehrstuhlinhaber), am 4. Dezember 2000 verstorben.

\* Dott. Ing. Jean Pierre Bergmann ist Schweißfachingenieur und Leiter des Laserlabors am Lehrstuhl Metallische Werkstoffe.

Der Lehrstuhl Metallische Werkstoffe gehört zum Institut für Materialforschung und wurde 1997 durch die Berufung von Herrn Prof. Dr.-Ing. H.W. Bergmann, der im Dezember 2000 verstarb, erstmals besetzt. Die Räumlichkeiten des Lehrstuhles befinden sich im Gewerbegebiet Glocke-Süd. Durch die dynamische und anwendungsnahe Denkweise von Herrn Professor Bergmann war es möglich schon in den ersten Jahren über 30 Mitarbeiter zu beschäftigen. Die Akzeptanz des Lehrstuhles in der Wirtschaft zeigt sich in der hohen Anzahl an durchgeführten Projekten. Während des zur Zeit noch andauernden Berufungsverfahren wird der Lehrstuhl kommissarisch von Prof. Dr.-Ing. Günter Ziegler geleitet.

## Lehrangebot

Der Beitrag des Lehrstuhles Metallische Werkstoffe in der Lehre

richtet sich an Studierende der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften. Dabei liegen die Schwerpunkte auf folgenden Gebieten:

- Grundlagen der metallischen Werkstoffe
- Beurteilung des Gefügestandes eines Werkstoffes
- Einsatz von metallischen Werkstoffen einschließlich derer fertigungstechnischer Aspekte
- Einsatz von Prüfverfahren für die Bewertung eines Werkstoffes und eines Bauteils
- Materialbearbeitung durch Laserstrahlung, insbesondere Laserschweißen, -härten, -schneiden und -beschichten
- Allgemeine Einführung in die konventionelle Schweißtechnik (Lichtbogenverfahren usw.)

Die Vorlesungen werden durch ein breites Spektrum an Praktika begleitet, mit dem Ziel den Studierenden die Unterschiede von Metallen im Verhalten bei der Umformung, bei der Zerspanung und beim Schweißen praktisch zu zeigen. Unter diesem Aspekt wird in Zusammenarbeit mit der Handwerkskammer für Oberfranken ein Crashkurs in das manuelle Schweißen angeboten.

## Forschungsangebot

Die derzeitigen Forschungsarbeiten am Lehrstuhl Metallische Werkstoffe lassen sich in zwei Kernbereiche unterteilen:

### Materialbearbeitung

Laserverfahren haben zunehmend an Bedeutung gewonnen, da sie zum einen hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten und zum anderen weil sie eine berührungslose Bear-

beitung ermöglichen. Die Aktivitäten zur Laserbearbeitung am Lehrstuhl umfassen das Laserstrahlschweißen, -beschichten und -legieren. Neben den prozesstechnischen Lösungen, wie z.B. dem Legieren von Zylinderlaufflächen mittels Diodenlaser (Bild 1), werden die werkstoffkundlichen Vorgänge bei den hohen Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten untersucht. Ein Beispiel dazu liefert das Laserstrahlschweißen von Aluminium für den Fahrzeugbau. Hier kommt es beim Schweißen zur Bildung von Heißrisen, die die Sicherheit des Bauteils beeinflussen. Um die Randbedingungen dieser Erscheinung zu verstehen, werden Schweißversuche und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt, um die Zusammenhänge festzustellen. Diese Erkenntnisse dienen wiederum dazu, eine defektfreie Fertigung zu ermöglichen.

Neben den konventionellen Lichtbogenfügeverfahren zum Schweißen verfügt der Lehrstuhl Metallische Werkstoffe über verschiedene modernste Laserquellen (u.a. ein 4,4 kW diodengepumpter Nd:YAG Laser) und Handhabungssysteme (Abb. 2).

### Werkstoffprüfung

Bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und Verarbeitungsverfahren kommt der eher „klassisch“ angehauchten Werkstoffprüfung eine tragende Rolle zu. Neben den gängigen zerstörenden mechanischen und technologischen Prüfverfahren wie Zug-, Druck- und Biegeprüfung, Härtemessung, Tiefziehversuch etc. verfügt der Lehrstuhl Metallische Werkstoffe über ein mo-

dernes Metallographielabor für Probenpräparation, Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchung, Analytik und Bildverarbeitung.

Darüber hinaus stehen einige spezielle Anlagen zur Verfügung, wie z.B. eine Röntgendurchstrahlungsanlage mit Manipulator für große Bauteile und zusätzlicher Feinokularröhre für hohe Auflösung (z.B. an elektronischen Verbindungen). Zum Thermolabor des Lehrstuhls gehört neben den gängigen Verfahren der Dilatometrie und DSC auch eine „Laser-Flash-Apparatur“ zur Messung der Temperaturleitfähigkeit von Festkörpern (mit Zusatz auch von Metallschmelzen) bis 1600 °C.

Ein besonderes „Highlight“ stellt die in Bild 3 gezeigte „Gleeble 3500“ dar. Bei dieser servohydraulischen Prüfmaschine können die Proben im direkten Stromdurchgang erwärmt werden (Bild 4), wobei geregelte Aufheizgeschwindigkeiten von mehreren 1000 K/s ohne weiteres möglich sind. Dabei werden die beim konventionellen Warmzugversuch während der Erwärmung auftretenden Werkstoffveränderungen unterdrückt. Auf diese Weise ist es möglich, prozessnahe Werkstoffeigenschaften zu messen, die zum Beispiel während einer Laserstrahlbearbeitung am realen Bauteil wirksam sind. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sind für die Prozesssimulation als Eingabedaten unentbehrlich. Andererseits lassen sich auf diesem Weg durch anschließende metallkundliche Auswertung der Proben solche Effekte wie die Heißrissproblematik beim Schweißen oder das Umwandlungsverhalten bei Kurzzeitaustenitierung auf elegante Weise experimentell untersuchen.

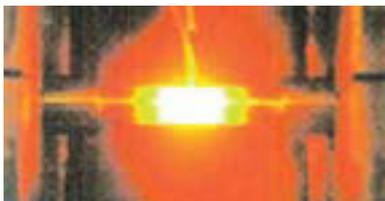


Bild 4: Rasche Aufheizung einer metallischen Probe



Bild 2: Industrieroboter mit verknüpfter Laserquelle für die Lasermaterialbearbeitung

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl Metallische Werkstoffe  
Ludwig-Thoma-Str. 36 b  
95447 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 5551  
Fax: 0921 / 55 - 5561  
Internet: <http://www.lmw.uni-bayreuth.de>  
Ansprechpartner:  
Dott. Ing. J.P. Bergmann



Bild 1: Laserlegieren von Zylinderlaufflächen



Bild 3: Gleeble 3500

# Polymere Werkstoffe

Volker Altstädt

*Der Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe hat es sich auf die Fahnen geschrieben, eine Brücke zwischen den Naturwissenschaften und der praxisnahen Ingenieurtechnik zu bauen. Ein wichtiges Ziel in Lehre und Forschung ist es, Zusammenhänge zwischen chemischer Struktur, Verarbeitung und Morphologie sowie den wichtigen Gebrauchseigenschaften von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen aufzuzeigen.*



Prof. Dr.-Ing. Volker Altstädt, Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe

Professor Dr.-Ing. Volker Altstädt leitet seit dem 1. Oktober 2000 den Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe an der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften der Universität Bayreuth. Nach dem Studium der Physik und der Promotion 1987 am „Institut für Werkstofftechnik“ bei Professor Ehrenstein in Kassel, war er acht Jahre im Kunststofflabor der BASF AG in Ludwigshafen tätig. Im Oktober 1995 erhielt er einen Ruf an die Technische Universität Hamburg-Harburg, wo er bis zu seinem Wechsel an die Universität Bayreuth den Arbeitsbereich „Kunststoffe und Verbundwerkstoffe“ leitete.

## Lehrangebot

Im Bereich der Lehre vermittelt der Lehrstuhl Inhalte, die den Studierenden ein Gefühl für den Werkstoff Kunststoff geben sollen. Der/die zukünftige IngenieurIn soll später im Berufsleben Kunststoffe sinnvoll zum Einsatz bringen. Zur Vertiefung des Vorlesungsstoffes werden Praktika in allen wichtigen Bereichen der Kunststofftechnik durchgeführt. Dabei werden Inhalte aus der Kunststoffanalytik, der Kunststoffverarbeitung sowie der

mechanischen Prüfung vermittelt. Des Weiteren sind die Faserverbundwerkstoffe auf Basis polymerer Werkstoffe ein beständiger Teil der Lehre.

Besonders hervorzuheben ist hierbei das Spritzgießpraktikum in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, in dem die Studierenden den Weggang eines Kunststoffbauteils von der Idee bis zum fertigen Produkt kennenlernen. Dies beinhaltet die zeichnerische Umsetzung der Idee sowie das Entwerfen des Werkzeuges am Computer mit dem CAD-Programm

„Pro/ENGINEER®“. Zudem wird mit Hilfe der Simulationssoftware „MOLDFLOW®“ die Produzierbarkeit des Bauteils geprüft. Das Spritzgießwerkzeug wird mit einer CNC-Fräsmaschine hergestellt, wobei die hierfür erforderlichen Datensätze von dem CAD-System erzeugt werden. Als Abschluss des Praktikums erfolgt das Spritzgießen der Bauteile. Die fertigen Objekte werden den Studenten als Anschauungsmaterial überlassen.

Zudem werden durch Vorträge aus der Industrie und durch Exkursionen den Studierenden Einblicke in die Industriepaxis gegeben, um ihren möglichen späteren Arbeitsplatz kennen zu lernen. In Zeiten immer engerer Zusammenarbeit mit dem Ausland ist der Lehrstuhl bemüht, den Kontakt mit ausländischen Universitäten zu pflegen, indem deren Studenten am Lehrstuhl ein Praktikum absolvieren oder eine Studienarbeit anfertigen. Das ermöglicht den „heimischen“ Studenten, Kontakt mit anderen Kulturen zu bekommen und eine Fremdsprache (meist Englisch) zu

praktizieren. Der Blick über den berühmten Tellerrand soll bei den Studenten die sogenannten „soft skills“ trainieren.

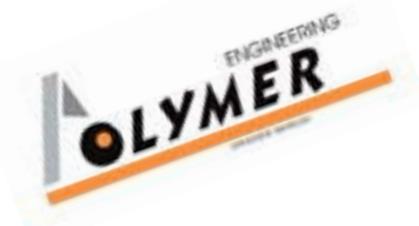
Studierende, die sich besonders für die polymeren Werkstoffe interessieren, arbeiten als studentische Hilfskräfte am Lehrstuhl und unterstützen die Forschungsarbeiten.

## Forschungsangebot

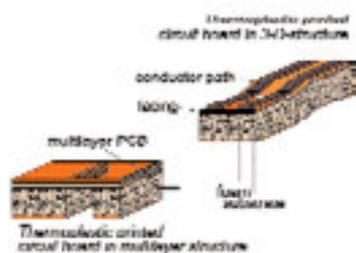
Die Forschung des Lehrstuhls für Polymere Werkstoffe umfasst ein weites Gebiet. Hierbei sind die Kernthemen Epoxidharze, Polymerschäume, Polymerblends, Mechanik und Ermüdung von Kunststoffen sowie thermoplastische Elastomere. Für den Ausbau des Forschungsgebietes thermoplastische Elastomere konnte durch Förderung der DFG Frau Prof. Puskas aus Ontario (Kanada), die sich als Mercator Professorin speziell diesem Thema widmet, für ein Jahr gewonnen werden.

Des Weiteren wurde mit der Eröffnung des Kompetenzzentrums „Neue Materialien Bayreuth GmbH“ die Lücke vom Labor zum Produktionsmaßstab geschlossen. Am Kompetenzzentrum sind vor allem praxis- und industriennahe Projekte angesiedelt. Der Lehrstuhl engagiert sich dort verstärkt im Bereich der Verarbeitung von Kunst- und Verbundwerkstoffen.

Um einen Einblick in die Arbeit des Lehrstuhls zu erhalten, werden nachfolgend einige Projekte kurz vorgestellt:

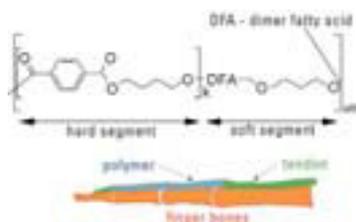


### Thermoplastische Leiterplatte



In diesem Projekt steht die Entwicklung einer preiswerten, umweltfreundlichen und recyclebaren Leiterplatte im Vordergrund. Die Basis dieser neuen Leiterplatte bildet ein Hochtemperaturthermoplastschaum, der den hohen thermischen Anforderungen gerecht wird. Dabei wird auf die Verwendung toxischer Additive wie z.B. Flammschutzmittel verzichtet. Zudem ermöglicht der thermoplastische Schaum eine Gewichtsreduktion gegenüber herkömmlichen Leiterplatten und eine dreidimensionale Verformbarkeit.

### Thermoplastische Elastomere für die Medizin



Neue thermoplastische Elastomere (TPE) haben gute elastische Eigenschaften, zudem eine gute Sterilisierbarkeit und Beständigkeit gegenüber menschlichem Gewebe. Das Ziel ist, diese Materialien als künstliche Prothesen und Sehnenersatz zu verwenden.

### Elektretfolien

Elektretfolien haften ohne zu kleben auf nahezu jeder Oberfläche. Die elektrostatischen Anziehungskräfte, die bei diesen speziell behandelten Folien außergewöhnlich groß sind, machen dies möglich. Dadurch eröffnen sich zahlreiche

Anwendungen, wie z.B. selbsthaftende Poster, die rückstandslos entfernt und an anderer Stelle wieder platziert werden können. Ziel der Forschung ist es, die Langzeitstabilität der Aufladung zu erhöhen. Dieses Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie I, Prof. H.-W. Schmidt, bearbeitet.

### Hochtemperaturblends

Dieses Projekt entstand aus der Notwendigkeit heraus, den Preis für den Hochtemperaturthermoplasten Poly-Ether-Ether-Keton (PEEK) zu senken. PEEK besitzt herausragende mechanische Eigenschaften, die nur durch den hohen Preis eingeschränkt werden. Mit Hilfe der Blendtechnologie werden gezielt preiswertere Kunststoffe untergemischt, wobei die guten Eigenschaften des PEEK erhalten bleiben.

### Ermüdungsverhalten von Kunststoffen



*Dynamische Prüfung an Polymeren*

Mikrozelluläre Polyurethanschäume sind heutzutage in nahezu jedem Fahrzeug zu finden. Sie sind insbesondere die hohen Schwingungen. Der Lehrstuhl beschäftigt sich mit der Modellierung des mechanischen Verhaltens dieser Schäume. Dafür werden zunächst grundlegende Versuche für das

physikalische Modell des Schaumes durchgeführt. Danach werden das Werkstoffversagen und die Einflüsse auf die Ermüdung untersucht. Diese werden auf ein FEM-Modell übertragen, um so zügig optimale Bauteile zu entwickeln.

### Ermüdungsrissausbreitung



*Untersuchung der Ermüdungsrissausbreitung*

Bruchmechanische Ermüdungsrissausbreitungsversuche ermöglichen es, den Widerstand eines Werkstoffs gegen Rissausbreitung zu charakterisieren und im Rahmen einer Werkstoffentwicklung zu optimieren.

### Nanocomposites

Bei dieser neuen Klasse von Materialien werden die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen durch Verstärkungsteilchen im Nanobereich erhöht. Das Zusammenspiel zwischen Matrix und Nanoteilchen sorgt zudem für intrinsischen Flammschutz sowie gute Oberflächenqualitäten und Transparenz. Gegenstand der Untersuchungen ist das Verständnis des Einflusses der Nanoteilchen auf die Matrix.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für  
Polymere Werkstoffe  
Universitätsstraße 30  
95447 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 7471  
Fax: 0921 / 55 - 7473  
Internet: <http://www.polymer-engineering.de>  
E-Mail: [altstaedt@uni-bayreuth.de](mailto:altstaedt@uni-bayreuth.de)

# Werkstoffverarbeitung

M. Willert-Porada

*Verfahrensintegrierte Werkstoffentwicklung – so kann knapp der entscheidende Einfluß der gewählten Verarbeitungsrouten auf die Gebrauchseigenschaften des Produktes auf dem Weg vom Material zum Werkstoff und Bauteil umschrieben werden.*

*Der Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung verbindet in Forschung und Lehre die ingenieurtechnischen Aspekte der Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung von Materialien und Werkstoffen mit den naturwissenschaftlich betonten Methoden der Eigenschaftsoptimierung durch Gefügeeinstellung. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschung ist die Entwicklung neuer, stoffklassenübergreifender Verarbeitungsverfahren.*



Prof. Dr. rer. nat.  
M. Willert-Porada,  
Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung

Der Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung wurde im August 1998 erstmals besetzt. Im traditionellen Fächerkanon ingenieurwissenschaftlicher Fakultäten ist das Fach „Werkstoffverarbeitung“ nicht vertreten. Der Name weist auf die neuartige Ausrichtung der Lehre hin, die klassische Gebiete der Werkstofftechnologie im Maschinenbau mit Methoden- und Stoffwissen anderer Gebiete, wie beispielsweise Metallurgie und Technische Chemie stoffklassenübergreifend verbindet.

Ziel einer solchen Ausbildung ist es, nicht nur den Stand der Technik zu vermitteln, sondern auch aus verfahrenstechnischer und werkstoffwissenschaftlicher Sicht Möglichkeiten für die Weiterentwicklung der wichtigsten Werkstoffe aufzuzeigen. Die Themenpalette reicht von Stahl, Superlegierungen und Nichteisenmetallen über Halbleiter bis hin zu Polymeren, Glas und Keramik.

Die erfolgreiche Umsetzung des Lehrkonzeptes basiert auf einer engen Kooperation mit den materialwissenschaftlich ausgerichteten Lehrstühlen für Metallische Werkstoffe, für Polymere, für Keramik

und Verbundwerkstoffe sowie dem LS für Funktionsmaterialien.

Grundlage der Lehre im Fach Werkstoffverarbeitung sind die naturwissenschaftlichen Fächer Chemie, Physik und Mathematik sowie die ingenieurwissenschaftlichen Fächer Mechanische und Thermische Verfahrenstechnik. Im Hauptstudium besteht außer der starken Verbindung zu den bereits aufgeführten materialwissenschaftlichen Gebieten eine enge Verknüpfung mit den Lehrinhalten der Chemischen Verfahrenstechnik und der Thermodynamik.

## Forschung & Entwicklung

Ziel der Forschungsvorhaben am Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung ist die Integration von Einzelschritten eines Verfahrens zu einem Prozess, der verbesserte Eigenschaften bekannter Werkstoffe hervorbringt, neuartige Halbzeuge liefert oder aber für neue Werkstoffe industriell taugliche Lösungen ermöglicht. Einen großen Raum nimmt hierbei der Einsatz hochfrequenter Strahlung in der Herstellungs- und Verarbeitungstechnik ein.

In nationalen und europäischen Verbundprojekten ebenso wie in bilateralen Industriekooperationen steht die Nachhaltigkeit der Verfahren im Mittelpunkt der Arbeiten, so beispielsweise bei der Entwicklung neuer Halbzeugtechnologien für hochreines Silizium (s. Abb. 1), Glas (s. Abb. 2) oder Edelmetalle. Neue Verfahren der Erzaufbereitung haben die Reduktion von Schadstoffemissionen zum Ziel. Neue Werkstoffe und Verfahren sind das zentrale Thema von Forschung über Hochtempera-

tur-Gasfilter für die Kohleverstromung oder über Elektrode-Membraneinheiten für bestimmte Brennstoffzellen-Typen.

Für die Bearbeitung besonders anwendungsorientierter Fragestellungen, einschließlich der Planung und technischen Realisierung von Anlagen, kann der Lehrstuhl auf eine enge Kooperation mit InVerTec e.V zurückgreifen, einer Organisation, die als Gründer im Kompetenzzentrum *Neue Materialien Nordbayern* in Bayreuth angesiedelt ist. Initiiert wurde InVerTec e.V. von M. Willert-Porada und Absolventen ihrer am Lehrstuhl für Werkstoffkunde im Fachbereich Chemietechnik der Universität Dortmund bis 1998 bestehenden Arbeitsgruppe Keramik, in Zusammenarbeit mit Hochschullehrern sowie Industrievertretern aus dem Bereich Mikrowellen-, Hochdruck- und Plasmatechnologie.

## Mitarbeiter & Co.

Seit der Gründung des Lehrstuhls im Herbst 1998 ist ein Stab von engagierten Mitarbeitern mit dem Aufbau von insgesamt vier Praktika im Bereich Werkstoffverarbeitung und der Installation und Inbetriebnahme zahlreicher Forschungseinrichtungen beschäftigt gewesen. Die Aufbauarbeit ist nun abgeschlossen. Sehr positiv wirkte sich dabei die Vielfalt der vertretenen Disziplinen aus. Das Gründungsteam umfasst Ingenieure der Verfahrenstechnik und des Maschinenbaus, Diplomchemiker, Mineralogen und Diplomphysiker. Die technischen Mitarbeiter sind in Textiltechnik, Metallografie und als Elektriker ausgebildet.

Die Mitarbeiter sind ausnahmslos

in Forschung und Lehre eingebunden. Im Dezember 2000 wurde der erste Doktorand des Lehrstuhls promoviert, die erste Diplomarbeit ist im Studiengang Materialwissenschaft am Lehrstuhl im Mai 2001 abgeschlossen worden. Derzeit kommen  $\frac{3}{4}$  der wissenschaftlichen Mitarbeiter des Lehrstuhls - Doktoranden, Post-Doktoranden und die rechte Hand der Lehrstuhlleitung, der Akademischen Rat - aus den Ingenieurwissenschaften und  $\frac{1}{4}$  aus den Naturwissenschaften.

Wünschenswert ist die Erweiterung des Mitarbeiterstabes um Absolventinnen und Absolventen weiterer Fachrichtungen, wie Elektrotechnik, Anlagenbau aber auch Geoökologie, um den interdisziplinären Inhalten der Forschung und Lehre noch besser als bisher gerecht zu werden.

### Lehrangebot

Am Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung besteht bei der Mehrzahl von Lehrangeboten eine enge Verknüpfung zur Forschung. Entsprechend wird die Ausstattung des Lehrstuhls für beide Bereiche genutzt. Dadurch erhalten FAN-Studierende die Gelegenheit, an miniaturisierten Industrieanlagen Praktikumversuche durchzuführen, wie in Abb. 3 und 4 beispielhaft gezeigt. Für die Prozeßkontrolle und Werkstoffcharakterisierung stehen modernste wissenschaftliche Geräte zur Verfügung.

Die experimentellen Arbeiten werden in der Regel durch rechnergestützte Modellierung bzw. Simulation der Prozesse begleitet. Daraus ergibt sich auch das Engagement des Lehrstuhl in der Lehre im Bereich der Simulation von Prozessen und der Auslegung von Anlagen.

Der Schwerpunkt der Lehre liegt im Hauptstudium des Studienganges Materialwissenschaft. Vorlesungen, Praktika, Seminar-, Simulations-, Projekt- und Diplomarbeiten gehören zum regelmäßigen Angebot. Die Kernveranstaltungen

sind: Verfahren der Grundstoff- und Werkstoffindustrie; Werkstoffverarbeitung (V + P); Umweltgerechte Herstellung von Werkstoffen; Werkstoffverarbeitung: vom Material zum Bauteil I + II (Ingenieurwissenschaftliche Vertiefung, V + P). Hinzu kommen die Mechanische Verfahrenstechnik im Grundstudium, kollegial durchgeführte Vorlesungen über Werkstoffeigenschaften, Wahlfächer für Fortgeschrittene, z.B. die Vorlesung mit Auslegungspraktikum über Elektrothermische Verfahren.

Weitere Angebote für den Studiengang Bioingenieurwissenschaft sind z.B. Vorlesungen und Praktika über Werkstoffe der Bioprozesstechnik und über Biomimetik.

Die Entwicklung der Lehrangebote ist angesichts der erst im WS 98/99 erfolgten Einführung der Studiengänge der FAN keinesfalls abgeschlossen. Es bleibt zu hoffen, dass zukünftig ein Dialog zwischen Alumni und dem LS Werkstoffverarbeitung zu dieser Entwicklung beitragen wird.

Informationen zur Ausstattung, Forschungsthemen und zum Lehrangebot sind unter den angegebenen Adressen erhältlich.

### Kontakt

Tel.: 0921 / 55 - 7200

Fax: 0921 / 55 - 7205

Internet: [http://www.uni-bayreuth.de/departments/ls\\_wv](http://www.uni-bayreuth.de/departments/ls_wv)

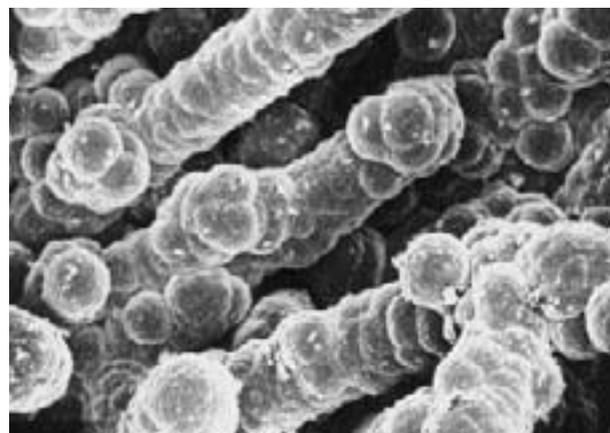
E-Mail: [ls.wsv@uni-bayreuth.de](mailto:ls.wsv@uni-bayreuth.de)

Abbildungen 1 bis 4 von oben nach unten:  
Abb. 1: Reinstsilizium Partikel aus Mikrowellenpyrolyse von Silanen, Verbundprojekt AG SOLAR

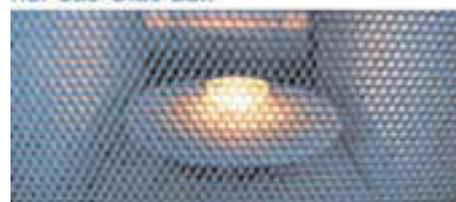
Abb. 2: Widererwärmung von Glashalbzügen durch Mikrowellenheizung - aufgeschmolzene Farbgläser. Forschungs-Verbundvorhaben PLUTO

Abb. 3.: Miniaturisierte Press-, Blas-Glasverarbeitungsstation für das Praktikum Werkstoffverarbeitung

Abb. 4.: PE-CVD-Anlage für Diamant, TiN, BN und andere Beschichtungen (TiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ITO), Vertiefungspraktikum



Selektive Mikrowellenabsorption heizt nur das Glas auf!



Wiedererwärmte Farbgläser



# Technische Mechanik und Strömungsmechanik

Nuri Aksel

Die Mechanik ist hinsichtlich ihrer Herkunft und ihrer Grundlagen ein Teilgebiet der Physik. Zur Lösung der vielfältigen Aufgabenstellungen bedient sich die Mechanik in hohem Maße der Mathematik. Die enge Verknüpfung dieser Wissenschaftsdisziplinen wird sowohl in den Lehr- als auch Forschungsaufgaben des Lehrstuhls deutlich.

Im Rahmen der Ingenieurwissenschaften hat die Mechanik den Charakter einer Grundlagendisziplin. Deren Kenntnis ist für jeden Ingenieur notwendig und unabdingbar, denn nur durch sie erhält er jene Sicherheit und Flexibilität, die er zum Lösen neuer Probleme in einer sich ständig schneller wandelnden technischen Umwelt dringend benötigt. Das Wissen, das in der Mechanik vermittelt wird, ist derart empirisch gesichert und theoretisch abgeklärt, dass es im Gegensatz zu den „Modewissenschaften“ nicht diesem Wandel unterliegt.

Der Lehrstuhl für Technische Mechanik und Strömungsmechanik gehört zu den Lehrstühlen, die seit Beginn der studentischen Ausbildung an der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften tätig sind. Seit Oktober 1998 werden vom Lehrstuhlinhaber, Prof. Dr. rer. nat. Nuri Aksel, die Lehr- und Forschungsaufgaben auf den Gebieten der Mechanik und Strömungsmechanik wahrgenommen.

## Lehre

Das Lehrangebot des Lehrstuhls für Technische Mechanik und Strömungsmechanik ist auf die Bedürfnisse der FAN-Ingenieurstudiengänge Materialwissenschaften, Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften sowie des Studienganges Metalltechnik ausgerichtet. Innerhalb der FAN ist der Lehrstuhl für die Ausbildung in den ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen

fächern Technische Mechanik und Strömungsmechanik verantwortlich. Die Technische Mechanik beinhaltet dabei in einem ersten Teil die Statik, d. h. die Lehre von dem Gleichgewicht eines starren Körpers unter äußeren Kräften und Momenten. In einem zweiten Teil, der Festigkeitslehre, wird die Belastung verschiedenster Bauteile unter Berücksichtigung ihrer Verformung behandelt.

Während sich die Technische Mechanik mit dem mechanischen Verhalten von (starrten und elastischen) Festkörpern beschäftigt, werden in der Strömungsmechanik ausgewählte theoretische Grundlagen der reibungsfreien und reibungsbehafteten Strömung von Flüssigkeiten betrachtet.

Über die klassische Strömungsmechanik hinausgehend wird eine Lehrveranstaltung Rheologie durchgeführt, in der den Studierenden die Grundlagen der theoretischen Beschreibung und experimentelle Untersuchung des Deformations- und Fließverhaltens von nicht-idealen Flüssigkeiten vermittelt werden.

Neben diesen obligatorischen Lehrveranstaltungen bietet der Lehrstuhl auch für Studierende anderer Fakultäten verschiedene fakultative Spezialvorlesungen an, deren Palette entsprechend den Erfordernissen ständig erweitert wird:

- Experimentelle Strömungsmechanik
- Turbulenz



Prof. Dr. rer. nat. Nuri Aksel, Lehrstuhl für Technische Mechanik und Strömungsmechanik



Studenten bei der Untersuchung von Strömungen durch Kugelschüttungen an einem in Eigenentwicklung entstandenen Versuchsstand

- Grenzschnitttheorie
- Dimensionsanalyse
- Störungsrechnung
- Tensorrechnung für Ingenieure
- Einführung in die Kontinuumsmechanik
- Strukturmechanik

Ziel aller Lehrveranstaltungen ist insbesondere, den Studenten das Verständnis für die physikalischen Zusammenhänge im jeweiligen Fach zu vermitteln. Aus diesem Grunde bevorzugt der Lehrstuhl für die Kernfächer auch die klassische Tafelvorlesung und vermeidet die Anwendung audiovisueller Hilfsmittel.

Es ist das Anliegen des Lehrstuhls, den Studierenden nicht nur theoretisches Wissen zu vermitteln. Daher werden für die meisten der genannten Fächer auch anspruchsvolle Praktika an modernen Versuchständen angeboten, in denen die Studierenden ihr in den Vorlesungen erworbenes theoretisches Wissen durch praxisnahe Experimente vertiefen können.

### Forschung

Kernkompetenzen des Lehrstuhls sind prinzipiell die in der Lehre vertretenen Schwerpunkte Strömungsmechanik, Rheologie und Festkörpermechanik, wobei sich im Laufe der Zeit natürlich bestimmte Forschungsschwerpunkte herauskristallisiert haben. Im Einzelnen sind dies:

### Strömungsmechanik

Schwerpunkt auf dem Gebiet der Strömungsmechanik ist die theoretische und experimentelle Untersuchung der Strömung viskoser Flüssigkeitsfilme. Es wird speziell der Einfluss von Bodenunebenheiten auf das Strömungsfeld und die Oberflächenkontur des Filmes untersucht. Mathematisch handelt es sich hier um ein nichtlineares freies Randwertproblem. Das Geschwindigkeitsfeld wird experimentell mittels hochauflösender berührungsloser optischer Verfahren wie „Particle Image Velocime-

try (PIV)“ ermittelt. Mit den am Lehrstuhl entwickelten Messmethoden können Wirbel mit Abmessungen im Sub-Millimeterbereich sicher aufgeklärt werden.

### Rheologie

Das Fließverhalten von Fest-Flüssig-Systemen, sogenannten Suspensionen, spielt in der industriellen Praxis eine entscheidende Rolle. Bei hohen Feststoffkonzentrationen und bei bestimmten mechanischen Belastungen treten häufig Effekte wie Übergänge zu festkörperartigem Verhalten auf, deren Mechanismen heute noch nicht vollständig verstanden sind. Mit modernen rheologischen Messgeräten und Messmethoden gelingt



Modernes Rotationsrheometer

die Aufklärung derartiger Mechanismen, die bei der Verarbeitung und der Anwendung von Suspensionen relevant sind. Eine Voraussetzung für die Untersuchungen ist die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der festen Partikelphase. Hierzu stehen dem Lehrstuhl verschiedene Partikelmess-techniken zur Verfügung.

Als Beispiel sei die Aufklärung des Fließverhaltens von Druckfarben erwähnt, an die z. B. im Hochgeschwindigkeits-Offsetdruck hohe Anforderungen gestellt werden.

### Festkörpermechanik

Viele moderne synthetische oder auch natürliche Materialien zeigen mechanische Eigenschaften, die stark von der Richtung der Belastung abhängen. Als Beispiele seien Verbundmaterialien oder biologische Gewebe angeführt. Die mathematische Modellierung dieser Materialien ist äußerst kompliziert, das Anwendungspotenzial dagegen nahezu unerschöpflich. Laufende Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit der kontinuumsmechanischen Modellierung des mechanischen Verhaltens dieser sogenannten anisotropen Materialien bei großen Deformationen. Den mathematischen Hintergrund bildet das Tensorkalkül.

### Technische Ausstattung

Der Lehrstuhl verfügt über eine Ausstattung an hochmodernen Geräten, die auch für Dienstleistungen zur Verfügung stehen:

- diverse Rotationsrheometer für Temperaturen bis 600 °C
- Hochdruck-Kapillarrheometer für Temperaturen bis 400 °C
- Zugprüfmaschine für kleine Kräfte und Wege
- diverse Partikelmess-technik
- berührungslose hochauflösende Geschwindigkeitsmesstechnik (PIV, LDA)
- verschiedene Geräte zur Messung von Ober- und Grenzflächenspannungen
- Laborextrudersystem
- diverse Strömungsmesstechnik

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für Technische Mechanik und Strömungsmechanik  
FAN-Gebäude C  
95440 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 7260  
Fax: 0921 / 55 - 7265  
Internet: <http://www.uni-bayreuth.de/departments/TMS>  
E-Mail: [tms@uni-bayreuth.de](mailto:tms@uni-bayreuth.de)

# Technische Thermodynamik und Transportprozesse

Dieter Brüggemann

*Energie, Umwelt, Technik - mit diesen Schlagworten lässt sich das breite Themengebiet des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) grob umreißen. In der Thermodynamik werden allgemein Energie- und Stoffumwandlungen sowie Stoffeigenschaften untersucht. Am LTTT wird hierbei der Transport von Materie sowie Wärme und anderen Energieformen einbezogen. Die vielfältigen Forschungsfelder und Projekte reichen von notwendigen Grundlagenuntersuchungen bis zu energie- und verfahrenstechnischen Anwendungen. Im folgenden Beitrag wird ein Blick auf die derzeitigen Aktivitäten des Lehrstuhls in Lehre, Forschung sowie Wissens- und Technologietransfer geworfen.*

Der Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) wurde im Zuge des Aufbaus der Bayreuther ingenieurwissenschaftlichen Fakultät gegründet und im Sommer 1998 durch die Berufung von Professor Dr.-Ing. Dieter Brüggemann erstmals besetzt. Dieser war zuvor an Thermodynamik-Lehrstühlen in der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen und ab 1993 in der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik der Universität Stuttgart tätig gewesen.

## Lehre

Technische Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung zählen zu den grundlegenden Fächern eines Ingenieurs. Entsprechend trägt der LTTT durch zahlreiche Lehrveranstaltungen zu den Studiengängen der FAN, derzeit Umwelt- und Bioingenieurwissenschaft, Materialwissen-

schaft und Metalltechnik bei. Im Bereich der Umweltingenieurwissenschaft ist der LTTT für das Angebot des Studienschwerpunkts Energietechnik verantwortlich. Einige der Veranstaltungen richten sich auch an Studenten der Mathematik und Technomathematik, der Angewandten Informatik sowie der Technischen Physik.

Die Palette der vom LTTT angebotenen Vorlesungen, Übungen, Seminare und Praktika umfasst u.a. Technische Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung, Energietechnik und -wirtschaft, Energiesystemplanung, Verbrennung, Verbrennungsmotoren, Lasermesstechnik, Numerische Simulation (CFD), Ausbreitung von Luftverunreinigungen.

## Forschung

Die Thermodynamik ist längst über die Grenzen einer Wärmelehre zu einer sehr allgemeinen Energie- und Stofflehre hinausgewachsen. In nahezu sämtlichen natürlichen und technischen Prozessen werden thermodynamische Aspekte berührt. Diese Vernetzung spiegelt sich besonders in den vielfältigen Projekten des LTTT wider, die im folgenden in Forschungsschwerpunkten zusammengefasst sind.

## Energieplanung

Wie lange die uns zugänglichen Energievorräte angesichts des weltweit

wachsenden Energiebedarfs noch ausreichen werden, ist eine wichtige Frage. Leider entsprechen die verbreiteten Einschätzungen, Meinungen und energiepolitischen Beschlüsse häufig nicht den nüchternen Fakten. Unbestritten ist jedoch, dass begrenzte Energieträger sparsam eingesetzt werden sollten. Der LTTT analysiert in jedem Einzelfall - aktuell wird auch unsere eigene Universität unter die Lupe genommen - den Energieeinsatz, findet Schwachstellen und berät hinsichtlich kostengünstiger Verbesserungen. Auch größere Einheiten, z.B. Kommunen, können durch professionell unterstützte Energiesystemplanung Energie und Kosten sparen.

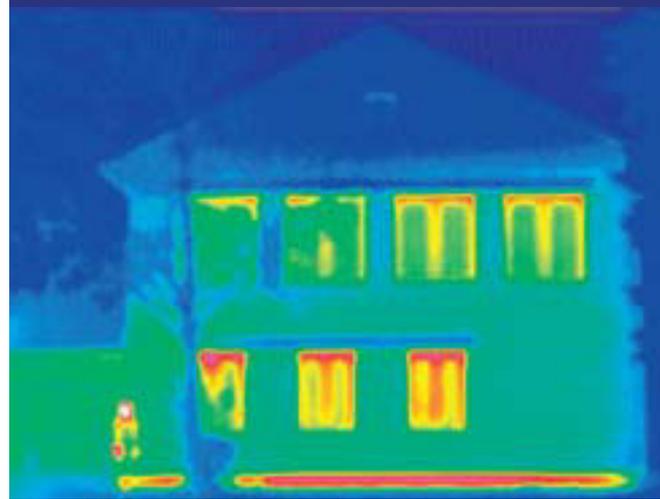
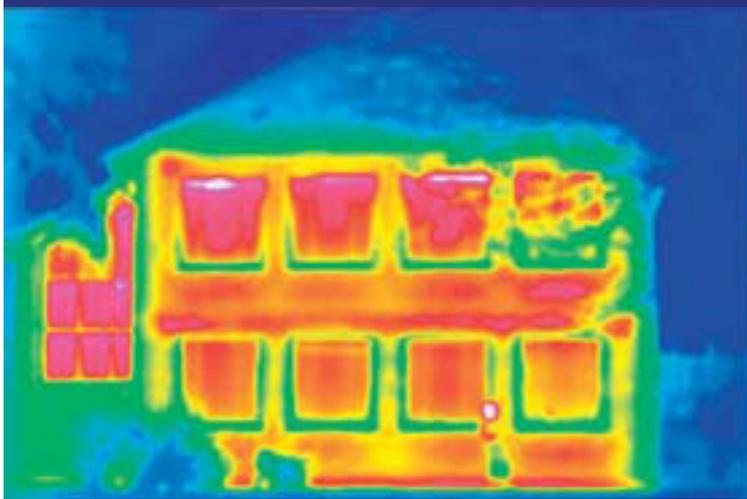
## Energietechnik

Unsere alltägliche Erfahrung zeigt, dass wir nur bedingt bereit sind, zugunsten von Energieeinsparungen unser Verhalten drastisch zu ändern. Die meisten von uns möchten mehr denn je automobil sein, in Urlaub fliegen, ihre Umgebung komfortabel heizen und klimatisieren usw. Es ist daher sinnvoller, weniger den Menschen verändern zu wollen als vor allem die Technik zu verbessern.

Im Mittelpunkt einiger Projekte der Energietechnik steht dabei die Verbrennung. Trotz Sonne, Wind und Wasser - die Verbrennung bleibt voraussichtlich noch viele Jahre unser wichtigstes Verfahren zur Energieumwandlung: Heizungsbränner,



Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse



Thermographische Aufnahmen eines Gebäudekomplexes vor der Sanierung (links) und nach der Durchführung wärmedämmender Maßnahmen (rechts)

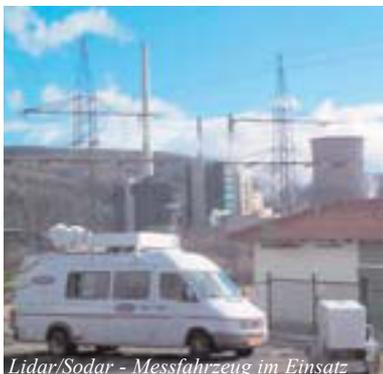
Feuerungen in Kraftwerken, Kfz-Motoren, Flugzeugturbinen usw. - sie alle basieren normalerweise auf dem Prinzip der Verbrennung. Um das hier noch vorhandene technische Optimierungspotenzial auszuschöpfen, untersuchen wir sowohl übertragbare Grundlagen z.B. zur turbulenten Verbrennung wie auch konkrete Anwendungen (siehe den folgenden Beitrag zum Thema Motor).

#### Verfahren und Werkstoffe

Bei vielen verfahrenstechnischen Prozessen sowie bei der Verarbeitung und Behandlung von Werkstoffen spielen Wärme- und Stofftransportvorgänge eine sehr wichtige Rolle. So werden beispielsweise von uns Anlagen zur gezielten Tabakbehandlung ausgelegt, verschiedene Abscheideverfahren für winzige Partikel miteinander verglichen, Verfahren zur Härtung von Glas (siehe hierzu den gesonderten Beitrag) verbessert und neuartige keramische Glühzünder getestet.

#### Atmosphärische Transportprozesse

Die am LTTT untersuchten Transportvorgänge reichen von der Diffusion im Nanometer- und Mikrometerbereich bis hin zu Ausbreitungserscheinungen in der Atmosphäre,



Lidar/Sodar - Messfahrzeug im Einsatz

die sich über Kilometer erstrecken. Um bestimmte Luftverunreinigungen zu bestimmen, setzen wir ein besonderes Lidar/Sodar-Messfahrzeug ein. Hier können wir vor Ort mit Hilfe von Laserlicht und Schallwellen die räumliche Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft und zusätzlich die Luftströmung, also den Wind, über große Entfernungen messen. Die gemeinsam mit tschechischen Partnern durchgeführten Beobachtungen der grenzüberschreitenden Ausbreitung werden ergänzt durch Messungen am Boden und durch Simulationsrechnungen am Computer.

#### Messtechnik und Simulation

Ein großer Teil unserer Forschungsprojekte verlangt nicht nur den Einsatz moderner Methoden sondern auch deren eigenständige Weiterentwicklung. Am LTTT betrifft dies zum einen die (meist optische) Messtechnik und zum anderen numerische Simulationsverfahren. Die erheblichen Anstrengungen, die in beiden Bereichen unternommen werden, lohnen sich, da die gewonnenen Methoden vielseitig einsetzbar sind.

#### Vernetzung in der Universität

Thermodynamik und Transportprozesse sind Querschnittsthemen; der LTTT trägt zur Vernetzung der Forschung in der Universität sinnvoll bei. Der Leiter des Lehrstuhls war beispielsweise an der Gründung der Forschervereinigung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde (FVW) e.V. beteiligt, ist Sprecher der Forschungsstelle Werkstoffverbunde und oberflächenveredelte Produkte aus Glas (WOPAG) sowie Gründungsmitglied des Rings Inge-

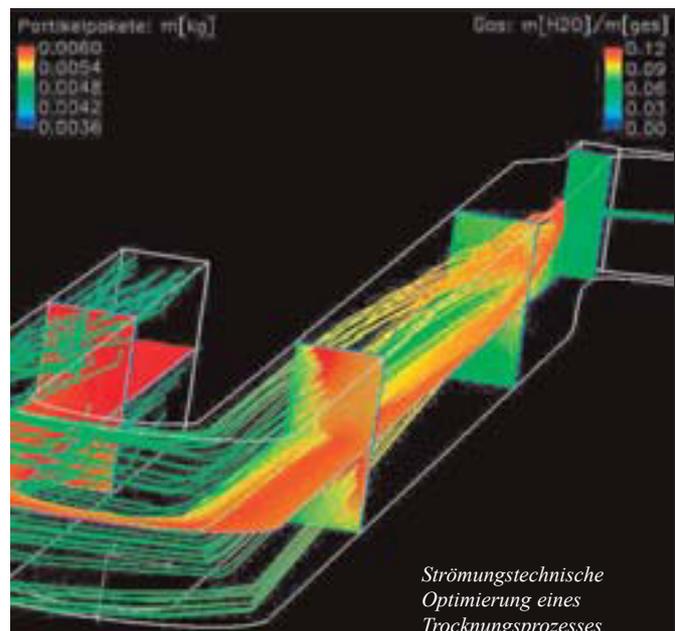
nieurwissenschaftlicher Lehrstühle (R.Ing.) Bayreuth.

#### Wissens- und Technologietransfer

Der LTTT praktiziert gemeinsam mit dem angegliederten Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Thermodynamik, Energie- und Verbrennungstechnik (ATEV) eine besonders schnelle Umsetzung des gewonnenen Know-Hows und der entwickelten Methoden. LTTT und ATEV unterstützen dabei gerne Unternehmen bei der Lösung ihrer spezifischen Fragestellungen.

#### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann,  
LTTT, FAN-Gebäude C,  
Universität Bayreuth  
95440 Bayreuth  
Tel./Fax: (0921) 55-7160 / -7165  
E-Mail: brueggemann@uni-bayreuth.de  
Internet: www.lttt.uni-bayreuth.de



Strömungstechnische Optimierung eines Trocknungsprozesses

# Konstruktionslehre und CAD

Frank Rieg



Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg, Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD

*Konstruieren - wohl eines der klassischen Fächer für Ingenieure. Denn der Konstrukteur legt mit seinem Entwurf fest, wie aus Materialien, Wissen um die Grundlagen der Naturwissenschaften und unter Anwendung der Ingenieurfächer Mechanik, Thermodynamik und Produktionstechnik ein reales technisches Produkt für den „Endverbraucher“ entsteht.*

## Lehrangebot

Unsere Ausbildungs-idee unterscheidet sich spürbar von den traditionellen Fächern „Konstruktionselemente“ und „Technisches Zeichnen“. Bereits im ersten Semester bieten wir die Vorlesung und Übungen zu „Konstruktion I“ (Auslegung von Struktur- und Funktionsbauteilen) an. Anstelle die letzten Details exzessiver Zahnradberechnung zu vermitteln, vertiefen wir die Evergreens der Ingenieurausbildung, also die Festigkeitsrechnung - und das mit sehr vielen Bildern und



Abb. 1: Lüfterrad aus Hochleistungs-polymer

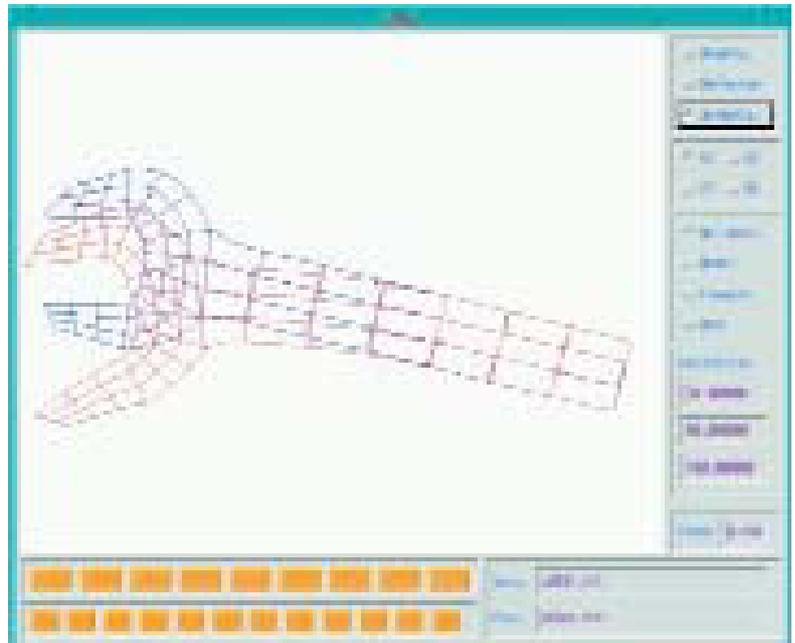


Abb. 2: Das Finite Elemente Analyse Programm Z88

Beispielen. Daher geben wir eine CD-ROM im Internet-Format mit allen Bildern, Gleichungen und Texten heraus.

Bei uns werden auch keine Feinheiten der axonometrischen Projektion gepaukt - unsere Studenten arbeiten ab dem ersten Semester ausschließlich mit modernster 3D-CAD-Software (Pro/ENGINEER) an momentan 25 UNIX-Computern. Ein 14-tägiger Intensivkurs in den Semesterferien sorgt für Entwürfe wie in Bild 1. Gleichzeitig werden sie schon mit den Grundzügen der Finite Elemente Analyse vertraut gemacht - diese anspruchsvolle Materie zu diesem frühen Zeitpunkt - das dürfte einmalig sein, Bild 2.

Und weil wir der Ansicht sind, dass studieren Spaß machen soll, bearbeiten unsere Studenten in 5er-Teams im zweiten Semester ein vollständiges Projekt, also 3D-CAD Entwurf der Einzelteile und der Baugruppe, Bild 3. Es wird ein kleiner 4-Takt-Motor zum Antrieb von Pumpen und Stromerzeugern entworfen.

Gleichzeitig ist dieses Projekt sehr geeignet, um die im ersten Semester kennengelernten Grundlagen der Berechnung real anzuwenden. Die Zwischenergebnisse werden dann vor den anderen Teams präsentiert - bei viel Beifall und guter Laune aller Beteiligten.

Für die höheren Semester werden

dann Vorlesungen und Übungen zur Konstruktionslehre II + III (Systementwicklung und Konstruktion) nach Pahl/Beitz, zur Finiten Elemente Analyse (Statik) und zu Computer Aided Design angeboten - natürlich ebenfalls auf CD-ROM.

### Forschungsangebot

Wir unterhalten vielfältige Kontak-



Abb. 3: Baugruppe der Studenten-Teamarbeit im 2. Semester

te zu Industrieunternehmen. Dadurch orientiert sich die Forschung an industriellen Anforderungen und ermöglicht den Wissenstransfer von Grundlagenforschung und Produkterprobung zur regionalen und überregionalen Industrie. Sehr zugute kommen uns dabei unsere

lehrstuhleigene Versuchswerkstatt und Elektroniklabor mit hochqualifizierten Mitarbeitern.

### Unsere Themen im Einzelnen

- Anwendung moderner Werkstoffe auf keramischer, metallischer und polymerer Basis in Verbindung mit neuen Konstruktionsideen für die Bauteile und Baugruppen. Hier haben wir einen sog. Verspannungsprüfstand nach eigenen Konstruktionsideen zur Verfügung, der eine Prüfleistung von über 1.000 kW ermöglicht, Bild 4. Damit ist die realitätsnahe Dauerprüfung von neuartigen Antriebskomponenten bei sehr hohen Drehmomenten und Drehzahlen möglich. Ein ebenfalls selbst konzipierter Verbrennungsmotor-Prüfstand kann Motoren und Komponenten bis zu 230 kW Leistung testen.
- Computergestützte Auslegung und Belastungssimulation von Bauteilen und Strukturen mit 3D-CAD-Programmen wie Pro/ENGINEER, CATIA V5 und UG sowie Finite Elemente Analyse Programmen wie MARC, Pro/ME-

CHANICA, ANSYS und Z88.

Hier stehen uns neben sechs Hochleistungs-Workstations SGI OCTANE die lehrstuhleigene 4-Prozessor SGI ORIGIN 2000 mit 6 GByte Hauptspeicher auch für anspruchsvolle Entwurfsarbeiten und Berechnungen zur Verfügung.

- Weiterentwicklung von CAD-gestützten Methoden der Konstruktionslehre, insbesondere die Integration Finite Elemente Analyse und CAD sowie die Integration CAD und PPS.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD  
Universitätsstraße 30  
95440 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 7191  
Fax: 0921 / 55 - 7195  
Internet: <http://www.uni-bayreuth.de/departments/konstruktionslehre/>  
E-Mail: [Konstruktionslehre.CAD@uni-bayreuth.de](mailto:Konstruktionslehre.CAD@uni-bayreuth.de)



Abb. 4: 1.000 kW Verspannungs-Prüfstand

# Umweltgerechte Produktionstechnik

Rolf Steinhilper

*Vielfachnutzen durch Mehrfachnutzung - ein Slogan, der wie kaum ein anderer die Ausrichtung des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik charakterisiert.*

*Gestiegene Kundenerwartungen, starker Wettbewerb und hochdynamische, internationale Märkte einerseits sowie die notwendige Weiterentwicklung unserer Wirtschaftskreisläufe zu zukunftsfähigen Kreislaufwirtschaften mit dem Fernziel des "Nachhaltigen Wirtschaften" stellen hohe Anforderungen sowohl an die produzierende Industrie als an die Forschung und Mitarbeiterqualifikation in Deutschland.*

Der Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik startete zum 1. Januar 2001 und bündelt Produkt-, Produktions-, und Umweltschutz-Knowhow zu innovativen Angeboten in Lehre und Forschung mit interdisziplinärer Ausrichtung. Der Aufbau der Infrastruktur und des wissenschaftlichen und technischen Personals verläuft nach Plan bzw. im Gleichklang mit dem Hochlauf der Semesterzahlen und der Nachfrage nach Forschungsleistungen in und außerhalb der FAN.

## Lehrangebot

Das Lehrangebot des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik wurde für die FAN-Studiengänge Materialwissenschaften, Umwelt- und Bioningenieurwissenschaften sowie für den Studiengang Metalltechnik entwickelt. Es richtet sich an die technischen Führungskräfte von morgen und wird besonders für das Hauptstudium angeboten bzw. empfohlen. Innerhalb der FAN verstärkt der Lehrstuhl primär die ingenieurwissenschaftlichen, produktionsbezogenen Lehrinhalte.

Besonderes Augenmerk liegt auf der Vermittlung fertigungstechnischer und unternehmensorganisatorischer Kenntnisse unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. Eine entscheidende Bedeutung für die Lehre besitzt die Einbindung anwendungsbezogener, internationaler Forschungsergebnisse in die Vorlesungen.

Konzeptionell ist es unser Bestreben, den Studierenden analytisches Denkvermögen, Entwicklungskompetenz und Entscheidungssicherheit auch in komplexen produktionstechnischen Zusammenhängen zu vermitteln.

Instrumentell bieten wir einen gezielten Mix der audiovisuellen Medien (Foliendarstellungen, Tafelanschrieb, Filme) in den Vorlesungen und die aktive Mitwirkung unserer Studierenden (Unternehmensplan-spiel, Rollenspiele des technischen Managements, interaktive Fabrik-

planung und Animation, praktische Versuche) in den Übungen und Praktika an. Das Lehrangebot umfasst die folgenden Lehrveranstaltungen:

## Studiengang Materialwissenschaften:

- Einführung in die Produktionstechnik
- Recycling und Entsorgung
- Innovations- und Technologiemanagement

Studiengang Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften mit Studienschwerpunkt Life-Cycle Engineering:

- Einführung in die Produktionstechnik
- Umweltgerechte Produktionstechnik
- Einführung in die Kreislaufwirtschaft
- Recycling und Entsorgung
- Planung und Produktion I / II
- Instandhaltung und Service Engineering



Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper  
Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik



Abb. 1: Aufarbeitung von Kopiergeräten



Abb. 2: 5-Achs-Fräsmaschine am LUP

- Produktkreisläufe
- Stoffkreisläufe
- Fertigungslehre und Werkzeugmaschinen I
- Fertigungslehre und Werkzeugmaschinen II
- Ökonomische und ökologische Bewertung
- Innovations- und Technologiemanagement
- Produzieren in Netzwerken
- Ausgewählte Kapitel der Produktionstechnik

### Forschungsangebot

Rund um unsere Kernkompetenz Umweltgerechte Produktionstechnik sind wir momentan in fünf Forschungsbereichen aktiv. Dabei werden sowohl methodische als auch technische Fragestellungen aus ökologischer aber auch ökonomischer Sicht betrachtet. Unsere Forschungsschwerpunkte im Einzelnen:

### Innovations- und Technologiemanagement

Wir entwickeln Methodiken zur integrierten Planung, Gestaltung, Optimierung, Erneuerung und Bewertung von technischen Produkten und Prozessen.

Damit unterstützen wir Unternehmen bei Aufbau und Nutzung von technologischem Know-how zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Beispiele aus unserem Leistungsangebot sind Potentialanalysen, technisch-wirtschaftliche Assessments und Innovationsworkshops oder Roadmapping-Verfahren.

### Fabrikplanung

Bei der Planung, Auslegung, Überwachung und Realisierung von industriellen Produktionsstätten sind unterschiedlichste Interessengruppen beteiligt. Um die Erfahrung von Architekten, Ingenieuren, Ausrüstern, Produkt- und Produktionsfachleuten unter gegebenen Randbedingungen optimal zu nutzen, empfiehlt sich interaktives Planen und Optimieren auf einer rechnergestützten Arbeits- und Kommunikationsplattform. Diese bildet das Kernstück unseres Fabrikplanungslabors. Wir sind mit diesem Planungswerkzeug in der Lage, Layoutplanungen in Teamarbeit, Entwicklungs- und Evaluierungsaufgaben sowie Dimensionierungsentscheidungen zu visualisieren und zu beschleunigen.

### Service Engineering

Durch gestiegenes Umweltbewusstsein sowie gesetzliche Auflagen erfährt die After-Sales Phase von Produkten zunehmende Aufmerksamkeit. Für diese Phase nach der Auslieferung der Produkte entwickeln wir technische und organisatorische Konzepte, welche hauptsächlich die Instandhaltung und das Produktrecycling betreffen. Unsere Forschungsleistungen umfassen beispielsweise die Auslegung von einzelnen Kundendienstleistungen aber auch das komplette Life-Cycle Engineering.

### Ökologische Produkte und Produktionstechnik

Die unternehmensbezogenen Ziele der industriellen Produktion - Kosten, Zeit und Qualität - werden durch ein weiteres globales Ziel ergänzt: Nachhaltigkeit. Wir bieten



Abb. 3: LUP-Team

Unternehmen unsere Wissensbasis zur Auswahl von Verfahren und Maschinen unter Berücksichtigung der genannten Ziele. Dazu nutzen wir unsere umfangreichen Datenbanken, Expertenkontakte oder zur experimentellen Untersuchung von Entwicklungen unser CNC-Werkzeugmaschinenlabor.

### Produkt-Recycling / Remanufacturing

Um ein nachhaltiges Wirtschaften zu verwirklichen muss unser Wirtschaftskreislauf zur Kreislaufwirtschaft werden. Produzenten tragen heute die gesamte Produktverantwortung - von der Herstellung über den Gebrauch bis zur Entsorgung ihrer Produkte. Der Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik bietet ganzheitliche Lösungen beispielsweise in der recyclinggerechten Produktentwicklung oder beim Aufbau von intelligenten Recyclingnetzwerken. Über das Fraunhofer Demonstrationszentrum Produktkreisläufe, das von Lehrstuhlinhaber Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper geleitet wird, steht interessierten Unternehmen weitere Kompetenz zur Verfügung.

### Ihr Interessengebiet

Sie haben ein spezielles Interessengebiet, das unsere fünf Forschungsschwerpunkte ergänzt? Wir bieten Ihnen unser Produkt-, Produktions- und Recycling-Know-how zum Erhalt und Ausbau Ihres Wettbewerbsvorsprungs.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für Umweltgerechte  
Produktionstechnik  
Universitätsstraße 30  
95440 Bayreuth

Tel.: 0921 / 55 - 7300  
Fax: 0921 / 55 - 7305  
W3: <http://www.lup.uni-bayreuth.de>  
E-Mail: [sekretariat.lup@uni-bayreuth.de](mailto:sekretariat.lup@uni-bayreuth.de)



# Chemische Verfahrenstechnik

Andreas Jess

*Ziel der Chemischen Verfahrenstechnik ist die sichere Übertragung einer im Labor gefundenen neuen chemischen Reaktion in den technischen Maßstab bzw. die Auswahl und Auslegung eines chemischen Reaktors für eine gegebene Reaktion im Hinblick auf eine optimale konstruktive Gestaltung und Betriebsweise. Chemische Verfahrenstechnik ist eine interdisziplinär angelegte Wissenschaft an der „Nahtstelle“ von Chemie und Ingenieurwissenschaften, was dieses Fach vielseitig und reizvoll macht.*



Prof. Dr. Andreas Jess, Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik

Der Lehrstuhl für Chem. Verfahrenstechnik (LS CVT) ist der jüngste der FAN und wird seit Okt. 2001 von Prof. Jess und seiner Arbeitsgruppe aufgebaut. Am Lehrstuhl arbeiten z. Z. 9 Wissenschaftler und 3 nicht-wissenschaftl. Angestellte; 4 weitere Doktoranden arbeiten noch an der TH Aachen, an der der neue Lehrstuhlinhaber von '98 bis zum Wechsel nach Bayreuth Professor für Technische Chemie war.

## Lehrangebot

Das Lehrangebot umfasst Vorlesungen zu thermischen Trennverfahren, chem. Verfahrenstechnik, Reaktions- & Prozesstechnik, Katalyse, analytischen Methoden und zur Chemie und Technik fossiler und nachwachsender Brennstoffe. Ergänzend werden Praktika, Übungen und Seminare angeboten.

## Forschungsangebot

Chemiker und Verfahrenstechniker

haben schon immer davon geträumt, eine Synthese direkt vom Labor- in den Produktionsmaßstab zu überführen. Dass dieser Traum trotz aller Fortschritte noch nicht Wirklichkeit geworden ist, wird klar, wenn man folgendes bedenkt:

- Die Produktvielfalt reicht von Massenprodukten wie Düngemitteln, Kraftstoffen und Kunststoffen bis hin zu Feinchemikalien.
- Die Bedingungen variieren in weiten Bereichen: Drücke bis 3000 bar, Temperaturen von Minusgraden bis 2000 °C und Verweilzeiten von ms bis h sind durchaus üblich.
- Zur Erzeugung chemischer Produkte sind viele spezifische Katalysatoren notwendig.
- Chemischen Reaktoren sind sehr unterschiedlich in ihrer Größe und konstruktiven Gestaltung. Einfache Regeln zur Reaktorauslegung kann es bei dieser Vielfalt kaum geben. Ziel der Chemischen Verfahrenstechnik ist es, ein besseres Verständnis für das komplexe, leider für die jeweilige Reaktion „individuelle“ Wechselspiel der Reaktionen z. B. mit dem Stoff- und Wärmeaustausch im Reaktor zu gewinnen, um neue Verfahren zu entwickeln und bestehende zu verbessern. Dazu müssen Untersuchungen zur Reaktionskinetik und Katalyse und zur Reaktionstechnik



Abb. 2: Von der Idee zur Auslegung technischer Reaktoren

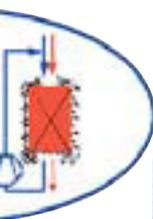
geführt werden. Nachfolgend werden diese Begriffe anhand aktueller Forschungsthemen des LS CVT erläutert.

## Reaktionskinetik und Katalyse

Etwa 90 % aller chemischen Produkte werden mit Hilfe von Katalysatoren erzeugt. Diese werden bei der Reaktion nicht verändert, beeinflussen aber entscheidend die Reaktionskinetik: Sie erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit und sie „lenken“ die Reaktion in die Richtung der gewünschten Produkte. Am Lehrstuhl werden Katalysatoren unter industriennahen Bedingungen mit modernsten Methoden charakterisiert, um das „Geschehen“ sowohl in einem einzelnen Katalysatorpartikel als auch in einem Industriereaktor experimentell bzw. durch Computersimulation zu verfolgen und zu verstehen.

## Reaktionstechnik

Industriereaktoren (und auch Forschungsreaktoren am LS CVT) unterscheiden sich deutlich von Glas Kolben eines Chemielabors und haben Abmessungen von mehreren Metern. Die Katalysatorpartikel sind oft als Schüttung angeordnet;



aber auch Wirbelbett-, Flugstrom- und Rührkesselreaktoren werden eingesetzt. Der Reaktor muss aber nicht nur eine druckfeste „Hülle“ für den Katalysator bieten, sondern die Energie- und Stoffströme so führen, dass das Produkt mit hohem Ausbeute entsteht. Auch die Sicherheitstechnik muss bei Reaktionen mit hoher Wärmetönung beachtet werden.



### Neue Wege zu chemischen Produkten

Der erste Schritt zur Entwicklung neuer bzw. verbesserter Verfahren ist die Analyse bestehender Prozesse, die erstaunlicherweise industriell zwar oft „laufen“, aber unzureichend verstanden und daher nur schwer zu optimieren sind. Derzeit werden folgende Prozesse studiert:

- Tiefentschwefelung von Erdölfractionen (s. u.)
- Fischer-Tropsch-Synthese (FTS): Ölunabhängige Wege zu Kraft- und Chemierohstoffen sind von hoher Bedeutung, da die Erdölreichweite im Vergleich zu Biomasse, Erdgas und Kohle begrenzter ist. Einsatzstoff der FTS ist eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die z. B. aus Erdgas erzeugt wird. FTS-Produkte sind vergleichbar mit denen aus Erdöl, aber sie sind frei von Verunreinigungen (S, N), was sie z. B. als umweltfreundliches Dieselöl attraktiv macht.
- Hydrierprozesse der Geruchsstoff- und Waschmittelindustrie
- Ethen und Propen durch oxidative Paraffindehydrierung
- Olefindimerisierung durch homogene 2Phasenkatalyse
- Eisenerzreduktion/-aufkohlung: Erzeugung von transportstabi-

lem Eisenschwamm

- Kalte Flammen: Synthesegas aus Heizöl durch oxidative Vorbehandlung

### Umweltgerechte Kraftstoffe und Chemierohstoffe

Erdöl, aus dem Dieselöl und Otto-Kraftstoff erzeugt werden, enthält Schwefelverbindungen, im Durchschnitt etwa 1 Gew.-%. Aus ökologischen Gründen müssen Kraftstoffe aber viel S-ärmer sein. In Zukunft wird der Grenzwert noch verschärft, z. B. für Dieselöl von 350 auf 10 mg S je kg. Am LS CVT werden neben der bereits erwähnten FTS verbesserte und neue Wege zu S-armen Kraftstoffen untersucht (vgl. Beitrag „Umweltgerechte Kraftstoffe ..“ dieses Spektrums):

- Beim derzeit üblichen Verfahren wird der in organischen Molekülen gebundene Schwefel katalytisch bei hohem Wasserstoffdruck (bis 100 bar) in leicht abtrennbaren Schwefelwasserstoff umgesetzt. Leider verbleiben „hartnäckige“ S-Verbindungen im Öl, wodurch der Aufwand überproportional ansteigt. In Industrie-

kooperationen werden neue Katalysatoren getestet und eine am LS entwickelte Reaktortechnik erprobt.

- Neben diesem klassischen Verfahren wird die Extraktion organischer S-Verbindungen mit ionischen Flüssigkeiten untersucht. In der interdisziplinären Zusammenarbeit mit der TH Aachen werden chemische und verfahrenstechnische Fragen dieses neuen Verfahrens behandelt, um z. B. auch störende N- und Cl-Verbindungen zu extrahieren.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für  
Chemische Verfahrenstechnik  
95440 Bayreuth  
Tel.: 0921/55 7430  
Fax.: 0921/55 7435  
Interner: [www.cvt.uni-bayreuth.de](http://www.cvt.uni-bayreuth.de)  
E-Mail : [Jess@uni-bayreuth.de](mailto:Jess@uni-bayreuth.de)



Abb. 1: Chemische Verfahrenstechnik: Zusammenarbeit von Chemikern und Ingenieuren

Abb. 3: Versuchsaufbauten am LS CVT



# Funktionsmaterialien

Ralf Moos

Karosserien sind aus Metall, Teller aus Porzellan, Plastiktüten aus Polymeren. Die Anforderungen des Einsatzgebiets bestimmen welches Material für welchen Verwendungszweck geeignet ist. Dabei stehen meist mechanische Eigenschaften des Materials im Vordergrund wie Dichte, Bruchfestigkeit oder Elastizität. Man spricht von Strukturmaterialien.

Bei Funktionsmaterialien steht die Funktion des Materials im Vordergrund: z.B. magnetische Werkstoffe, Halbleiter oder Sensormaterialien. Solche Funktionsmaterialien sind das Herzstück in zahlreichen Bauteilen wie Integrierten Schaltungen, Lambdasonden, Superkondensatoren, Lichtwellenleitern oder modernen Akkus.



Prof. Dr.-Ing. Ralf Moos, Lehrstuhl für Funktionsmaterialien

Der Lehrstuhl für Funktionsmaterialien an der Fakultät für angewandte Naturwissenschaften wird seit Juli 2001 von Prof. Dr.-Ing. Ralf Moos geleitet. Das Team ist mittlerweile auf acht Mitarbeitern angewachsen und ist der Ausrichtung des Lehrstuhls entsprechend interdisziplinär zusammengesetzt. So reicht die Fachkenntnis der Mitarbeiter über Elektrotechnik, Werkstoffwissenschaften und Chemie bis zu Sensorik und Physikalischer Technik. Vor seiner Berufung war Prof. Moos in der Forschung bei Daimler-Chrysler tätig. So kennt er die Anforderungen der Praxis aus erster Hand, was dem Lehrstuhlangebot in Forschung und Lehre und nicht zuletzt den Studenten zu Gute kommt.

## Lehrangebot

Der Lehrstuhl für Funktionsmate-

rialien richtet sich mit seinem Lehrangebot insbesondere an die Studenten des Studiengangs Materialwissenschaften. Dazu kommen Veranstaltungen für Studenten im Studiengang Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften (Schwerpunkt Biokomponenten und Bioverfahrenstechnik) sowie Metalltechnik. Die Veranstaltungen sind überwiegend für das Hauptstudium vorgesehen.

Inhaltlich steht im Vordergrund wie makroskopische Materialeigenschaften mit atomaren und mikroskopischen Strukturen zusammenhängen und durch diese bestimmt werden.

Den Studenten wird gezeigt wie die Funktion von Werkstoffen durch deren molekulare Struktur bestimmt ist und wie durch gezielte molekulare Veränderungen Werkstoffe für bestimmte Funktionen optimiert werden können. Darüber hinaus wird den Studenten exemplarisch vermittelt wie durch das Zusammenspielen verschiedener Materialien funktionale Bauteile entstehen.

Im Automobilbereich gibt es eine Vielzahl von Sensoren zur Erfassung des Betriebszustands des Motors oder der Fahrdynamik, die ohne die Fortschritte im Bereich der Materialentwicklung nicht möglich gewesen wären. Der gesamte Entwicklungsprozess soll demonstriert werden. So lernen die Studenten praxisnah wie z.B. eine Lambda-

sonde (Sensor für den geregelten Katalysator im Automobil) funktioniert, welche Materialien zum Einsatz kommen und welche Herstellungsprozesse verwendet werden. Schließlich bauen die Studenten in einem Praktikum eine solche Sonde in Dickschichttechnik selbst auf und vermessen diese am lehrstuhleigenen Gassensortestplatz, mit dem die Abgase eines Verbrennungsmotors simuliert werden. Sogar eine ausgefeilte Abgasesstechnik ist vorhanden.

Auch andere technische Entwicklungen z.B. in den Bereichen Glasfasertechnik, moderne Akkus für die wachsende Zahl mobiler elektrischer Geräte, Mikrosystemtechnik oder Materialien für elektronische Bauteile werden den Studenten vermittelt.

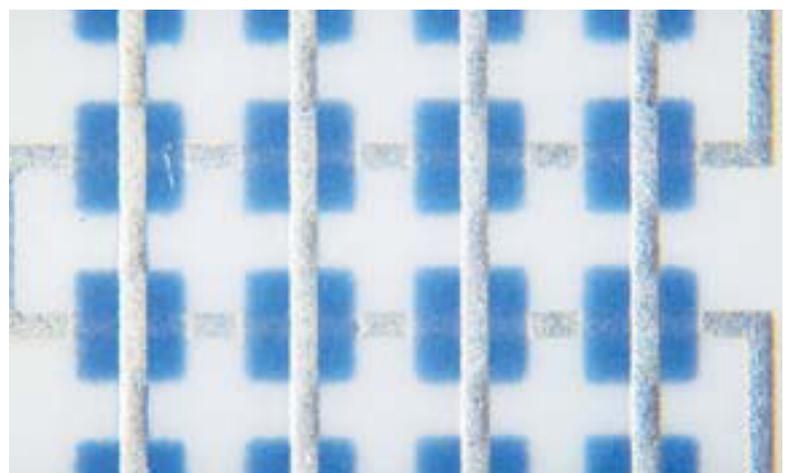
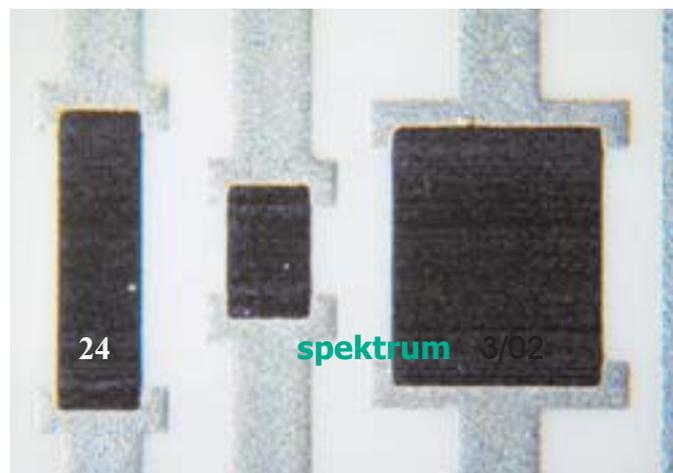
Dieser weite Bogen von der atomaren Struktur zum Bauteil, das letztlich eine vorgesehene Funktion erfüllen soll, ist Anspruch und Ziel für das Lehrangebot des Lehrstuhl. Dabei geht es nicht primär um singuläres Fachwissen, sondern um Zusammenhänge, Konzepte und Verständnis. Die Studierenden sollen lernen, Fragen zu stellen und eigenständig Lösungen zu erarbeiten.

Das Lehrangebot umfasst die folgenden Veranstaltungen:

Studiengang Materialwissenschaften:

- Prinzipien der physikalischen Festkörperchemie

Abb. 1: Mit Siebdruck hergestellte funktionale Strukturen





- Mikrosystemtechnik
- Gefüge und Eigenschaften
- Eigenschaften von Struktur- und Funktionswerkstoffen
- Vertiefungsfach Funktionsmaterialien

Studiengang Umwelt- und Bioingenieurwissenschaften mit den beiden Studienschwerpunkten Bioverfahrenstechnik und Biokomponenten:

- Biosensorik
- Messtechnik in der Bioverfahrenstechnik

### Forschungsangebot

Die Kompetenzen des Lehrstuhls konzentrieren sich auf die Herstellung und Charakterisierung von Funktionsmaterialien. Der thematische Schwerpunkt liegt bei Sensoren für Gase und Flüssigkeiten. Hier wird eng mit der Automobilindustrie zusammengearbeitet. Aber auch Sensoren, die biologische Komponenten enthalten, werden in Zukunft bearbeitet.

### Herstellung von Funktionsmaterialien

Die Mischung macht's. Die am Lehrstuhl untersuchten Materialien sind meistens keramischer Natur. Als Basis dienen verschiedene Metalloxide. Diese erhalten ihre spezifische Funktionalität durch Beimischungen von einigen Prozent oder Bruchteilen davon. In der Regel handelt es sich bei der Präparation um Festkörperreaktionen in Kombination mit Fällungs- und Brennvorgängen.

### Siebdrucktechnik

Die Dickschichttechnik ist eine kostengünstige Herstellungsmethode, die insbesondere für die Herstellung von Prototypen, die am Lehrstuhl gefertigt und untersucht werden, sehr attraktiv ist. Die Siebdrucktechnik wird auch in der Serienfertigung eingesetzt z.B. bei der Lambdasonde, so dass diese Technik eine ideale Plattform für den Übergang vom Prototypen zur Serienfertigung darstellt. Hier verfügt der Lehrstuhl sowohl über Kompetenz und Erfahrung als auch über die entsprechenden Geräte wie eine Planetenmühle, eine Siebdruckmaschine und mehrere Brennöfen.

### Materialcharakterisierung

Dem Herstellungsprozess eines neuen Materials schließt sich stets dessen Charakterisierung an. Hier stehen dem Lehrstuhl verschiedene Elektronen- und Lichtmikroskope sowie ein Profilometer zur Verfügung. Die Analytik soll in Zukunft noch durch phasen- und element-spezifische Methoden ergänzt werden.

Die elektrischen Eigenschaften von Feststoffen insbesondere der Ladungstransport, der bei den am Lehrstuhl entwickelten Sensoren eine zentrale Rolle spielt, kann an Impedanzspektrometern untersucht werden.



### Funktionsprüfung

Hier entscheidet sich, ob der Sensor den Anforderungen in der Praxis gerecht wird. Wie empfindlich ist der Sensor für das interessierende Gas? Wie steht es mit der Querempfindlichkeit gegenüber anderen Gasen? Wie ist das Ansprechverhalten und die Lebensdauer? Wie reagiert der Sensor auf Temperaturänderungen oder Schwankungen der Luftfeuchtigkeit. Hier zeigt sich auch, inwieweit sich die konzeptionellen Überlegungen der Forscher zum Materialdesign erfüllen. Noch ist nicht der Mix aller angestrebten Eigenschaften berechenbar, aber doch schon eine ganze Menge.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für Funktionsmaterialien  
Universitätsstraße 30  
95440 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 7401  
Fax: 0921 / 55 - 7405  
Internet: <http://www.lff.uni-bayreuth.de>  
E-Mail: [funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de](mailto:funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de)



Abb. 2 (oben): Siebdruckmaschine

Abb. 3 (links oben): Mitarbeiter des Lehrstuhls am Gas-sensortestplatz.

# Mess- und Regeltechnik

Gerhard Fischerauer

*Technologien, Komponenten, Systeme: diese dreifachen Grundpfeiler der Automatisierungstechnik bilden auch das Programm des Lehrstuhls für Mess- und Regeltechnik. Kaum eine Branche kann auf konsequente F&E-Anstrengungen und eine fundierte Ingenieursqualifikation in diesen Bereichen verzichten, um ökonomisch erfolgreich und ökologisch verantwortungsbewusst zu agieren. Die Verbesserung unserer aller Lebensbedingungen erfordert ständig neue Prozesse und neue Produkte mit erhöhtem Kundennutzen. Einen entscheidenden Beitrag hierzu liefert die Querschnittsdisziplin „Automatisierungstechnik“.*

Am 1. Oktober 2001 wurde der Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik in der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften erstmalig besetzt, und seitdem arbeitet das wachsende Team um Prof. Dr.-Ing. Gerhard Fischerauer mit Pioniergeist am Aufbau der Forschung und Lehre in dem ihm anvertrauten Fachgebiet.

## Lehrangebot

Die Automatisierungstechnik befasst sich mit der selbsttätigen Überwachung, Steuerung und Regelung von technischen oder nicht-technischen Prozessen sowie mit den zugehörigen Mensch-Maschine-Schnittstellen. Entsprechende Fragestellungen treten überall dort auf, wo komplexe Systeme entwickelt und betrieben werden, etwa in den Bereichen Verkehrs-, Energie-, Verfahrens-, Haus-, Medizin- und Umwelttechnik. Den automatisierungstechnischen Funktionen solcher Systeme kommt insofern

eine Schlüsselrolle zu, als sie die Systemintelligenz beinhalten. Man denke nur, um einige Beispiele aus der Verkehrstechnik herauszugreifen, an ABS, Motormanagement und Autopilot.

Im Kern befasst sich die Automatisierungstechnik mit der Gewinnung von Informationen (Messen), deren Verarbeitung (Rechnen) und ihrer Ausnutzung zur Prozessbeeinflussung (Agieren). Technologisch werden diese Funktionen heute wegen der damit verbundenen überwältigenden Vorteile meist elektrisch realisiert, was den Grundlagencharakter der Elektrotechnik für die Natur- und Ingenieurwissenschaften erklärt.

Um die aus so unterschiedlichen Anwendungsbereichen stammenden Aufgaben bewältigen zu können, tritt der Automatisierungstechniker zugleich als Nutznießer, und Treiber neuer Technologien auf (z. B. Mikrosystemtechnik), entwickelt neue Komponenten (z. B. Sensoren) und wendet Systemtechniken an (z. B. Signalverarbeitung). Die systemtheoretische Abstraktion von der physikalischen Realität ist geradezu das Markenzeichen der Automatisierungstechnik, denn nur so lassen sich komplexe dynamische Abläufe modellieren, analysieren und gezielt entwerfen. Die Mächtigkeit der dabei eingesetzten Methoden offenbart sich in ihrer Verwendung in so verschiedenen Disziplinen wie der Nachrichtentechnik, Regeltechnik, Kybernetik, Systembiologie und Ökonomie.

Der Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik vermittelt in der Lehre Kenntnisse zur Elektro- und Automatisierungstechnik. Dabei sollen die Studierenden nicht nur den

Stand der Technik kennen lernen, sondern vor allem eine umfassende Methodenkompetenz erwerben.

Denn während reproduzierendes Faktenwissen („Wie wird es jetzt gemacht?“) schnell veraltet, stellen die in den Vorlesungen, Übungen und Praktika des Lehrstuhls für Mess- und Regeltechnik trainierten analytischen Fähigkeiten und systematischen Vorgehensweisen eine fundierte Basis für anspruchsvolle F&E-Tätigkeiten und lebenslanges Lernen dar („Warum wird es so gemacht?“ als Voraussetzung des „Wie kann man es besser machen?“). Die quantitative Lösung eingebetteter Aufgaben stellt ähnliche Anforderungen wie später die berufliche Praxis: die Lösung erfordert Kreativität, weil das Problem anfangs unklar definiert erscheint und sich der Lösungsweg erst beim Handeln konkretisiert. So entwickeln die Studierenden die wichtige Fähigkeit zur Transferleistung, also zur Anwendung bekannter Methoden auf unbekannte Probleme.

Konkret werden die folgenden Lehrveranstaltungen für Studierende der Materialwissenschaft, der Bio- und Umweltwissenschaft, der Metalltechnik (Berufsschule), der Technomathematik, der Mathematik mit Nebenfach Ingenieurwissenschaft und der Angewandten Informatik angeboten:

- Grundlagen der Elektrotechnik
- Messtechnik
- Regeltechnik
- Sensorik
- Mikrosystemtechnik
- Rechnergestütztes Messen
- Ausgewählte Kapitel der Mechatronik
- Messsysteme der Medizintechnik

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Fischerauer, Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik

nik

### Forschungsangebot

Der Forschungsauftrag des Lehrstuhls lässt sich unter dem Motto „Von der Technologie zum Sensor zum System“ zusammenfassen. Die Aktivitäten gruppieren sich um die Themen Dünnschichttechnologie, Sensoren und Mikrosysteme, Mess- und Sensorsysteme und – als grundlegende Disziplin – Elektro- und Hochfrequenztechnik. Die im Folgenden programmatisch beschriebenen Forschungsschwerpunkte werden parallel zur Entwicklung der gerätetechnischen Ausstattung des Lehrstuhls ausgebaut. Die technologische Basis ist zunächst die

### Dünnschichttechnologie

Im Reinraum des Lehrstuhls (ab 2003) lassen sich damit Strukturen bis unter 1  $\mu\text{m}$  herstellen. Der Fokus liegt auf Sondermaterialien wie Piezoelektrika oder Ferromagnetika, welche Sensoranwendungen abdecken, die der konventionellen Siliziumtechnik verschlossen sind (etwa weil sie hohen Temperaturen nicht gewachsen wäre). Neben der Prozessbeherrschung spielt die Kenntnis der beteiligten Materialparameter eine entscheidende Rolle; ohne sie ist eine Punktlandung beim Bauelemententwurf nicht möglich. Die langjährige Erfahrung unseres Teams auf den Gebieten Modellierung, Messtechnik - bis in den Mikrowellenbereich - und Lasertechnik wird zur Bestimmung solcher Materialparameter und den Aufbau einer Materialdatenbank eingesetzt.

Kleine Strukturen auf der Basis der Dünnschichttechnologie stellen die Voraussetzung für eine orts- und zeitaufgelöste Erfassung physikalischer und chemischer Größen dar. Derartige

### Sensoren und Mikrosysteme

werden vor allem mit Blickrichtung auf Anwendungen erforscht, bei denen es auf extreme Miniaturisierung ankommt, etwa weil kleinste Änderungen gemessen werden sollen (Umweltanalytik), nicht viel Platz zur Verfügung steht (Medizintechnik) oder kostengünstig und betriebssicher höchste Funktionsdichten erreicht werden müssen (Automotive-Bereich). Unser Traum ist der Ersatz der Laboranalyse durch die In-situ-Messung, der periodischen Probenahme durch die Dauerüberwachung und der indirekten durch die direkte Messung.

Um diesen Traum wahr werden zu lassen, bleiben wir nicht bei den Sensorelementen stehen. Im Sinne des Systemgedankens der Automatisierungstechnik konzentrieren wir uns vielmehr auf vollständige

Mess- und Sensorsysteme mit neuen und konventionellen Sensoren oder - zur Kompensation von Störeffekten und zur Erhöhung der Selektivität - Sensorarrays. Raue Umgebungsbedingungen wie in der Verkehrstechnik, Mechatronik und Prozesstechnik oder Telemetrieanwendungen der Medizintechnik, Umweltanalytik und Domotik erfordern geeignete Sensoransteuerungen und Signalauswertungsverfahren. Für deren Weiterentwicklung und für ein reibungsloses Zusammenspiel aller Systemkomponenten werden unsere Modellierungs-, Simulations- und Entwurfswerkzeuge Schritt um Schritt erweitert. Unser Ziel ist die Beherrschung von Prozessen, Materialparametern und Werkzeugen.

### Mess- und Sensorsysteme

Ohne die Grundlagendisziplin der Elektro- und Hochfrequenztechnik ist die Ansteuerung und Charakterisierung miniaturisierter Sensoren genauso undenkbar wie der Betrieb vollständiger Messsysteme. In unseren Labors entwerfen und realisieren wir Schaltungen und führen Messungen durch. In Kürze wird durch Anschaffung eines automatischen Netzwerkanalysators und

### Elektro- und Hochfrequenztechnik

anderer HF-Messgeräte der Frequenzbereich bis etwa 3 GHz erschlossen. Ab 2003 wird eine Schirmkammer die Beurteilung von Immunitäts- und Emissionsfragen erlauben, denn die Elektromagnetische Verträglichkeit stellt wie überhaupt die Umweltverträglichkeit ein wesentliches Zielkriterium unserer Arbeit dar.

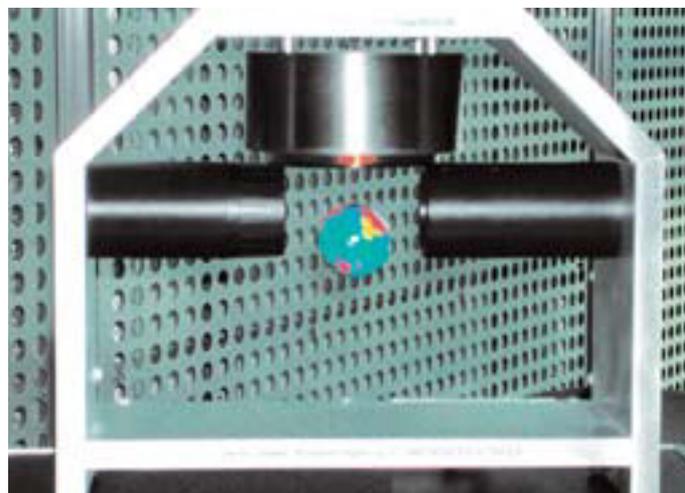


Abb. 1: Demonstration regelungstechnischer Verfahren: Wie lässt man einen Ball schweben?

Ihr Interessengebiet

### Ihr Interessengebiet

Sie stoßen bei Ihren F&E-Projekten auf Hindernisse, die unseren Arbeitsbereich berühren, und suchen Gesprächspartner mit industriellem Hintergrund, die Ihre Sprache verstehen, für die FMEA, QM und 6 $\sigma$  keine Fremdwörter sind? Sprechen Sie uns einfach an und profitieren Sie von unserem Know-how und unserer jahrelangen Erfahrung auf den Gebieten Dünnschichttechnologie, Elektro-, Hochfrequenz- und Messtechnik, Physik und Feinwerktechnik.

### Kontakt

Universität Bayreuth  
Lehrstuhl für  
Mess- und Regeltechnik  
Universitätsstraße 30  
95440 Bayreuth  
Tel.: 0921 / 55 - 7230  
Fax: 0921 / 55 - 7235  
Internet: <http://www.mrt.uni-bayreuth.de>  
E-Mail: [mrt@uni-bayreuth.de](mailto:mrt@uni-bayreuth.de)



Abb. 1: AESTUS-Expansionsdüse für die obere Triebwerkstufe der europäischen Trägerrakete Ariane5 Material: C-faserverstärktes SiC

*Innovative Systeme und Komponenten erfordern maßgeschneiderte Werkstoffe und neue bzw. optimierte Verfahrenstechniken. An drei Beispielen wird dies verdeutlicht:*

*Bereich Raumfahrt (höchste Temperaturen bei extrem niedrigem Gewicht), Leistungselektronik (Kombination von chemischem Know-how und neuer Verfahrenstechnik) und Medizintechnik (Einstellen verschiedener Eigenschaften mit zusätzlicher Biokompatibilität und Biodegradation).*

### Faserverstärkte Keramiken für die Raumfahrt

An Werkstoffe für die Raumfahrt werden extreme Anforderungen hinsichtlich geringem spezifischem Gewicht und extremen Hochtemperatureigenschaften gestellt. Diese können nur durch faserverstärkte Keramiken (CMCs) erfüllt werden. Diese Werkstoffklasse weist aufgrund ihrer hohen Schadenstoleranz eine gute Temperaturwechselbeständigkeit auf. Der Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe befasst sich seit Jahren mit dieser Werkstoffgruppe und bringt hier vor allem seine Expertise im Bereich der Precursorkeramik (Herstellung von Keramiken aus metallorganischen Vorstufen) ein.

## Keramik und Verbundwerkstoffe

# Maßgeschneiderte keramische Werkstoffe für Raumfahrt, Elektronik und Medizintechnik

Günter Ziegler

Durch Anregung und unter Federführung der Firma Astrium wird über die Bayerische Forschungsstiftung das Projekt „Keramische Faserverbundwerkstoffe für Hochtemperaturantriebe in der Raumfahrt“ gefördert, bei dem Expansionsdüsen und Brennkammern entwickelt werden. Der Einsatz von CMCs im Brennkammerbereich von hochenergetischen  $H_2/O_2$ -Flüssig-Raketentriebwerken verspricht wesentliche Vorteile gegenüber den metallischen Werkstoffen. Zu nennen sind hier insbesondere die Reduzierung des Triebwerkgewichts und damit die Erhöhung der Nutzlast, die Reduktion des Kühlaufwands aufgrund der höheren zulässigen Materialtemperatur (1760 °C) sowie der geringe thermische Ausdehnungskoeffizient und damit die deutliche Reduktion der thermomechanischen Spannungen. Weitere Vorteile sind die hohe Thermoschockbeständigkeit, die Beständigkeit gegenüber den Verbrennungsprodukten und die höhere Flexibilität und Freiheitsgrade bei der Bauteilgestaltung. Der wirtschaftliche Druck macht es erforderlich, wieder verwendbare Antriebssysteme zu entwickeln, die zwanzig bis dreißig Starts ermöglichen. Dies stellt höchste Anforderungen an die Erhöhung der Lebensdauer bei den extrem hohen Temperaturen. Die Entwicklung der Expansionsdüsen und

Brennkammern aus faserverstärkten Keramiken soll in das Gesamtkonzept der neuen Antriebe für die europäische Trägerrakete Ariane 5 einfließen (Abb. 1).

Zur Realisierung dieser Anforderungen müssen Werkstoffe entwickelt werden, die hervorragende Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen aufweisen. Wesentliche Aufgaben des Lehrstuhls sind die Verbesserung des Matrixaufbaus für bestimmte Herstellungstechniken der Faserverbunde und die Entwicklung geeigneter Oxidationsschutzverfahren für die aus Kohlenstofffasern bestehenden komplexen Bauteile mit einfachen Verfahrenstechniken. Hier spielen die herausragenden Eigenschaften der am Lehrstuhl eigensynthetisierten präkeramischen Polymere eine entscheidende Rolle. Teile des Projekts werden in der zweiten Phase in das Kompetenzzentrum Neue Materialien Bayreuth übertragen.

Dieses Projekt ist ein typisches Beispiel für eine auch international anspruchsvolle Kooperation mit einem Großkonzern und mehreren KMUs.

### Neuartige Kühltechniken für die Leistungselektronik

Bisher werden in der Bahnantriebstechnik in vielen Fällen noch die Umwelt schädigenden Fluorchlor-

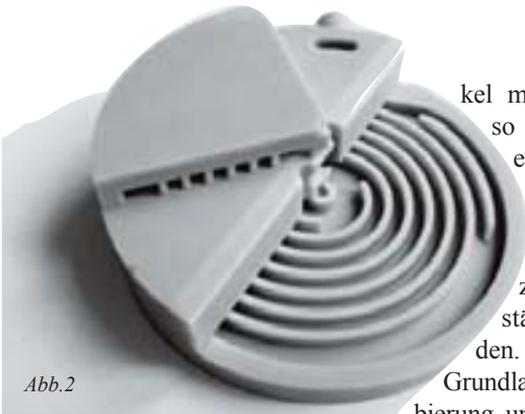


Abb. 2

kohlenwasserstoffe (FCKW) verwendet. Die Firma ANCeram, Bindlach, hat zusammen mit einer bedeutenden Anwenderfirma neuartige keramische Kühler für die Leistungselektronik entwickelt, die im Gegensatz zu den konventionellen Kupfer-Siede-Kühlern mit normalem Leitungswasser arbeiten und damit das schädliche Kühlmittel Freon ersetzen. Der neuartige Kühler aus dem keramischen Werkstoff Aluminiumnitrid (AlN) hat zwei wesentliche Vorteile: Zum einen zeigt er eine hervorragende elektrische Isolation, zum anderen wird die entstehende Wärme aufgrund der ungewöhnlich hohen Wärmeleitfähigkeit von AlN in kurzer Zeit von den Halbleiterbauelementen direkt abgeführt. Durch diese Technologie werden U- und S-Bahn-Züge leistungsfähiger, leiser, wartungsärmer und durch den Verzicht auf synthetische Kühlmittel besonders umweltfreundlich.

Die Herstellung der neuartigen Kühler aus Aluminiumnitrid (Abb. 2) erfordert neue Herstellungsverfahren. Die Herausforderung liegt in der rationellen Herstellung der komplex geformten Bauteile und in der Vermeidung von toxikologisch bedenklichen organischen Lösungsmitteln bei der Verarbeitung der hygroskopischen, d.h. Wasser aufnehmenden AlN-Keramikpulver. Diese Probleme können nur durch eine Kombination von großem chemischen Know-how bei der Pulveraufbereitung und umfassenden technologischen Erfahrungen bei der Pulververarbeitung gelöst werden. Der primäre Lösungsansatz besteht darin, die ca. 1 µm großen AlN-Parti-

kel mit speziellen Polymeren so zu beschichten, dass sie eine hydrophobe Oberfläche erhalten, somit in Wasser verarbeitet werden können und Zersetzungerscheinungen vollständig unterdrückt werden. Die wissenschaftlichen Grundlagen für diese Hydrophobierung und die Verarbeitung mittels Druckschlickerguss wurden in einem AiF-Projekt des Lehrstuhls und einem anschließenden Verbundprojekt zwischen dem Lehrstuhl und der Firma ANCeram im Programm „Neue Werkstoffe in Bayern“ gelegt. Die Übertragung in die Kleinserie wird zusammen mit dem Kompetenzzentrum Neue Materialien Bayreuth durchgeführt. Dies ist ein typisches Beispiel, wie ein Grundlagenprojekt am Lehrstuhl schrittweise durch höheren Anwendungsbezug über verschiedene Projekte in das Kompetenzzentrum transferiert wird.

Wenn diese Entwicklung zum Erfolg führt, können durch den Ersatz von ca. 110 Kilogramm FCKW in jeder U-Bahn-Antriebseinheit allein in der Bundesrepublik Deutschland jährlich 220 Tonnen Freon bzw. Freonnachfolgeprodukte vollständig vermieden werden. Dies entspricht, um einen Größenvergleich zu geben, einer Anzahl von 160 Millionen mit Treibgas gefüllten Spraydosen. Weltweit wären, unter Berücksichtigung der gesamten Bahnantriebstechnik, jährlich mehr als 10.000 Tonnen FCKW, d.h. die Zahl von 7,3 Milliarden Spraydosen, durch einfaches Leitungswasser ersetzbar.

**Neue Materialien für die Medizin**

Aus dem Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe heraus hat sich das Friedrich-Baur-Forschungsinstitut für Biomaterialien entwickelt. Dieses Institut befasst sich mit der Erforschung und Entwicklung von biokompatiblen Materialien aus Keramik und Kombinationen von Keramik/Polymer/Metall, die im Be-

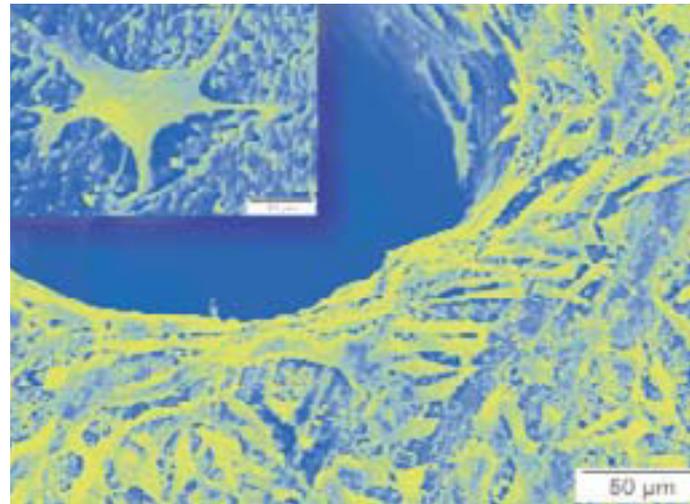
reich der Medizin im menschlichen Körper eingesetzt werden. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Umsetzung der Ergebnisse in biokompatible Komponenten(u.a. Implantate). Die Forschungsaktivitäten sind werkstoff- und fachgebietsübergreifend angelegt (Kooperationen unter anderem mit der Biochemie, Medizin, Biologie). Materialien werden je nach medizinischem Anforderungsprofil kompakt, porös, als Schicht, Verbund- oder Gradientenwerkstoff appliziert. Das Institut arbeitet zurzeit auf drei Hauptarbeitsgebieten:

- Verbesserung lasttragender metallischer Implantate
- Keramische Knochenersatzmaterialien
- Zahnheilkunde.

Diese Themenbereiche werden durch Biofunktionalisierungen von

Abb. 2: Hochleistungskühler aus Aluminiumnitrid für die Leistungselektronik

Abb. 3: Besiedlung eines porösen Knochenersatzmaterials mit Zellen menschlichen Ursprungs



metallischen Implantatoberflächen zur anwendungsbezogenen und funktionellen Kompatibilität der in den Körper eingebrachten Implantate ergänzt. Für in vitro Biokompatibilitätsuntersuchungen steht ein institutseigenes Zelllabor zur Verfügung (Abb.3). Aus diesen Bereichen erfolgt ein Transfer in verschiedene medizinische Anwendungen. Beispiele hierfür sind ein Detektor für die neue Generation von Computertomographen, antiinfektiöse Implantatbeschichtungen sowie Materialien zum Kleben von Gewebe.

# Werkstoffgerechter Materialeinsatz: Der richtige Werkstoff an der richtigen Stelle

Jean Pierre Bergmann und Klaus Müller

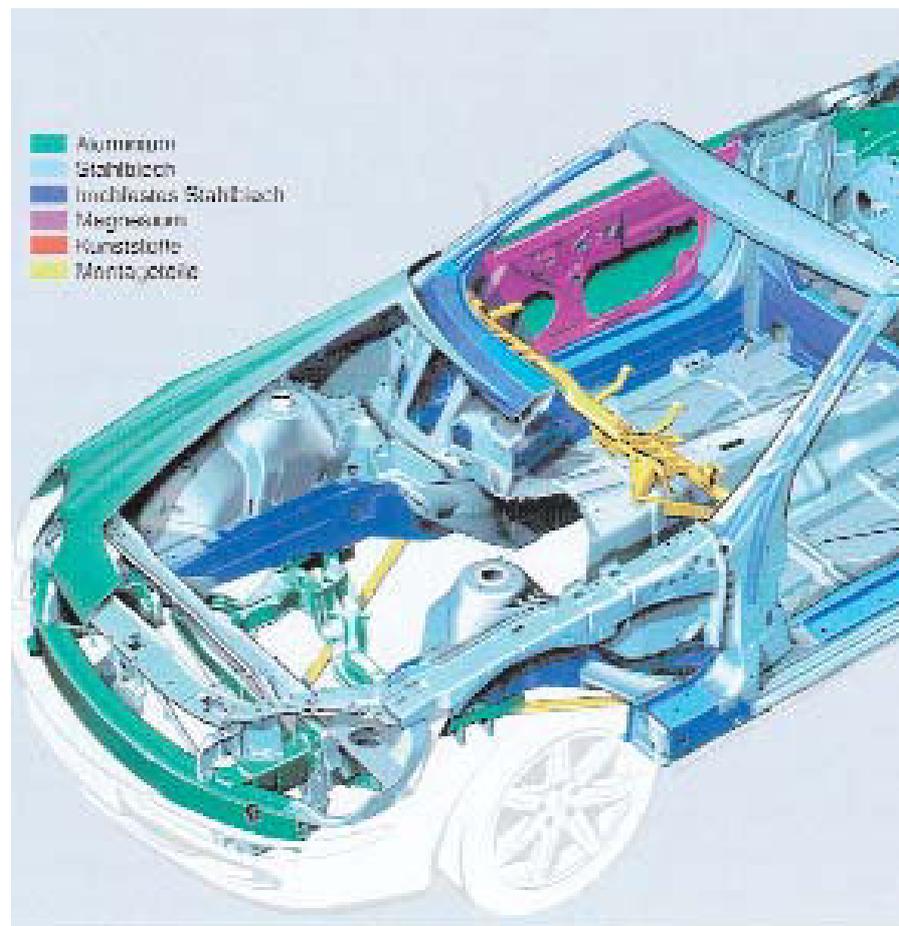
Das steigende Interesse an Gewichtsreduzierung im Fahrzeugbau aufgrund der freiwilligen und gesetzlichen Anforderungen an begrenzten Kraftstoffverbrauch, hat die Fahrzeugindustrie im letzten Jahrzehnt dazu geführt, Fahrzeuge aus einer optimierten Auslegung und Anwendung von Werkstoffen zu konzipieren. Mittels dieser Philosophie hat sich im Fahrzeugbau eine Mischung an Materialien durchgesetzt, die nicht nur vom Faktor Dichte bestimmt wird, sondern von den spezifischen Eigenschaften sowie von den Verarbeitungsmöglichkeiten, von den Kosten und von der Recyclingfähigkeit. Leichtbauwerkstoffe wie Aluminium, Magnesium, höchstfeste Stähle oder Werkstoffverbunde auf Polymerbasis werden gleichzeitig eingesetzt und man ist bestrebt die Vorteile des jeweiligen Werkstoffes auszunutzen.

Die weltweiten gesetzlichen Vorgaben und die gesellschaftliche Forderung nach umweltverträglicher Produktionstechnik haben die Elektronikindustrie in den letzten Jahren dazu gezwungen, giftige Substanzen wie die Schwermetalle Kadmium und Blei durch ungiftige Elemente zu ersetzen. Dieser Schritt, die bewährten Produktionsmethoden zu verlassen und neue Wege zu suchen, ist mit einer großen Herausforderung für die gesamte Branche verbunden. Hinzu kommen die stetig steigenden Anforderungen, die die Kunden z.B. aus der Automobil- und Telekommunikationsbranche an die Produkte, z.B. im Hinblick auf Temperaturbeständigkeit und Lebensdauer stellen.

- Fügen von unterschiedlichen Werkstoffen (Hybridverbindungen) und von hochreaktiven Werkstoffen (z.B. Titan),
  - Laserlegieren von Zylinderlaufflächen,
  - Laserbeschichten mit Hartstoffe.
- Das Bestreben der Fahrzeugindustrie das Gewicht des PKW zu reduzieren, führt dazu, dass eine sehr genaue Auswahl der Materialien durchgeführt werden muss. Neben den herkömmlichen Stahlwerkstoffen werden zunehmend Leichtbauwerkstoffe wie Aluminium, Magnesium, Titan und Polymerwerkstoffe eingesetzt (siehe Bild 1 und 2). Weiterhin werden diese miteinander verschweißt, um auf diese Weise die jeweiligen Eigenschaften

an der richtigen Stelle zu haben. Das Schweißen von Stahl mit Aluminium ist für die konventionelle Schweißtechnik mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da es zur Bildung von spröden intermetallischen Phasen kommt. Untersuchungen am Lehrstuhl ermöglichen das thermische Fügen mittels Laserstrahlung von diesen beiden Werkstoffen ohne Beeinträchtigung der Festigkeit der Verbindung. Hierzu werden maßgeschneiderte Zusatzwerkstoffe (die ebenfalls in Form von Draht am Lehrstuhl hergestellt werden) entwickelt, die eine gute Anpassung zum Stahl und zum Aluminium ermöglichen. Auch teure Werkstoffe die mei-

Der Lehrstuhl Metallische Werkstoffe forscht seit Jahren auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung und der Lotwerkstoffentwicklung an der Seite namhafter Industriepartner in mehreren großen Verbundprojekten. Im Rahmen der Lasermaterialbearbeitung liegen die derzeitigen Schwerpunkte im:



stens für die Luft- und Raumfahrt-industrie verwendet werden, können im Fahrzeugbau eingesetzt werden, wenn die Bearbeitungskosten niedrig sind und die Festigkeitseigenschaften zu einer Gewichtsreduzierung führen. Untersuchungen am Lehrstuhl belegten, dass durch das Laserstrahlschweißen eine erhebliche Verminderung des Arbeitsaufwandes erreicht werden kann, so dass in einzelnen Fällen das Laserstrahlschweißen von Titan gerechtfertigt wäre.

Das Laserlegieren von Aluminiumgusslegierungen mit härteren Werkstoffen, wie z.B. bei Zylinderlaufflächen im Motor, führt zu einer Verbesserung der Verschleißbeständigkeit im oberflächennahen Bereich. Dies ermöglicht die Anwendung von leichtem, aber weichen Aluminiumguss mit der Folge hoher Gewichtseinsparung.

Im Bereich Lotwerkstoffe liegt der Aufgabenschwerpunkt des Lehrstuhls in der Suche nach alternativen Legierungszusammensetzungen für bleifreie Lotlegierungen im Hinblick auf die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Lötverbindungen (siehe Bild 3).

Bedingt durch das jeweilige An-

wendungsgebiet der elektronischen Komponenten entstehen unterschiedliche, zum Teil extreme Anforderungsprofile. So geht beispielsweise im Bereich der Telekommunikation der Trend weiter in Richtung einer zunehmenden Miniaturisierung und gegebenenfalls zur dreidimensionalen Gestaltung der Schaltungsträger unter Verwendung thermoplastischer Kunststoffe. Unter diesen Randbedingungen sind für das Löten Materialien erforderlich, die einerseits eine sehr niedrige Verarbeitungstemperatur zulassen (nur wenig über 100 °C), um weder die Bauelemente noch die Schaltungsträger thermisch zu sehr zu belasten, gleichzeitig jedoch auch bei rauen Umgebungsbedingungen eine ausreichende Zuverlässigkeit garantieren.

Im Gegensatz dazu ist die Automobilbranche bestrebt, die elektronischen Komponenten möglichst nahe am „Ort des Geschehens“ anzubringen, also eine Motor- oder Getriebebesteuerung direkt am bzw. im Motor oder Getriebe.

Während man bisher unter der Motorhaube eines modernen Kraftfahrzeugs von Temperaturen um 125 °C ausgeht, werden die Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit der elektronischen Komponenten in allernächster Zukunft auf Werte von 150 °C, später wahrscheinlich auf ca. 180 °C ansteigen. Dieser Trend erfordert eine ganzheitliche Systemlösung, da hier sowohl in punkto Verbindungstechnik als auch auf Seite der Bauelement- und Leiterplattenherstellung die Entwicklung vorangetrieben werden muss. Der wesentliche Beitrag des Lehrstuhls ist die Entwicklung bleifreier Löt-Zusatzwerkstoffe (Mehrstofflegierungen) mit optimierten mechanischen Eigenschaften (Kriechbeständigkeit

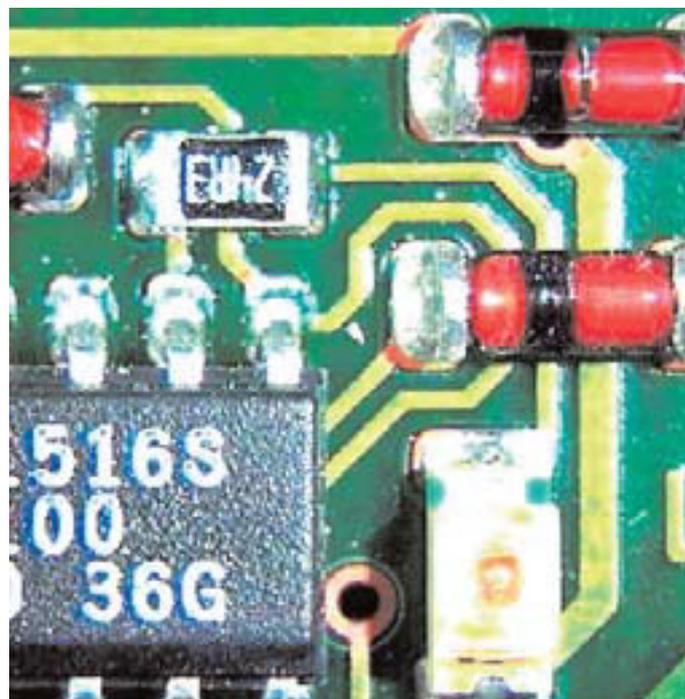


Bild 2: Laserstrahlschweißen der C-Säule beim AUDI A2  
(Quelle: Dr. Korte)  
Bild 3: Lotverbindungen an einer Platine



Bild 1: Werkstoffvielfalt im Mercedes SL  
(Quelle: ATZ 2002)

im relevanten Temperaturbereich bei guter Verarbeitbarkeit (z.B. Schmelztemperatur, Benetzungsverhalten, Druckverhalten etc.), wobei die metallurgischen Reaktionen mit den Substratmaterialien und Metallisierungen ebenfalls zu berücksichtigen sind.



# CFK-Rumpf Faserverstärkte Kunststoffe im Flugzeugbau

Hauke Lengsfeld, Paola Uribe

Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms II (Lufo II) besteht eine Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Polymere Werkstoffe an der Universität Bayreuth mit der Airbus Deutschland GmbH durch vier assoziierte BMBF Forschungsprojekte.

Damit die europäische Luftfahrtindustrie in Zukunft wettbewerbsfähig bleibt, müssen die Herstellungs- und Betriebskosten der Flotte gesenkt werden. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die zunehmende Verwendung von Hochleistungskunststoffen und Verbundwerkstoffen.

Leichtere und kostengünstigere Bauweisen für Flugzeuge bieten deren Herstellern Wettbewerbsvorteile, die für ein stetiges Marktwachstum notwendig sind. Neuentwickelte Materialien sollen darüber hinaus das Versagensrisiko durch Ermüdung oder Korrosion

senken und müssen dabei gleichzeitig die hohen Zulassungskriterien im Luftfahrtbereich erfüllen. Diesen Anforderungen können multifunktionelle Bauteile aus modernen Hochleistungspolymeren und Faserverbundwerkstoffen gerecht werden. Innerhalb des Lufo II-Programms soll im Jahr 2010 ein Rumpf aus „Kunst- und Verbundwerkstoffen“ entstehen, mit dem eine Gewichtsreduktion um 30% und eine Kostensenkung um 40% im Vergleich zum heutigen Aluminiumrumpf zu erreichen sind. Diese Ziele sind mit der klassischen Struktur (Stringer und Spante, siehe Bild 1) nicht realisierbar, weshalb eine Neukonzeption der Rumpfbauweise erforderlich ist. Zur Zeit wird der sogenannte „Doppelschaler“ favorisiert (siehe Bild 2).

Das Forschungsprogramm gliedert sich in drei Phasen, wobei in Phase I das grundlegende Design festge-

legt wird, die Werkstoffauswahl stattfindet und die nötigen Herstellungsverfahren entwickelt werden. Vor Anlauf der Serienproduktion muss zudem die Verarbeitbarkeit der ausgewählten Materialien simuliert werden. Basierend auf diesen Ergebnissen, werden erste Prototypen hergestellt und deren Qualität beurteilt. Da aufgrund der komplexen Fragestellungen eine Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen und der Industrie erforderlich ist, kooperiert die Airbus Deutschland GmbH eng mit Hochschulen.

Dem Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Volker Altstädt fällt in dieser Phase eine wichtige Rolle zu. In mehreren Teilbereichen sollen Materialien entwickelt und deren Anwendungsmöglichkeiten im Flugzeugrumpf aufgezeigt werden.

In vier vom BMBF geförderten Projekten werden die oben ange-

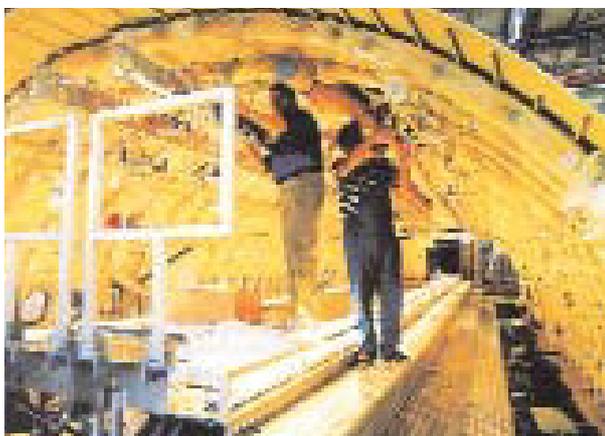


Bild 1: Klassischer Aluminiumrumpf im Bau

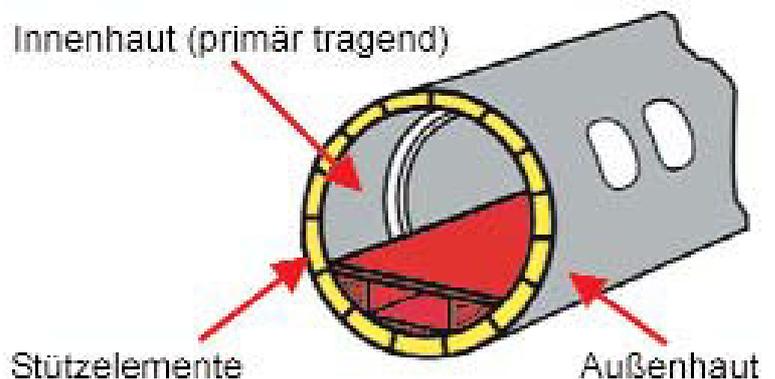


Bild 2: z.Z. favorisierte Bauweise als „Doppelschaler“

**A320/A319 composite structures**

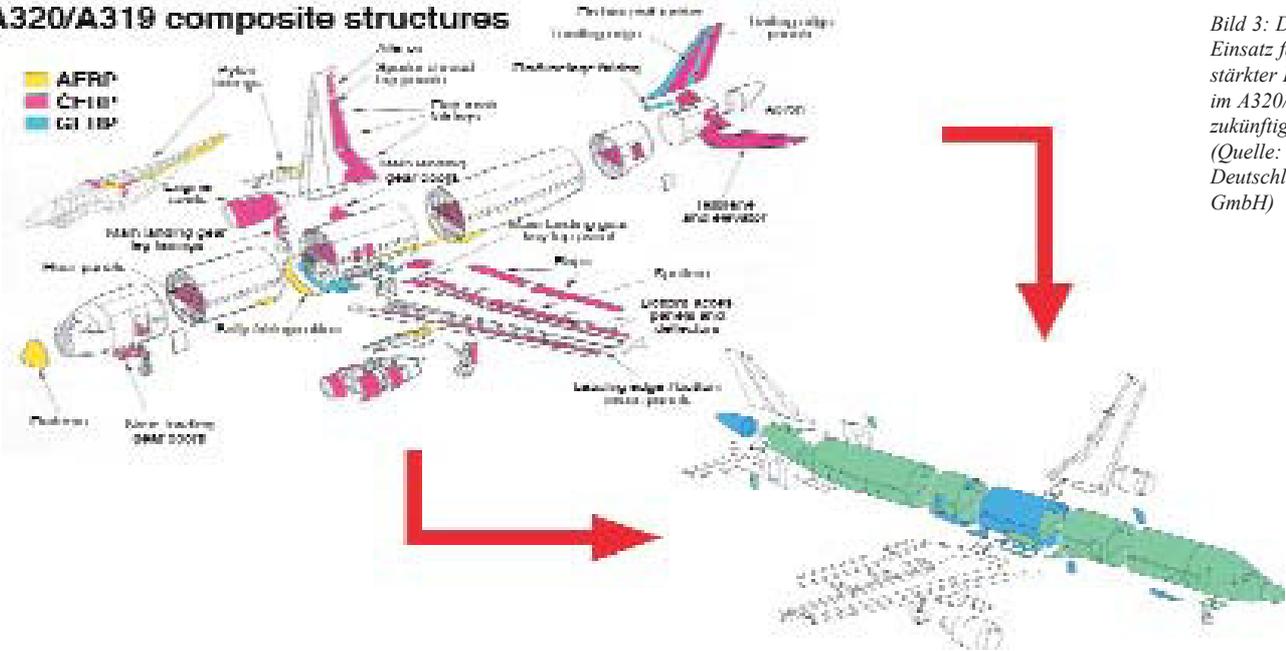


Bild 3: Derzeitiger Einsatz faserverstärkter Kunststoffe im A320/A319 und zukünftiger Einsatz (Quelle: Airbus Deutschland GmbH)

fürten Thematiken in Kooperation mit elf Industriefirmen am Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe bearbeitet. Der Fokus der Forschungsaktivitäten am Lehrstuhl liegt dabei auf folgenden Materialgruppen: Epoxidharze, Faserverbundwerkstoffe, sowie Blends und Schäume aus Hochtemperaturthermoplasten.

Im Bereich der Epoxidharze werden neue Harzformulierungen entwickelt, die eine niedrigere Härtungstemperatur bei gleichzeitig kürzerer Aushärtungsdauer ermöglichen. Die heutigen Harzsysteme für Primärstrukturen härten bei 180 °C in 2 - 4 Stunden aus. Die Lagerungsstabilität bei Raumtemperatur wird bei den neuen Harzen ebenfalls verbessert. Die traditionellen aminischen Härter werden durch innovative Beschleuniger ersetzt, woraus eine Kostensenkung aufgrund der Energie- und Zeitersparnis resultiert. Zusätzlich werden diese Systeme für Harzinjektionsverfahren (RI, RTM) optimiert. Ein wichtiger Sicherheitsaspekt in der Luftfahrt ist der Brandschutz. Hierzu werden neue, reaktive Flammenschutzmittel für Epoxidharze entwickelt und getestet.

Darüber hinaus werden neue, kostengünstige Faserverbundwerk-

stoffe bzw. Halbzeuge mit Thermoplastmatrix entwickelt. Hierbei muss besonders auf die gute Verarbeitbarkeit der Werkstoffe geachtet werden, damit die industriell eingesetzten Verfahren wie z.B. Umformung, Intervall-Heißpressen, Pultrusion, Rollformen, Autoklavtechnik, etc. angewendet werden können.

Zur Zeit werden im Flugzeugbau nur sehr geringe Mengen an Hochleistungsthermoplasten in der Rumpfstruktur eingesetzt, da die chemische Beständigkeit der meisten thermoplastischen Polymere gegenüber aggressiven Umgebungsmedien (z.B. Kerosin) nicht ausreichend und deshalb die Gruppe der dafür geeigneten Kunststoffe stark eingeschränkt ist. Die in Frage kommenden Thermoplaste sind zum einen schon als Rohstoff teuer, zum anderen ist deren Verarbeitung noch sehr aufwändig. Mit Hilfe der Blendtechnik, d.h. durch die Mischung verschiedener Kunststoffe, sollen das Preis-Eigenschaftsverhältnis optimiert und durch die Anpassung der thermoplastischen Verarbeitungsverfahren die Fertigung vereinfacht werden. Hierdurch wird eine Senkung der Halbzeugkosten um ca. 30 - 40 % angestrebt.

Ein weiterer Forschungsbereich ist

die Entwicklung von Alternativen zu den derzeit eingesetzten Wabenstrukturen zur Gewichtsreduktion und der akustischen Isolierung. Das größte Problem der Waben ist die Wasserablagerung, die zu unerwünschter Gewichtserhöhung führt. Sandwichstrukturen mit Kernen aus thermoplastischen Schäumen sind eine mögliche Alternative. Der Lehrstuhl befasst sich mit der Entwicklung von kostengünstigen Schäumen aus Hochtemperaturthermoplasten wie z.B. Polyethersulfonen. Dabei müssen unterschiedliche Einflussparameter wie z.B. Treibmittel, Verfahrensparameter (Druck, Temperatur, Drehzahl) und das Extruderdesign berücksichtigt werden. Letztendlich sollen Schäume mit der optimalen Zellgröße und -verteilung, Dichte, mechanischen, akustischen und thermischen Eigenschaften synthetisiert werden. Sie sollen als Energieabsorber (Impactstabilität), thermische Dämmelemente und für nicht-strukturelle Anwendungen wie Flammenschutz eingesetzt werden.

BMBF-Förderkennzeichen:

- 03N3072, 03N3073
- 03N3074, 03N3079

# Vom Material zum Bauteil: neue Werkstoffe aus Pulvern

Monika Willert-Porada

Die Entwicklung von Verfahren zur Herstellung, Be- und Verarbeitung von Werkstoffen war über Jahrhunderte dominiert von der Hüttenkunde, Metallurgie und Metalltechnik.

Mit den neuen Werkstoffklassen: organische Polymere, Halbleiter und Hochleistungskeramik, die zunehmend industrielle Relevanz erlangten, setzte im Bereich der Verarbeitungstechnologie eine enorme Diversifizierung ein, die eine stoffklassenübergreifende Behandlung der Verarbeitungstechnologien erheblich erschwerte. Dennoch ist diese Kompetenz zur Erfüllung der vielfältigen Aufgaben eines Werkstoffingenieurs dringend erforderlich.

Abhilfe schaffen könnten neue Systematisierungskriterien für die Vielzahl der Herstellungs-, Bearbeitungs- und Verarbeitungsverfahren. Ein Rückgriff auf die Systematik der Metallurgie wird hierfür nicht ausreichen. Vielmehr sollten die gemeinsamen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen verschiedener Technologien deutlicher herausgearbeitet werden, um Verfahrens- und Verarbeitungstechniken systematisch weiterentwickeln zu können. Die Pulvermetallurgie liefert hierfür ein gutes Beispiel.



Die Pulvermetallurgie (abgekürzt PM) stellt ein stoffklassenübergreifendes Gebiet der Werkstoffverarbeitung dar. Zwar ist die Namensgebung traditionell an Bauteile aus Metallpulvern gebunden, doch werden in der industriellen Praxis keramische und metallische Werkstoffe ebenso wie organische Polymere aus dem pulverförmigen Zustand unter Erhöhung des Zusammenhaltes zu Formkörpern und Bauteilen verarbeitet. Verbundwerkstoffe spielen hier eine wichtige Rolle, sowohl als Dispersions- als auch als Faserverbundwerkstoffe. Als eine weitere wichtige Klasse pulvermetallurgischer Erzeugnisse sind poröse Werkstoffe zu nennen, die als Filter, Lagerteile und Katalysatorträger zum Einsatz kommen.

Die mit diesem Urformverfahren verbundene Erhöhung des stofflichen Zusammenhaltes erfordert einen Stoff- und Ladungstransport, der mittels Aktivierung von Diffusionsprozessen erfolgt und zu einem Werkstoff führt, dessen Eigenschaftsprofil durch seine Mikrostruktur und sein Gefüge definiert ist.

Am Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung wird in zahlreichen Forschungsvorhaben untersucht, welche Möglichkeiten der thermischen und nicht-thermischen Aktivierung von Transportprozessen möglich sind, um die Gefügeausbildung bei verschiedenen Materialklassen zu beeinflussen.

## Verkürzte Prozessketten

Mittel- und Hochfrequenzfelder,

Mikrowellen-Strahlung und Laser kommen als Energiequellen zum Einsatz, um eine Verkürzung der Prozessketten bei optimaler Gefügeeinstellung zu erreichen. Ein Beispiel ist die Verbindung von Sinterung (Verdichtung) mit Gefügeeinstellung (mechanische Eigenschaften) und Beschichtung (Tribologie) eines Bauteils, ausgehend von Pulvern, wie in Abb. 1 für Hartmetalle dargestellt. Durch Einsatz von Mikrowellen erfolgt die direkte Erwärmung und eine Plasmabehandlung der Bauteile, ggf. unter Einsatz von Reaktivgasen. Das Verfahren wird als MWSB, Mikrowellen-Sinter-Beschichten [1] abgekürzt.

Ein ähnliches Ziel wird bei PM-Stahlbauteilen angestrebt, die wegen der komplexen Geometrie zwar durch Sintern hergestellt werden, jedoch mechanische Eigenschaften geschmiedeter Bauteile aufweisen sollten. Untersucht wird derzeit, ob starke elektrische Felder geeignet sind, beim Sintern die Legierungsbildung und die lokale Verdichtung zu beeinflussen, wie in Abb. 2 gezeigt.

Im dritten Beispiel, Abb. 3, geht es um pulvermetallurgisch hergestellte Faserverbund- und Dispersionswerkstoffe. Die Elektrode-Elektrolyt-Einheiten (MEA) von Polymer-elektrolyt-Brennstoffzellen (PEM) sind Verbundwerkstoffe aus metallbeschichteten Kohlefasern in einer Polymermatrix. Mit Hilfe eines neuen Verfahrens wird das katalytisch wirksame Metall als nanokristallines Pulver auf den Kohlefasern mittels des sogenannten „CMP-Colloidal

Microwave Processing“ abgeschlossen [2]. Durch Infiltration der Kohlefaser-Gewebe mit einer Polymer-suspension und Wärmebehandlung entsteht der Verbundwerkstoff.

Auch auf anderen Gebieten der Energietechnik sind Multifunktionswerkstoffe erforderlich. In Abb. 4 ist ein poröser, katalytisch aktiver Hochtemperatur-Werkstoff dargestellt. Bedarf für solche Werkstoff besteht beispielsweise für Solid Oxide Fuel Cells, SOFC-Brennstoffzellen und für Heißgasfilter. Hierbei darf sich die Porosität und Metallpartikelgröße auch bei jahrelangem Einsatz bei sehr hohen Temperaturen nicht verändern. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Herstellungstemperatur der Werkstoff wesentlich höher sein als die Einsatztemperatur. In einem Mikrowellenplasma, das an der Oberfläche einer Keramik mittels Laser gezündet wird, entstehen bei  $T > 1700^{\circ}\text{C}$  keramische Eutektika, die zu den gewünschten porösen Verbundwerkstoffen weiterverarbeitet werden, wie in Abb. 4 gezeigt. Die Kombination von Lasersteuerung und Mikrowellen-Plasmaheizung wird als LAMP bezeichnet [3].

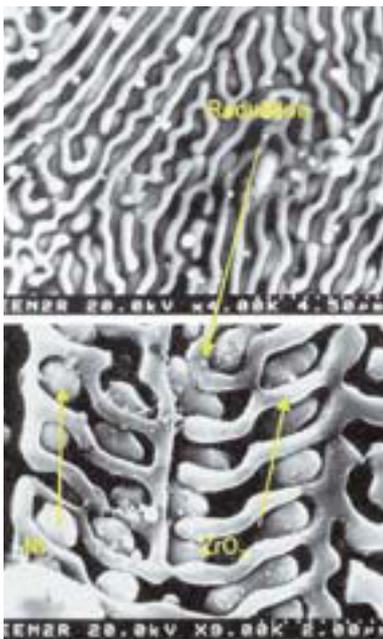


Abb. 4: Oben: NiO-ZrO<sub>2</sub>-Eutektikum; unten: poröser Ni-ZrO<sub>2</sub>-Verbundwerkstoff; bis 1600°C stabile Porosität

### Industrietauglichkeit

Die hier vorgestellten Beispiele „Pulvermetallurgischer Verfahren“ sind mit der derzeit bestehenden Systematik industriell eingeführter Sinterverfahren gemäß Gruppe 1.4. der DIN 8580 nicht befriedigend zu beschreiben. Obwohl die Eigenschaften von Werkstoffen entscheidend durch das Herstellungsverfahren bestimmt sind, berücksichtigen bestehende Normen die Mikrostruktur-Eigenschaftsbeziehungen nicht.

Sicherlich ist es für eine Erweiterung der bestehenden Systematik um die „Mikrostruktur“-Sichtweise noch zu früh, denn aus der großen Anzahl derzeit entwickelter Verfahren wird nur ein kleiner Teil Eingang in die industrielle Praxis finden. Eine industriell anwendbare Beschreibung von Bauteilfunktionen ausgehend von der Mikrostruktur der Werkstoffe erfordert zudem ein tiefgehendes Verständnis der Grundlagen der Prozesse und die Entwicklung von Quantifizierungsmethoden.

Bezogen auf den Einsatz von Mikrowellen und Lasern ist aus naturwissenschaftlicher Sicht die quantitative Beschreibung der Wechselwirkung von Materialien mit elektromagnetischer Strahlung als Funktion der Temperatur und einer sich verändernden stofflichen Zusammensetzung des Bauteils erforderlich. Zusätzlich sollte aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht der Wärme- und Stoffaustausch über die zahlreichen im Realgefüge vorliegenden Grenzflächen analysiert werden. Jede der oben genannten Teilaufgaben benötigt zu deren vollständiger Bearbeitung mindestens ein berufliches Leben.

Zur industriellen Einführung und systematischen Einordnung dieser neuen Verfahren [1-3] wird daher nicht nur die technologische und wissenschaftliche Reife benötigt, sondern vor allem eine herausragende „Killerapplication“, die zur Verstärkung der F&E Aktivitäten führen muss.

- [1] EP 0 966 550 B1
- [2] DE 42 13 832 A1
- [3] DE 199 511 43.8

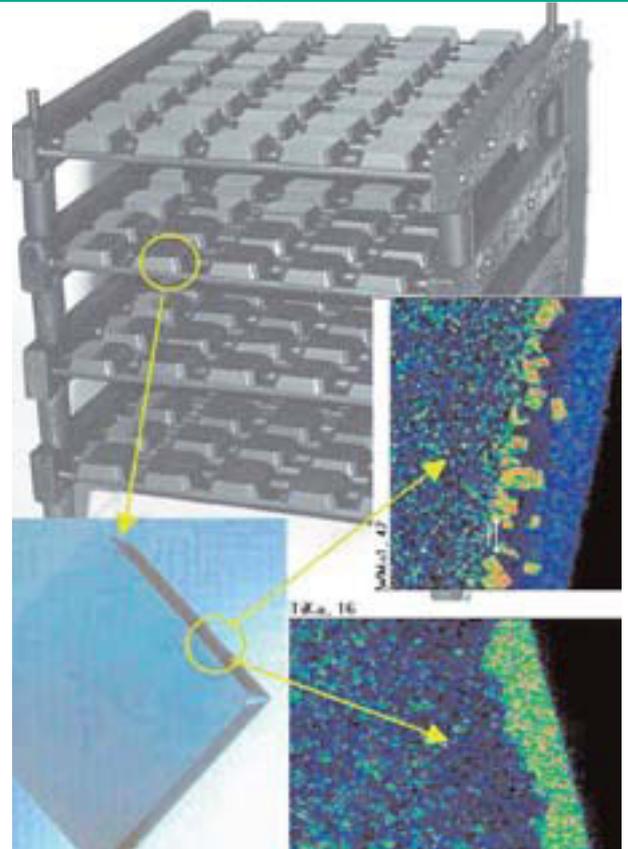


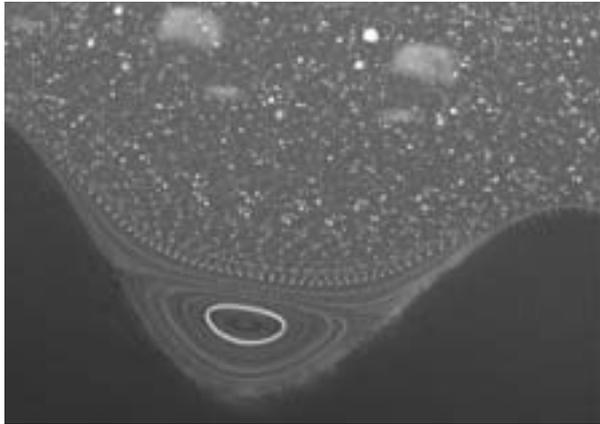
Abb. 1: Sinterbeschichtung von Hartmetallen beim Mikrowellensintern von Wendeschneidplatten. Mit solchen Platten werden komplexe Spanwerkzeuge bestückt. Reaktionsbeschichten liefert neuartige TiN-Schichtstrukturen.



Abb. 2: Lokalisierte Plasmabildung an einzelnen Zähnen beim Mikrowellensintern von Stahlzahnradern



Abb. 3: Einzel-PEM-Brennstoffzellen-„Fahrzeug“. MEA (Elektrode): Pt (rot)-TiO<sub>2</sub> (grün) auf C-Fasern (blau)



## Filmströmungen: Von regennassen Strassen, Flüssen und Hi-Tech

Nuri Aksel

*Filmströmungen, d. h. die Strömung einer Flüssigkeitsschicht, sind ein grundlegendes Phänomen in der Natur mit weitreichender Bedeutung für unser alltägliches Leben. Wer kennt nicht den Wasserfilm auf regennassen Strassen? Flüsse und Kanäle, auch der Tränenfilm des Auges oder Öl in Getrieben und Motoren, sind Filmströmungen. Erosion wird wesentlich durch Filmströmungen verursacht. Auch viele Industriezweige und industrielle Produkte würde es ohne Filmströmungen (so) nicht geben. Die meisten Beschichtungsverfahren, sei es bei der Versiegelung oder in der Herstellung von Fotofilmen, Leuchten, Papier, aber auch im Halbleiterbereich, beruhen auf der Filmströmung als grundlegendem Prozess. Selbst in den Absorptionskolonnen der chemischen Industrie und bei Wärmetauschern kommen sie zum Einsatz.*

*Grund genug also, die Gesetzmäßigkeiten, denen Filmströmungen unterliegen, eingehend zu untersuchen. Denn nur mit ihrem tiefgreifenden Verständnis lassen sich die Filmströmungen kontrollieren und optimal nutzen.*

So vielschichtig die Bereiche sind, in denen uns Filmströmungen begegnen, so vielfältig sind auch die Phänomene, die sie zeigen. Ihnen ist sicher schon mal aufgefallen, wie sich auf der regennassen Strasse kleine Wellen gebildet haben. Auch wenn Sie diesem Phänomen bisher keine große Bedeutung beigemessen haben, bei der Beschichtung von Qualitätspapier würden diese Wellen zu einer rauen Oberfläche führen und wahrscheinlich das Volumen vieler Bücher und Magazine verdoppeln. Wie kann man also den Herstellungsprozess optimieren und das heißt i.d.R. auch schneller gestalten, ohne dass die Qualität leidet?

Vielleicht haben auch Sie sich schon

mal geärgert, wenn Sie zuhause eine Wand bestrichen haben und Ihnen die Farbe in Streifen die Wand hinunterlief, anstatt sich gleichmäßig zu verteilen. Schließlich haben Sie die Farbe ja auch gleichmäßig aufgetragen. Ja, erstaunlicher noch, der Streifenabstand scheint nicht willkürlich. Ähnlich die Tropfen, die sich beim Schwenken eines guten Glases Wein oder Whiskey am Rand bilden. Sie bewegen sich auf und ab, anstatt, einmal gebildet, in das Getränk zurückzuzufließen.

Trotz Jahrzehnte langer, großer internationaler Anstrengungen kann man erst seit Mitte der neunziger Jahre davon sprechen, die wichtigsten Phänomene von Filmströmungen, die unter Erdanziehung fließen, unter idealisierten Bedingungen verstanden zu haben. Dies liegt an der Komplexität der Filmströmungen, die eine adäquate theoretische Beschreibung aber auch eine präzise experimentelle Vermessung der Strömungen erschweren. Idealisierte Bedingungen heißt hier, dass nur weit ausgedehnte Filmströmungen auf ebenem Untergrund betrachtet wurden. Allerdings werden Filmströmungen in der Alltagswelt oder auch bei industriellen Prozessen durch Seitenwände eingengt und fließen eben nicht über ideal ebene Unterlagen, sondern üblicherweise über Kanten und raue, unebene und gewellte Flächen. Zu untersuchen, welchen Einfluss diese verschiedenen geometrischen Faktoren auf die Filmströmung haben, wie sie die optimale, ideale Filmströmung beein-

flussen und wie sie sich gewinnbringend nutzen lassen, hat sich der Lehrstuhl für Technische Mechanik und Strömungsmechanik an der hiesigen Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften zur Aufgabe gemacht.

Seitenwände z.B. üben zweierlei Einflüsse auf den Film aus: Zum einen bremst eine feste Wand die Strömung auf Grund von Reibung, zum anderen gibt es eine kapillare Anhebung der Filmoberfläche in der Nähe der Seitenwand, analog dem Kapillareffekt in schmalen Kanülen. Letzterer Effekt führt aber zu einem Anwachsen der Strömungsgeschwindigkeit - schließlich ist nun die Filmoberfläche weiter vom ebenfalls bremsenden Boden entfernt. In der Tat führt das Zusammenwirken beider Effekte zu einer Erhöhung der Transportgeschwindigkeit in einem definierten Bereich in Wandnähe. Dies konnte von uns nicht nur experimentell gezeigt, sondern auch quantitativ berechnet werden.

Des weiteren zeigt sich, dass Ablaufkanten, wie sie z.B. am Ende einer Rutsche oder auch einer Teekanne vorkommen, die Filmströmung schon stromaufwärts modifizieren und zwar vor allem dann, wenn die Filme langsam strömen. Wiederum ist es hier die Oberflächenspannung, die diesen Effekt hervorruft. Der Richtungsänderung der Strömung, die durch die Kante erzwungen wird, kann die Filmoberfläche nicht gänzlich folgen. Ähnlich einer Membran wird die Oberfläche in

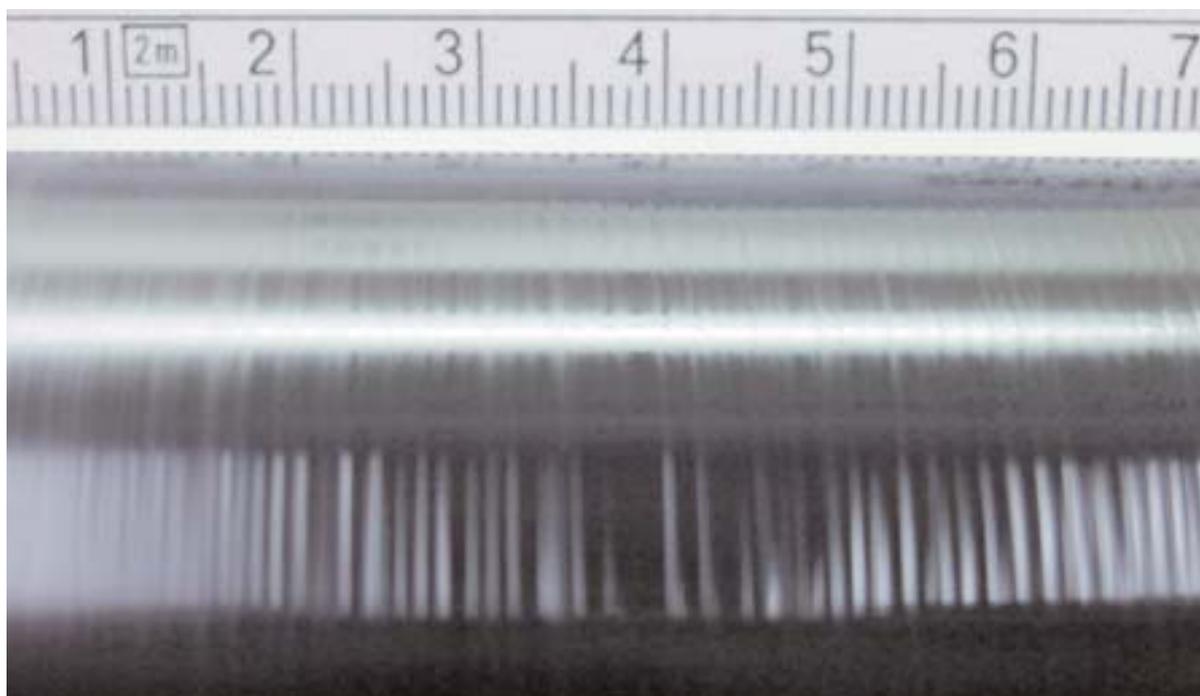
Kantennähe stark gekrümmt, aber sie knickt nicht. Diese Spannung relaxiert mit einer gewissen Reichweite in beide Richtungen, also auch stromaufwärts. Es entsteht dort eine ortsfeste Ondulation der Oberfläche, was bei Teekannen oder Rutschen weniger ins Gewicht fällt, bei der Herstellung von Beschichtungen von CDs und Displays aber zu großem Ausschuss führen kann. Natürlich werden nicht alle Filmströmungen solch abrupten Ände-

weiteren kritischen Welligkeit treten die Wirbel immer auf, d. h. sobald der Film sich bewegt.

Diese Wirbel können weitreichende Konsequenzen haben: Bei Wärmetauschern und Absorptionskolonnen ist man z.B. bestrebt, die Materialoberfläche zu maximieren, d. h. sie möglichst uneben zu gestalten, um den Wärme- bzw. Materialaustausch zu maximieren. Bei starken Unebenheiten werden aber Wirbel generiert, die zu einem Wärmestau bzw. zu

über gewellten Böden eher auftreten als über ebenen Böden. Wir konnten jedoch zeigen, dass gerade das Umgekehrte der Fall ist. Wenn in der industriellen Herstellung ebene Beschichtungsflächen angestrebt werden, kann es also in gewissen Parameterbereichen sinnvoll sein, ein unebenes Substrat zu verwenden.

Wir haben versucht, in diesem Artikel einen Einblick in unterschiedliche Phänomene zu geben, wie sie



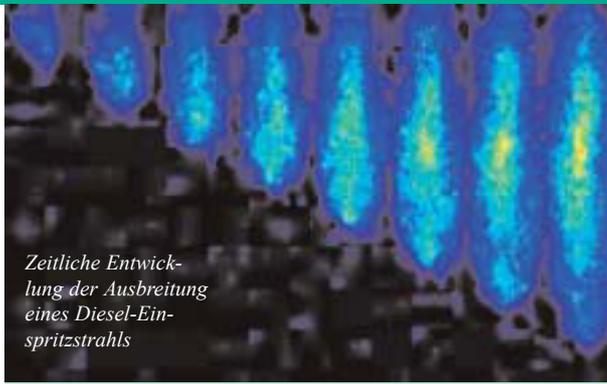
*Bild: „Ribbing“ - durch Strömungsinstabilitäten verursachte typische Oberflächenstruktur eines dünnen Flüssigkeitsfilms auf einer rotierenden Walze*

rungen wie scharfen Kanten unterzogen. Aber fast immer strömen die Filme über mehr oder minder unebene Unterlagen. Es zeigt sich, dass schon geringe Unebenheiten die stationäre Strömung verlangsamen. Bei stark ausgeprägten Bodenwellen treten in den Talmulden Wirbel auf, und das auch schon bei extrem niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten. Auch hier ist es uns gelungen, sie neben dem experimentellen Nachweis und der Bestimmung der relevanten Parameter auch quantitativ zu berechnen. So zeigt sich, dass die Wirbel erst bei Überschreiten einer kritischen Welligkeit auftreten können und das nur, wenn auch gleichzeitig eine gewisse Filmdicke überschritten wird. Ab einer

vermindertem Stoffaustausch führen können und die optimale Funktionsfähigkeit begrenzen. Andererseits besteht die Hoffnung, dass der Film über diese Wirbel quasi wie auf Rollen hinweggleitet und so der Materialtransport beschleunigt werden kann.

Zu Beginn dieses Artikels haben wir das Beispiel der Wellen auf regenassen Strassen angeführt. Diese Wellen treten bei Überschreiten einer kritischen Fließgeschwindigkeit auf. Was passiert nun mit diesen Oberflächenwellen, wenn die Flüssigkeit über einen gewellten Boden läuft? Intuitiv würde man sicher erwarten, dass Bodenwellen den Oberflächenwellen „helfen“, soll heißen, dass die Oberflächenwellen

bei Filmströmungen vorkommen. Die betrachteten Effekte sind sehr allgemein gültig, wie die Beispiele aus der Alltagswelt und der Industrie zeigen. Entsprechend vielfältig sind ihre Anwendungsmöglichkeiten. Neben den betrachteten Phänomenen gibt es noch eine Vielzahl weiterer, denen sich der Lehrstuhl in Zukunft widmen wird: Wie wechselwirken z.B. die Wirbel mit den Oberflächenwellen? Unter welchen Bedingungen werden auch die bekannten Verwirbelungen an der Lee-seite von Hindernissen generiert? Kann die Filmoberfläche die Bodenkontur vergrößert abbilden? Und wie genau funktioniert das Einsetzen von Turbulenz durch Rauigkeiten?



Zeitliche Entwicklung der Ausbreitung eines Diesel-Einspritzstrahls

Autos spielen in unserem täglichen Leben zweifellos eine besondere Rolle. Der Kfz-Bereich zählt daher zu den wichtigsten Industriezweigen Deutschlands. Unser Wunsch, sich individuell und möglichst schnell fortbewegen zu können, hat aber auch eine Kehrseite. Die auf der Erde vorhandenen fossilen Energieträger, aus denen Benzin und Dieselkraftstoff gewonnen werden, sind begrenzt. Außerdem stoßen Pkw und Lkw Schadstoffe (z.B. Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Ruß) und klimaverändernde Gase, insbesondere Kohlendioxid, aus. Um Motoren noch verbrauchs- und schadstoffärmer zu gestalten, setzt man spezielle Lasermessverfahren und Computersimulationen ein. Der Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) sowie das ihm angegliederte Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Thermodynamik, Energie- und Verbrennungstechnik (ATEV) unterstützen Hersteller und Zulieferer der Kfz-Industrie bei der Optimierung bestehender und der Entwicklung neuer motorischer Systeme.

Vergleicht man ein Auto der 60er oder 70er Jahre mit einem heutigen, so stellt man nicht nur äußerlich erhebliche Unterschiede fest. Die zahlreichen technischen Verbesserungen betreffen auch den eigentlichen Kern des Antriebes, den Motor: Heutige Motoren sind wesentlich effizienter als frühere. Der gesamte Kraftstoffverbrauch wäre drastisch gesunken, wenn nicht gleichzeitig die Nutzung sowie unsere Ansprüche an Leistung und energieverbrauchenden Komfort (z.B. Klimaanlage) gestiegen wären. Gerade deshalb ist es weiterhin wichtig, die in jedem Trop-

## Technische Thermodynamik und Transportprozesse

# Mit Lasermesstechnik & Computersimulation zu den Motoren der Zukunft

Dieter Brüggemann

fen Kraftstoff steckende Energie noch besser als bisher zu nutzen.

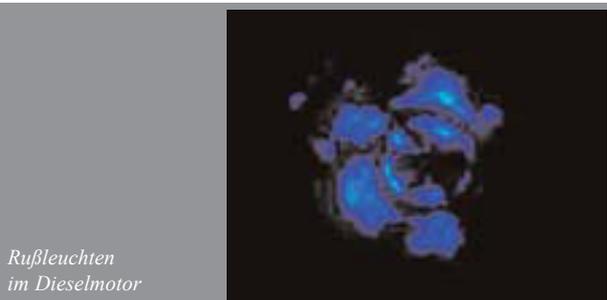
Auch hinsichtlich der Senkung der Schadstoffemissionen sind in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Fortschritte zu verzeichnen. Dank der Einführung moderner Motorsteuerung, bleifreien Benzins, Katalysatoren usw. ist bereits heute das den Auspuff verlassende Abgas sehr sauber - bei optimalem Betrieb sogar sauberer als die normale Umgebungsluft! Für ungünstige Betriebsbereiche wie dem Kaltstart und einige Schadstoffe (z.B. Ruß und andere Partikel) strebt man weitere Verbesserungen an.

Ein großer Teil der technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gesamtsystems betrifft die Abläufe im Inneren eines Motors. Hierbei werden die Entwickler durch zwei

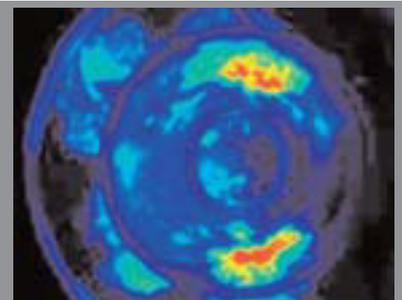
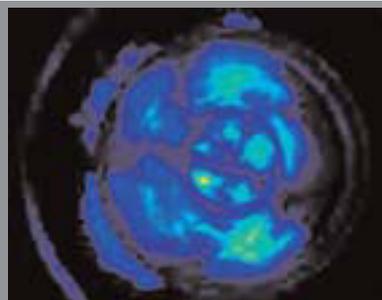
moderne Hilfsmittel immer mehr unterstützt: durch Messtechnik und Computersimulation.

### Optische Messtechniken

Moderne Messtechniken erlauben Einblicke in das Innenleben des Motors und dies auch in der Verbrennungsphase. Bei optischen Messverfahren nutzt man den Vorteil, dass Lichtstrahlen im Unterschied zu gewöhnlichen Sonden die Verhältnisse im Motor nicht stören und umgekehrt von den dort herrschenden Bedingungen mit Drücken von zeitweilig über 100 bar und Verbrennungstemperaturen von über 2000 Grad Celsius nicht beeinträchtigt werden. Wie der Drehzahlmesser unseres Autos zeigt, wiederholt sich der Arbeitszyklus des Motors in jeder Minute mehr als Tausend Male. Um den



Rußleuchten im Dieselmotor

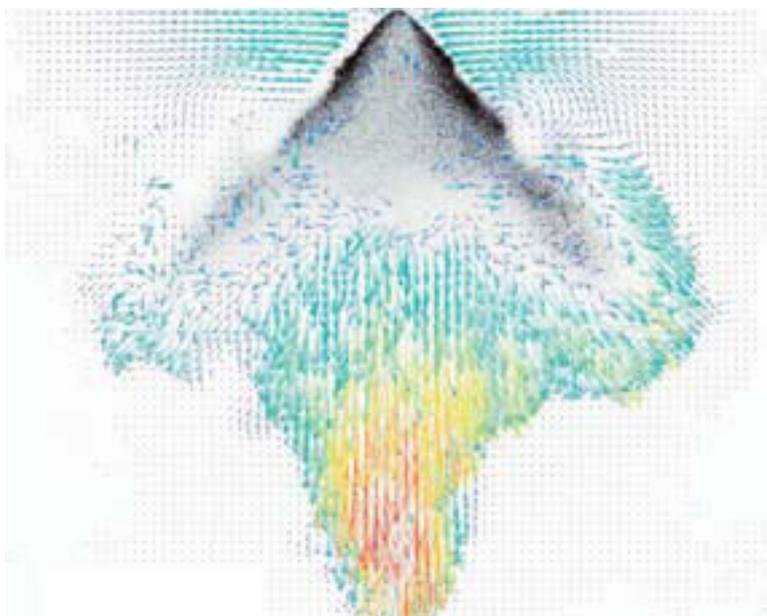


Ablauf einer Verbrennung verfolgen zu können, muss man diesen in Sekundenbruchteile zerlegen. Laserpulse, die nur wenige Milliardstel Sekunden dauern, liefern dabei eine perfekte Momentaufnahme aus dem Motorinneren.

Am LTTT werden hierzu zahlreiche optische Messtechniken gezielt im Labor weiterentwickelt, erprobt und an verschiedenen motorischen Brennräumen eingesetzt. Hierzu zählen die Verfahren der Mie-, Rayleigh- und Raman-Streuung, der laserinduzierten Fluoreszenz und Inkandescenz (LIF bzw. LII), der Particle Image Velocimetry (PIV) und andere mehr. Mit ihnen visualisieren und messen wir beispielsweise die Strömung im Brennraum (siehe untere Abbildungsreihe), die Ausbreitung und Verdampfung des Kraftstoffs, die Vermischung mit Luft, die Zündung des Gemischs, die Flammenausbreitung und die Schadstoffentstehung und -entwicklung. Einige dieser Vorgänge können auch durch Hochgeschwindigkeitskameras mit mehreren Zehntausend Bildern je Sekunde verfolgt werden.

### Computersimulation

Laseroptische Messungen am Motor sind nützlich, aber auch mit erheblichem Aufwand verbunden; sie müssen mit jeder Variation der Betriebsbedingungen wiederholt werden. Um die Zahl der Experimente einzugrenzen, messtechnisch schwierig zu erfassende Größen zu bestimmen und nicht zuletzt Konstruktions- und Fertigungskosten zu sparen, versucht man immer mehr, den Computer als Hilfsmittel einzusetzen. Ziel ist



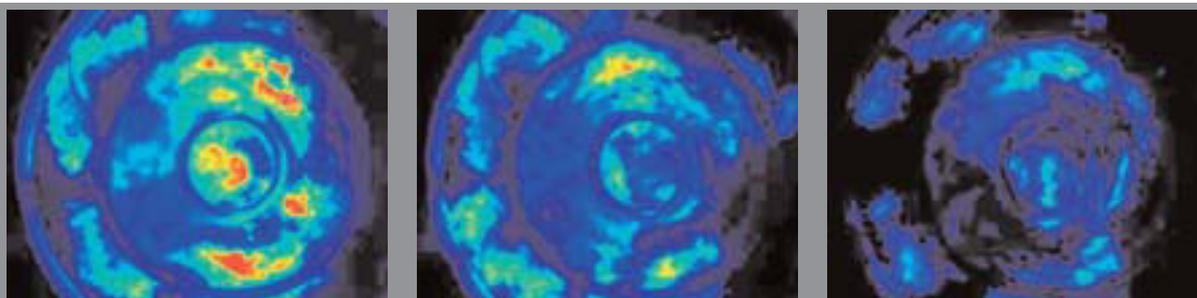
*Strömungsfeld bei der Einspritzung von Kraftstoff*

es dabei vorherzusagen, welche Auswirkungen die Änderung verschiedener Parameter voraussichtlich haben wird.

Damit die Vorhersagen den wirklichen Vorgängen entsprechen, müssen die komplexen Abläufe zuvor in physikalischen und chemischen Modellen abgebildet werden. Hierbei müssen strömungsmechanische, thermodynamische und reaktionskinetische Aspekte berücksichtigt und miteinander verknüpft werden. Diese Aufgabe kann auch mit den heute verfügbaren Höchstleistungsrechnern nur bewältigt werden, wenn die wirklichen Abläufe stark vereinfacht beschrieben werden. Hierzu werden am LTTT beispielsweise sog. PDF- und LES-Turbulenzmodelle sowie numerische Rechenverfahren weiterentwickelt. Eine Überprüfung der Modelle erfolgt über den Vergleich von Simulations- und Messergebnissen.

### Motoren der Zukunft

Wie sieht der Motor im Auto der Zukunft aus? Mit dieser Frage muss sich die Kfz-Industrie im internationalen Wettbewerb intensiv beschäftigen. Manche setzen auf die Brennstoffzelle, andere auf Motoren, die Wasserstoff verbrennen. Auf beiden innovativen Gebieten wird in Rahmen von bilateralen Projekten und Promotionsarbeiten auch am LTTT und durch ATEV geforscht. Die jüngsten Entwicklungen weltweit zeigen, dass trotz der Vorteile von innovativen Antrieben noch zahlreiche Probleme gelöst werden müssen, bevor solche Alternativen einen nennenswerten Marktanteil erlangen werden. In den nächsten Jahren werden also die meisten Autos weiterhin durch Benzin- oder Dieselmotoren angetrieben werden - ein Grund mehr, deren weitere Verbesserung voranzutreiben.



# Bauteiloptimierung durch Simulation

## – ein Beispiel aus der Praxis

Reinhard Hackenschmidt

*Die Verbesserung von Bauteilen bedeutet in der Regel die Lösung eines komplizierten Parameterbündels, deren Einzelparameter sich zum Teil widersprechen.*

*Ungebrochen ist einerseits der Trend zur Materialoptimierung, d.h. der Einsparung von Bauteilsubstanz die aus Festigkeits- und Funktionsgründen nicht unbedingt zwingend erforderlich ist, andererseits der Verwendung alternativer, neuer klassenübergreifender Materialien.*

*Es zeigt sich in der Praxis, daß selbst bei scheinbar einfachen Bauteilkomponenten die Anwendung moderner CAx Software ein anschließendes Verifizieren der Ergebnisse durch den Versuch nicht ersetzen kann.*

**K**upplungen sind an sich Standardbauteile, die in der Industrie für vielfältige Anwendungen zum Einsatz kommen.

Kann heute, im Zeitalter der Nanotechnik und Mechatronik, überhaupt etwas an diesen klassischen Bauteilen verbessert werden? Diese Frage stellte sich auch dem Lehrstuhlteam, als ein maßgeblicher Hersteller mit der Bitte um die Optimierung der Bauteile an uns herantrat. Wir am Lehrstuhl haben als solches eine breite Palette von

Werkzeugen aus der CAx „Giftküche“ parat. Dies sind auf der einen Seite Programme zum Erstellen von dreidimensionalen Modellen, wobei bei uns auf die Verwendung von Marktführern geachtet wird. Unsere 3D-CAD (Computer Aided Design = Computer unterstütztes Entwerfen) Programme am Lehrstuhl sind

- Pro/ENGINEER
- CATIA V5
- UG und
- Solid Edge.

Diese Programme sind auch zum Entwurf von komplexeren Baugruppen konzipiert, so wird z.B. die Motorentwicklung bei BMW mit Pro/ENGINEER durchgeführt.

Die Verwendung von 3D-CAx Software ist in der Industrie erstaunlicherweise immer noch nicht Standard, laut einer lehrstuhleigenen Untersuchung ist z.B. in Nordbayern nur von einer Verbreitung von ca. 20 % auszugehen, obwohl eine virtuelle Prozesskette mit ihren immensen, auch geldwerten Vorteilen ohne ein 3D-Basismodell gar nicht realisiert werden kann.

Im vorliegenden Beispiel haben wir uns eine Metallbalgkupplung herausgegriffen, welche z.B. in hochdynamischen Servoachsen von Werkzeugmaschinen, Indu-

strierobotern und Automatisierungsanlagen zum Einsatz kommt. Durch ihre Spielfreiheit und hohe Verdrehsteife gepaart mit der Möglichkeit den Ausgleich von axialen, radialen und angularen Wellenverlagerungen zu ermöglichen werden diese Kupplungen gerne eingesetzt, wobei die wachsenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Kupplung bei immer neuen Einsatzgebieten zu der Fragestellung nach Innovations- und/oder Einsparpotential führt.

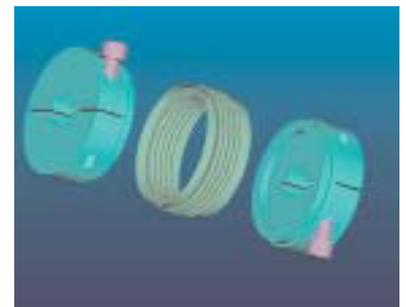


Abb.1: 3D-CAD Modell

Hier kommt dann die nächste Spezialität des Lehrstuhls zum Tragen, die „Finite Elemente Analyse“, eine Methode um mit Hilfe einer rechnerischen Simulation die Beanspruchung von Bauteilen vor der eigentlichen Fertigung vorhersagen zu können. Dies spart eine Menge Zeit und erlaubt somit die wesentliche Verkürzung der Ent-

wicklungszeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Qualität der Aussagen über das Bauteilverhalten unter Last.

Am Lehrstuhl kommen die Profiprogramme MARC, ANSYS, ADINA, Z88 sowie Pro/MECHANICA zum Einsatz, wobei das Anwendungsspektrum dieser Programme materialklassenübergreifend z.B. auch moderne, inhomogene Materialien abdeckt. Belastungsseitig können sowohl Einzellasten, z.B. Punktlasten, als auch Lastkollektive, wie z.B. gleichzeitiges Aufbringen einer Umfangskraft gepaart mit einer thermischen Belastung, im Rechner simuliert werden.

In unserem Beispiel konnten z.B. wichtige Aussagen sowohl zur Verformung als auch zum Verlauf der versagenskritischen Spannungen des Bauteilflansches getroffen

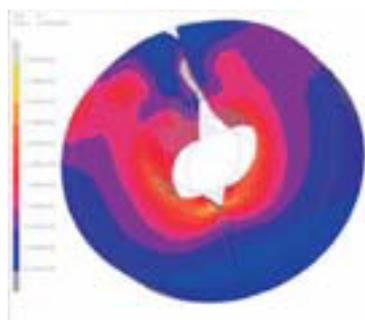


Abb. 2: FE-Analyse mit MARC

werden.

Wesentlich war hierbei in der Praxis die Möglichkeit konstruktive Änderungen wie anderes Design oder auch anderes Material schnell und unkompliziert auf seine Auswirkungen hin an kritischen Stellen beurteilen zu können. Häufig reicht hier im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die Aussage zur Trendentwicklung der Bauteilbelastung.

Während der Befestigungsflansch dieses Kupplungstyps eine vorwiegend statische Belastung erfährt, stellt der an den Flansch geklebte Metallbalg das eigentlich versagenskritische Bauteil dar. Hier treten Wechsellasten, Schwingungen,

Erwärmung, Eigenreibungs- und Kontaktprobleme im Bündel auf. Die Doppelwandigkeit des sehr dünnen, mehrfach gekrümmten Bauteils stellt riesige Anforderungen an das Leistungsvermögen der verwendeten Rechner, da Gleichungssysteme mit Millionen von Unbekannten hierbei keine Seltenheit sind und nur mit Hilfe von Nu-



Abb. 3: Verformungssimulation

merischen Methoden der Mathematik gelöst werden können.

Am Lehrstuhl dient als s.g. „Number Cruncher“ unser SGI Origin 2000 Rechner, dessen 6 GByte Hauptspeicher und 4 Prozessoren dennoch zum Teil tagelang mit der Lösung der Probleme beschäftigt waren. Die angewendeten Methoden sind übrigens auch bei jeder Hightech Entwicklung von Luft- und Weltraumfahrzeugen im Einsatz. Am Lehrstuhl werden diese Verfahren gezielt weiterentwickelt.

Zur Sicherheit werden die Aufgabenstellungen beim Betreten von Neuland nicht nur mit einem, sondern möglichst mit mehreren Programmen durchgeführt, um die Aussagewahrscheinlichkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Hier steckt der Teufel natürlich im Detail, und es sind Erfahrung, lange Nächte und Ingenieursehrgeiz notwendig, um zu einem gesicherten Ergebnis zu gelangen.

Dennoch ist das klassische Mittel des Ingenieurs, der Versuch, nicht tot. Im Gegenteil. Häufig verlieren z.B. beim Einsatz neuer, besonders nichtlinearer Materialien die bisher bekannten Materialgesetze ih-

re Gültigkeit. Eine Vorhersage ist somit deutlich erschwert. Neue Theorien und Verfahren der Numerischen Simulation kommen zum Einsatz und können letztendlich nur durch den praktischen Versuch abschließend verifiziert werden.

Hierbei sind die Möglichkeiten der individuellen Gestaltung und Modellierung von adäquaten Prüfständen durch die hervorragend ausgestattete, lehrstuhleigene Werkstatt besonders interessant.

Auch im benannten Beispiel wurden die Metallbalgkupplungen auf einem eigenentwickelten Verspannungsprüfstand, „MAX“ mit einer Prüfleistung von 1250 kW, auf Langzeitfestigkeit untersucht, und die Ergebnisse anschließend mit



Abb. 4: Verspannungsprüfstand

denen aus dem Rechner verglichen.

Durch die Abstimmung und gegenseitige Befruchtung der Ergebnisse aus Rechner und Praxis konnten äußerst interessante Resultate erzielt und in die konkrete Gestaltung des Bauteils umgesetzt werden.

Die Lösung der Aufgaben führte auch zu der Erkenntnis, daß wir, die Konstrukteure, eigentlich noch viel zu wenig selbst über das Verhalten von Standardbauteilen wissen. Dieses Wissen ist jedoch unabdingbar, um auf Dauer die internationale Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie erhalten zu können.



Umweltgerechte Produktion

# Remanufacturing: „Die Zukunft aufarbeiten“ Vielfachnutzen durch Mehrfachnutzung

Rolf Steinhilper

Die Weltgemeinschaft hat sich auf internationalen Umweltgipfelkonferenzen auf ein Fernziel „Nachhaltiges Wirtschaften“ („Sustainable Development“) verpflichtet. Eines der Etappenziele auf dem Kurs dorthin ist die Weiterentwicklung unseres Wirtschaftskreislaufs zur Kreislaufwirtschaft. Damit diese funktioniert, braucht es Wertschöpfung statt Werteverzehr, Aufwertung statt Abwertung, Upcycling statt Downcycling in den Recyclingprozessen. Das Prinzip des „Remanufacturing“ ist eines der besten Beispiele, dass dies in der industriellen Praxis gelingt.

In Zukunft sollte nicht nur die Konstruktion und Produktion, sondern auch alles, was „danach“ kommt, einen hohen Stellenwert in

der produktionstechnischen Forschung und Entwicklung haben. Viel ist in jüngster Zeit von akademischer Seite getan worden, um Zulieferketten und Produktionsabläufe so weiterzuentwickeln, dass unter Beibehaltung der Vorteile einer Serienproduktion jeder Kunde dennoch sein individuelles maßgeschneidertes Produkt in kürzester Zeit zum günstigsten Preis bekommt. Die hierbei erzielten Fortschritte und beeindruckenden Erfolge sollten Ansporn sein, auch in den (immer noch so genannten) Bereichen des „Aftersales-Services“ oder auch „Aftermarket“ vergleichbare Fortschritte zu erzielen. Noch sind die „Remanufacturing“- und „Upcycling“-Erfolgsbeispiele zu zwei Dritteln dem Automobilsektor vorbehalten, wo industriell gefertigte Kfz-Austauschteile ein Produktionsvolumen im Wert von weltweit 40 Milliarden □ jährlich repräsentieren. Angesichts der explodierten Typenvielfalt bei Neuprodukten lässt sich der Service nach einigen Jahren nur noch mit Austauschteilen im „aus alt mach neu“-Prinzip bewerkstelligen - die Neuproduktion (auch von Ersatzteilen) des jeweiligen Produkttyps ist längst ausgelaufen bzw. zu teuer.

Inzwischen trifft man erfolgreiche Remanufacturingunternehmen und wachsende Märkte für Recycling-

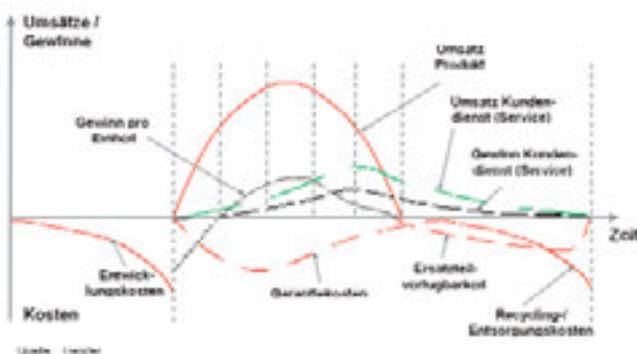
produkte bzw. Austauschteile nicht nur im Automobilsektor, dem Wegbereiter und stärksten Segment des Remanufacturing, sondern auch in zahlreichen anderen elektromechanischen, elektrischen und elektronischen Anwendungen an. Das Grundprinzip des Remanufacturing - mit den fünf Fertigungsschritten Demontage, Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung, oder Ersatz der Bauteile, Wiedermontage - ist schnell vermittelt.

Die mannigfachen Vorteile dieser industriellen Aufarbeitung von Produkten in Serie - nacheinander aus dem Blickwinkel unterschiedlicher Akteure bzw. Marktteilnehmer betrachtet, verblüffen jedoch selbst „Insider“ immer wieder:

- Jeder umweltverantwortlich denkende Staatsbürger oder umweltbewusst handelnde Verbraucher interessiert sich für Recyclingprodukte, da sie den Wunsch nach hohem Lebensstandard und Wohlstand vortrefflich mit der notwendigen Ressourcenschonung und dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung in Einklang bringen.

- Unternehmer entdecken Produktrecycling als interessantes und zudem nachhaltiges neues Geschäftsfeld im schnelllebigen, wettbewerbsintensiven Produktions- und Dienstleistungsgeschäft, das zusätzliche und zufriedene Kunden bringt und bindet.

Produkt-Lebenszykluskosten aus Herstellersicht



Durch Remanufacturing lassen sich die Kosten der Ersatzteilverfügbarkeit entscheidend senken.

- Die Abfallverantwortlichen der Unternehmen begeistern sich für ein Konzept, das die bisher kostspielige Entsorgung unversehens in profitable Produktkreisläufe umwandelt.

- Ingenieure, Erfinder und Tüftler haben ihre helle Freude an den Innovationspotentialen des „aus alt mach neu“, die in allen fünf Fertigungsschritten - von der Demontage der Altprodukte über Reinigung, Prüfung und Aufarbeitung bis zur Wiedermontage der Recyclingprodukte - stecken.

- Jeder Kundendienst-Fachmann wird sich die Kostenvorteile der Aufarbeitung von Produkten in Serie zunutze machen, um Servicequalität zu kundenattraktiven Preisen zu verwirklichen

- Politiker und Wirtschaftsförderer, ob auf Bund-, Länder-, oder regionaler Ebene, werden dankbar registrieren bzw. unterstützen, dass Aufarbeitungsunternehmen neue willkommene Gewerbetreibende sind, die Arbeitsplätze in ihre Region bringen.

- Die Umweltbeauftragten bzw. Umweltbevollmächtigten der Unternehmen erkennen, dass die Aufarbeitung als Schlüsselprozess die erforderliche Technologiekette für die integrierte Produktverantwortung der Industrie „von der Wiege bis zur Bahre“- zum „von der Wiege bis zur Wiege“ weiterentwickelt.

- Wirtschafts- und Wissenschaftsjournalisten stellen immer wieder selbst zum eigenen Erstaunen fest, dass viele Aufarbeitungsunternehmen zu den sehr geachteten „hidden champions“ der Industrie zählen, die mit hoher Marktdurchdringung und sehr erfolgreich, aber dennoch bescheidener Publicity tätig sind.

- Für die Kunden der Industrie und des Handels sind aufgearbeitete Produkte nicht nur der umweltfreundlichste, sondern schlicht auch der kostengünstigste Weg, um zu bezahlbaren Preisen stets über ein Produkt erster Qualität und auf

dem neuesten Stand der Technik zu verfügen.

- Erfolgs- und Risikoanalysten erkennen an, dass Aufarbeitungstechnologien eine attraktive Möglichkeit darstellen, um erprobte Fertigungstechnologien, die bisher nur Einwegprodukte hervorbrachten, bei günstigen Kosten und überschaubarem Risiko nunmehr auf Mehrwegprodukte auch im High-Tech-Bereich anzuwenden.

- Wissenschaftler aller Disziplinen erkennen an, dass Aufarbeitung die effektivste und effizienteste Form des Recycling ist, wenn man die Beiträge zur Ressourcenschonung sowohl auf der Material- wie auf der Energieebene misst.

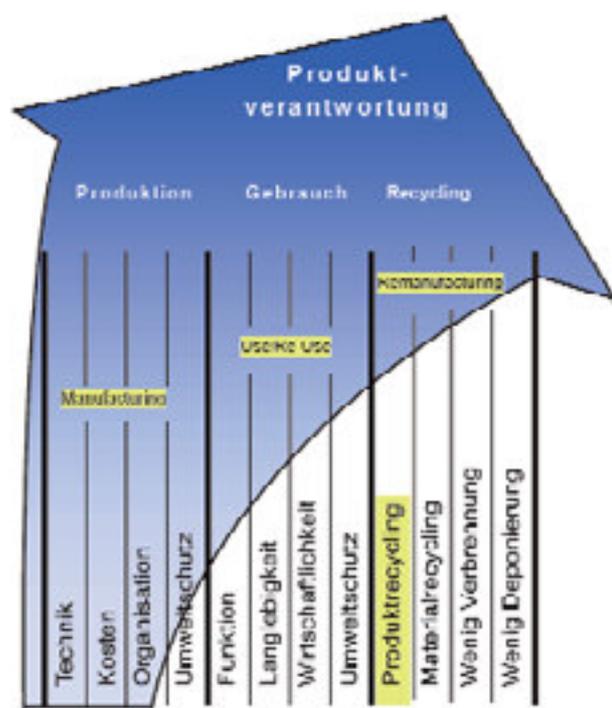
- Man muss somit nicht zu den Idealisten zählen, wenn man die Aufarbeitung nicht nur als Technik zur „Wiedergeburt“ eines Produkts, sondern das Auftauchen des Produktrecycling an immer mehr Orten als „Geburtsstunde“ einer neuen Wirtschaftsweise, als Impuls und als Puls einer nachhaltigen Entwicklung in unseren modernen Industriegesellschaften versteht.

Bei aller Wertschätzung und Aufwärtsentwicklung, der sich das Remanufacturing in der Produktionstechnik erfreut, bleiben dennoch viele technologische und organisatorische Lücken noch zu schließen, sind auch manche (oft emotionale) Denkbarrieren noch zu überwinden.



Remanufacturing von Automobilscheibenbremsätteln

Diese Aufgaben bilden einen Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeit am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth - bei ihrer erfolgreichen Bewältigung könnte eines nicht zu fernem Tages eine Antwort für die derzeit noch zuwiderlaufenden Forderungen zwischen Innovation mit kurzen Produktzyklen und Nachhaltigkeit durch lange Produktnutzungsdauer entwickelt bzw. realisiert werden. Zukunftsorientierte Produzenten, die sich heute auf gesetzliche Vor-



gaben und Markterwartungen bezüglich Produktrücknahme und Recyclingquoten eingestellt haben, werden nicht darauf warten, bis die legislativen Regularien verschärft werden.

Alle Elemente einer umfassenden Produktverantwortung gehören für innovative Unternehmen bereits heute zum guten Ton - bzw. die darin schlummernden neuen Wertschöpfungspotenziale zum guten Geschäft.

*Die Wahrnehmung der Produktverantwortung fällt mit Remanufacturing leicht*

# Umweltgerechte Kraftstoffe - Neue Wege zur Tiefentschwefelung von Dieselöl und Ottokraftstoff

Andreas Jess

Die Entschwefelung von Erdölprodukten wie Benzin und Dieselöl ist eines der wichtigsten, aber auch schwierigsten Verfahren der Umwelttechnik, insbesondere unter dem Hintergrund von verschärften Grenzwerten für den S-Gehalt, die mit der derzeit üblichen Technik nur schwer zu erreichen ist. Die Entwicklung von alternativen Verfahren ist daher ein wichtiges Forschungsfeld.

Allein in Deutschland müssen jährlich rund 70 Mio. t Mineralölprodukte entschwefelt werden, um die SO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermindern und um neue Motorkonzepte mit S-empfindlichen Katalysatoren umsetzen zu können. Mit den ab 2005 in Europa geltenden Grenzwerten von 10 bis 50 mg S je kg müssen in Zukunft nicht mehr „nur“ etwa 90 %, sondern mehr als 99 % des in den rohen Ölfraktionen enthaltenen Schwefels entfernt werden.

Ein solcher Reinigungsgrad ist mit der derzeit eingesetzten Hydrotreating-Technik nur schwer zu erreichen. Dabei wird der in organischen Molekülen gebundene Schwefel unter hohem Wasserstoffdruck von bis zu 100 bar an

Katalysatoren zu Schwefelwasserstoff umgesetzt (Abb. 1). Die S-Verbindungen, die nach der ersten Entschwefelungsstufe z. B. im Dieselöl verbleiben, sind vor allem Thiophenderivate, die im Vergleich zu Thiolen und Sulfiden wenig reaktiv sind. Die Geschwindigkeit der Umsetzung dieser Problemstoffe in einer weiteren Stufe ist daher so gering, dass der Aufwand - Reaktorgröße und Druck - zur Einhaltung der künftigen Grenzwerte überproportional ansteigt.

Die Entwicklung von alternativen Verfahren ist daher ein attraktives Forschungsgebiet. Zwei Wege, die am Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik (LS CVT) untersucht werden, bieten sich an:

- Die Extraktion der S-Verbindungen aus Ölen mit ionischen Flüssigkeiten. Dieses Konzept wurde am LS CVT zusammen mit dem Arbeitskreis von Dr. Peter Wasserscheid (Technische Chemie, TH Aachen) entwickelt und wird nachfolgend vorgestellt.
- Möglich ist auch die synthetische Herstellung S-freier Kraftstoffe. Der Rohstoff für die sogenannte Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) ist Synthesegas, eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, hergestellt aus Kohle, Biomasse oder Erdgas. Es enthält - ggf. nach einer technisch einfachen Reinigung - keinen Schwefel, und demzufolge entstehen in der FTS

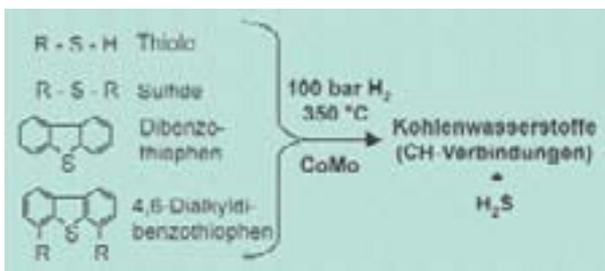
nur Kraftstoffe, die im Gegensatz zu Erdölprodukten frei sind von S-, aber auch von N- oder Metallverbindungen.

## Entschwefelung durch ionische Flüssigkeiten: ein neues Verfahrenskonzept

Ionische Flüssigkeiten (Ionic Liquids IIs) bestehen ausschließlich aus Ionen. Allerdings enthält der Begriff noch eine Abgrenzung vom klassischen Begriff der Salzschnmelzen: Während man bei diesen an hochschmelzende Medien denkt, sind IIs bei Temperaturen unter 100 °C flüssig. Die etwas willkürliche Grenzziehung bei dieser Temperatur resultiert aus der sprunghafte Verbesserung der Anwendungsbreite als Lösungsmittel in der Katalyse und in Trennprozessen.

Überraschenderweise haben unsere Untersuchungen gezeigt, dass durch Extraktion mit IIs S-Verbindungen praktisch vollständig aus Ölen entfernt werden können. Die mit den S-Verbindungen beladenen IIs können durch Reextraktion oder Destillation regeneriert und in die Entschwefelung zurückgepumpt werden. Abb. 2 zeigt das Verfahrenskonzept. Die Vorteile des inzwischen patentierten Verfahrens liegen auf der Hand: Normaldruck und -temperatur, kein Wasserstoff und kein Katalysator. Da im Gegensatz zu organischen Lösungs-

Abb. 1: Klassisches Verfahren der Entschwefelung von Kraftstoffen (R: Rest aus C und H, z. B. eine CH<sub>3</sub>-Gruppe)



mitteln IIs nicht flüchtig sind, treten Verdunstungs- und Verdampfungsverluste nicht auf, was ökologische und sicherheitstechnische Probleme ausschließt.

### Erste vielversprechende Extraktionsergebnisse

Abb. 3 zeigt das Prinzip der Extraktion anhand eines einfachen Versuches. Ein Modellgemisch für Dieselöl bestehend aus Dodekan und der S-Verbindung Dibenzothiophen wird mit einer II gemischt und intensiv gerührt. Anschließend wurde der Rührer abgestellt, eine Ölprobe aus dem durch Phasentrennung entstehenden Zweiphasengemisch entnommen und der S-Gehalt des Öls mit einer empfindlichen S-Analytik bestimmt. Nach der Extraktion ist der S-Gehalt im Modellöl um mehr als 60 % gesunken, obwohl relativ viel Öl zugegeben wurde. Wird der Vorgang - wie in technisch üblichen Extraktionsapparaten - mehrstufig durchgeführt, vermindert sich der S-Gehalt bereits nach vier Stufen auf unter 10 ppm (parts per million: 1 mg/kg). Versuche mit Dodecanthiol zeigen, dass die Extraktion nicht auf bestimmte (aromatische) S-Verbindungen beschränkt ist, sondern generell möglich ist.

Als Extraktionsmittel wurden IIs mit unterschiedlichen Ionenkombinationen getestet. Gut geeignet sind IIs mit den Anionen  $AlCl_4$  und  $OcSO_4$ . Halogenfreie IIs sind natürlich besonders interessant, da sie eine umweltfreundliche Alternative zu Chloroaluminatschmelzen darstellen. (Na) $OcSO_4$  als Vorstufe solcher IIs ist ein gängiges Zwischenprodukt der Waschmittelindustrie, in großen Mengen zugänglich, toxikologisch untersucht und unbedenklich.

Bei einer Extraktion in einer kontinuierlich arbeitenden Industrieanlage muss die II regeneriert und wieder in die Extraktionsstufe zirkuliert werden (Abb. 2). Die Versuche zeigen, dass dies durch Reextraktion z. B. mit Alkanen

möglich ist. Erfreulicherweise handelt es sich um einen reversiblen Vorgang, d. h. die S-Verbindung wird durch die II nicht chemisch „angegriffen“. Interessant in jetzt anstehenden Reextraktionsversuchen wird auch der Einsatz von überkritischem Kohlendioxid sein, da die Abtrennung der S-Komponenten nach der Reextraktion durch Entspannung denkbar einfach wäre.

### Extraktionsversuche mit „realem“ Dieselöl

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit des Modellsystems wurde auch vorentschwefeltes Dieselöl (MIRO-Raffinerie Karlsruhe, 375 ppm S) eingesetzt. Der Verteilungskoeffizient ist dann etwas ungünstiger als beim Modellöl; allerdings ist Dieselöl als „Naturprodukt“ ein Gemisch aus vielen Kohlenwasserstoffen, S-Verbindungen und anderen Verunreinigungen wie N-Verbindungen. Getrennte Versuche mit N-Verbindungen zeigen, dass deren Extraktion noch leichter geht, so dass durch konkurrierende Effekte die Extraktion von S-Verbindungen erschwert wird. Hier ist noch ein weites Feld für zukünftige Untersuchungen.

### Ausblick

Die Entschwefelung von Erdölfraktionen durch Extraktion mit IIs ist eine interessante Alternative

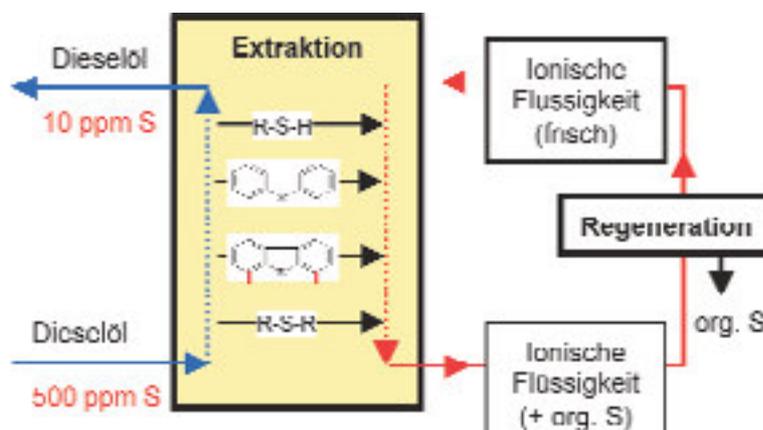


Abb. 2: Konzept einer Extraktionsanlage zur Dieselölschwefelung (org. S: organische S-Verbindung, vgl. Abb. 1)

zum klassischen Hydrierprozess. Trotz der vielversprechenden Ergebnisse sind aber viele Fragen noch offen und Verbesserungen möglich. Weitere Untersuchungen werden daher derzeit in einer interdisziplinären Kooperation mit der TH Aachen durchgeführt. Neben der Extraktion von S- und N-Verbindungen soll auch die von Cl-Verbindungen (Stichwort „Dioxine“) untersucht werden. Aber auch

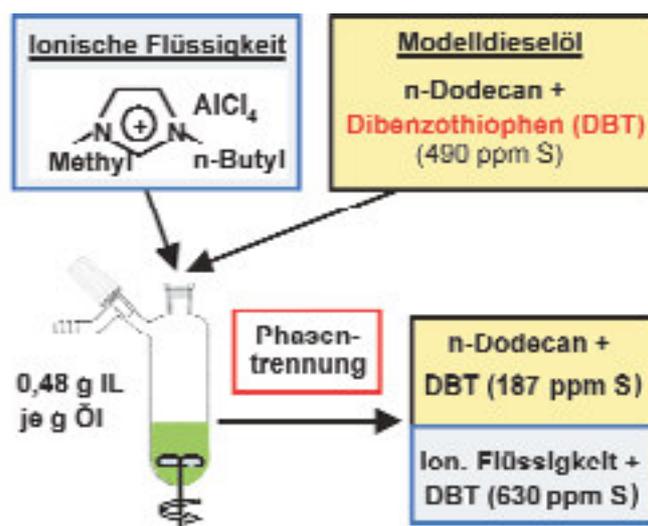
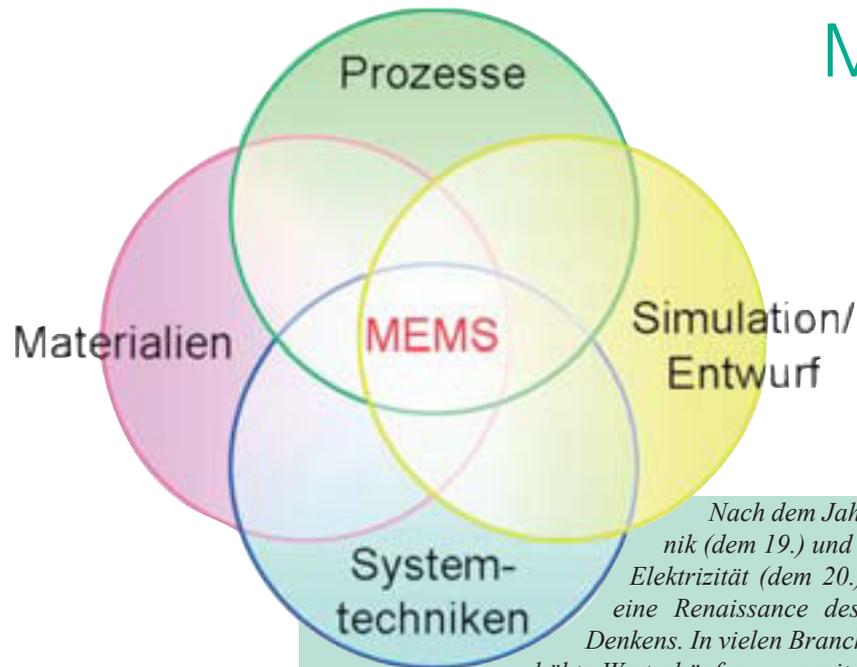


Abb. 3: Ergebnis eines typischen Extraktionsversuches mit Modelldieselöl

die Extraktion wertvoller Aroma- und Geruchsstoffe aus natürlichen Ölen wird Gegenstand unserer Forschung auf diesem interessanten und noch jungen Arbeitsgebiet sein.

# MEMS - Meister der Multifunktionalität



*Nach dem Jahrhundert der Mechanik (dem 19.) und dem Jahrhundert der Elektrizität (dem 20.) erleben wir gerade eine Renaissance des fachübergreifenden Denkens. In vielen Branchen lässt sich eine erhöhte Wertschöpfung nur mit Produkten erreichen, die Funktionalitäten aus verschiedenen Domänen - elektrisch, mechanisch, thermisch, optisch, chemisch - aufweisen und die folglich interdisziplinäre Ansätze verlangen. Das Musterbeispiel für die Realisierung solcher Mehrfachfunktionalitäten auf kleinstem Raum sind mikroelektromechanische Systeme (MEMS).*

Gerhard Fischerauer

Der Grund liegt in den zahlreichen Vorteilen des Schrittes in die Mikrowelt. Ein kleines Volumen, wenig Gewicht und kleine Wärmekapazitäten führen zu ortsauflösenden, mechanisch und thermisch schnellen Sensoren. Der Wegfall von Steckern und Kabeln zwischen Systemteilen erhöht die Zuverlässigkeit. Die geringe Verlustleistung, der geringe Materialverbrauch und verminderte Entsorgungsprobleme schonen die Umwelt. Die hohe Funktionsdichte ermöglicht neue Applikationen, die weit über den bloßen Ersatz makroskopischer Systeme hinausgehen. Und die Fertigung im Nutzen führt bei entsprechenden Stückzahlen zu günstigen Kosten.

Die Chancen der Mikrosystemtechnik werden sich nur materialisieren, wenn die Unternehmen auf Fachkräfte zurückgreifen können, die mit fundierten naturwissenschaftlichen Grundlagen und breit gefächerten ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen MEMS-basierte Produkte entwerfen oder zumindest beurteilen, auswählen und anwenden können. Diesbezüglich finden sich in der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften hervorragende Ausgangsbedingungen vor. Denn die hier ausgebildeten Ingenieure neuen Typs besitzen genau die Fächergrenzen sprengenden Qualifikatio-

Die Mikrosystemtechnik wendet Systemtechniken an (Aufbau- und Verbindungstechnik, Signalverarbeitung, ...), um Komponenten der Mikroelektronik (Mikroelektronik, -mechanik, ...) funktionell zu abgeschlossenen Einheiten auf einem Substrat zu verknüpfen. Die resultierenden MEMS - unter „mechanisch“ verstehe man pars pro toto jede nicht-elektrische Funktion - umfassen Sensoren, Aktoren und signalverarbeitende Systemglieder. Dabei erfordert die Integration vieler Funktionen anders als in der Mikroelektronik nicht viele Elemente, sondern neue Materialien und Sonderprozesse und -technologien. Während die Miniaturisierung rein elektronischer Komponenten un-  
gemein fortgeschritten ist - man denke an die glänzenden Erfolge der IC-Technologie -, steht die Mikrosystemtechnik erst am Anfang ihrer kommerziellen Nutzung.

Nach über 20-jähriger Forschung haben sich nur enttäuschend wenige „Killerapplikationen“ für MEMS herauskristallisiert, etwa Airbag-Beschleunigungssensoren, Düsen für Tintenstrahldrucker oder Schreib-Lese-Köpfe für Festplatten. Dennoch scheint die Zeit reif für eine breite Nutzung von MEMS.

Denn die Liste der Anwendungsbereiche, in denen man mit einem erheblichen Einsatz von Produkten der Mikrosystemtechnik rechnet, liest sich wie ein „Who is who“ der zukunftsreichsten Branchen: Umwelt-, Sicherheits-, Medizin-, Kommunikations-, Verkehrs-, Fertigungs-, Verfahrens- und Haustechnik. Zwischen 2000 und 2004 soll sich der weltweite Umsatz mit entsprechenden Produkten von 14,2 auf 30,4 Billionen US\$ mehr als verdoppeln (mstnews 5/01, nach Roger Grace/NE-XUS).

nen, die nötig sind, um mit neuen Materialien und Prozessen multifunktionale Systemglieder zu modellieren, zu entwerfen und zu testen und daraus mit Systemtechniken Produkte für ihren jeweiligen Anwendungsbereich, etwa die Fertigungs- oder die Umweltmesstechnik, zu entwickeln.

Entscheidende Erfolgsfaktoren in der Entwicklung von MEMS sind geeignete Simulations-, Entwurfs- und Testverfahren sowie die Beherrschung der Systemtechniken. Um die Notwendigkeit vernetzten Denkens in maschinenbaulichen, elektrotechnischen und informationstechnischen Kategorien zu betonen, spricht man bisweilen auch von „Mikromechatronik“. Der Begriff ist glücklich gewählt, bringt er doch zugleich die Verwandtschaft der technischen (nicht technologischen) Ansätze mit der klassischen Mechatronik zum Ausdruck. Nebenbei bemerkt bedeutet dies auch, dass die am Modell MEMS trainierten interdisziplinären Fähigkeiten von allgemeinem Nutzen für jede weitere Ingenieurstätigkeit sind.

Man glaube nun nicht, dass Produkte der Hochtechnologie wie MEMS lediglich Großkonzerne etwas angehen. Ein Blick auf die im Rahmen des BMBF-Förderkonzeptes „Mikrosystemtechnik 2000+“ geförderten Verbundprojekte belegt das Gegenteil: 67 % der im Jahre 2001 bewilligten industriellen Teilvorhaben gehen auf Unternehmen mit weniger als 100 Mitarbeitern zurück. Nicht nur in den wichtigsten Branchen, sondern auch über alle Unternehmensgrößen hinweg stellen also mechatronische und mikromechatronische Kenntnisse eine wichtige Schlüsselqualifikation für Ingenieure von morgen dar.

Am Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik sind weit über 10 Jahre industrieller Erfahrung auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik versammelt, und zwar vornehmlich auf der Entwurfs- und Anwen-

dungsseite hochfrequenter piezoelektrischer Mikrosysteme. Diese Erfahrung wird zum Aufbau eines Technikums genutzt, in dem MEMS hergestellt, getestet und von der Anwendungsseite her studiert werden können. Im Jahre 2003 geht die dafür nötige Dünnschichttechnologie in Betrieb.

Die Forschung wird sich zum einen auf die Anwendung von (im Halbleitertechnologischen Sinne gesprochen:) Sondermaterialien wie Piezoelektrika und zum anderen auf die Untersuchung neuer Strukturen inklusive der dazu nötigen Modell- und Simulationswelt konzentrieren. Im Fokus stehen Sensoranwendungen in den eingangs genannten „Who is who“-Bereichen.

Ziel ist dabei nicht nur das einzelne Sensorelement (das ja ohnehin schon ein System für sich darstellt), sondern eben das gesamte Sensorsystem und seine Eigenschaften. Hier werden andere am Lehrstuhl bearbeitete Fragestellungen, die von der Sensortechnologie unabhängig sind, eine wichtige Rolle spielen: Signalverarbeitung, Test und Diagnose, Methoden und Werkzeuge für die Modellierung und Simulation. Umgekehrt sollen MEMS dann als Teststrukturen zur Validierung der Systemtechniken dienen.

Der Ansatz soll weniger lauten: „Auf welche Probleme lassen sich MEMS (notfalls mit Gewalt) anwenden?“, sondern vielmehr: „Was ist die beste Lösung für ein messtechnisches Problem?“. In vielen Fällen wird dies eine klassische Lösung auf der Basis von Standardsensoren und klassischer Elektrotechnik (Schaltungen und Auswerteverfahren) sein. In manchen Fällen wird es sich aber auch um eine MEMS-Lösung oder um eine Kombination von MEMS- und Standardlösungen handeln.

Diese Mischung aus Applikationsfokus statt Technologieorientierung, der Kombination von Standard- und High-Tech-Methoden

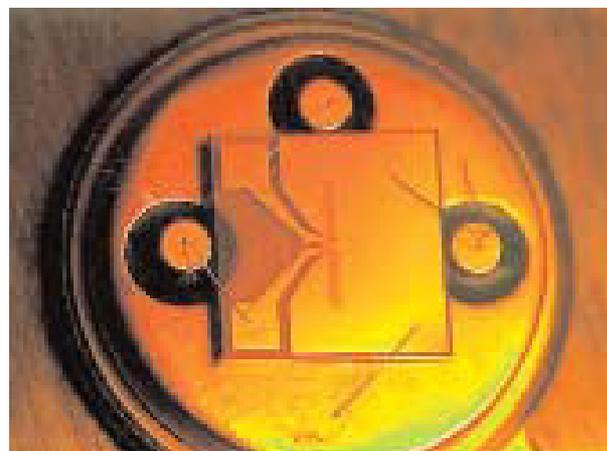
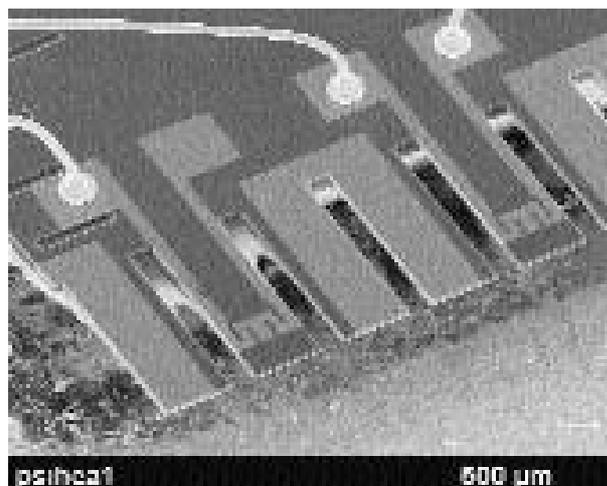


Abb. 1: LiTaO<sub>3</sub>-Leckwellenresonator mit Goldelektroden für die Flüssigkeits-sensorik.

und der konsequenten Umsetzung des Systemgedankens ist das Alleinstellungskriterium, das den Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik von den vielfach umfangreicheren Aktivitäten an den großen Mikrosystemtechnikzentren Deutschlands unterscheidet. Hinzu kommt die Verbindung von Mikrosystem- und Hochfrequenztechnik, die im Hinblick auf die allgemeine technische Entwick-

Abb. 2: Miniatur-Kragträger (mechanische Funktion) mit planarer Heizwendel (thermische Funktion) und Bonddrähten zur Kontaktierung (elektrische Funktion).



lung einen folgerichtigen Schritt und zugleich wegen ihres interdisziplinären Charakters eine besondere Herausforderung darstellt.

Bayreuther Zentrum für Kolloide und Grenzflächen (BZKG)

# Poröse Keramik, dünne Schichten, verbessertes Processing

Günter Ziegler

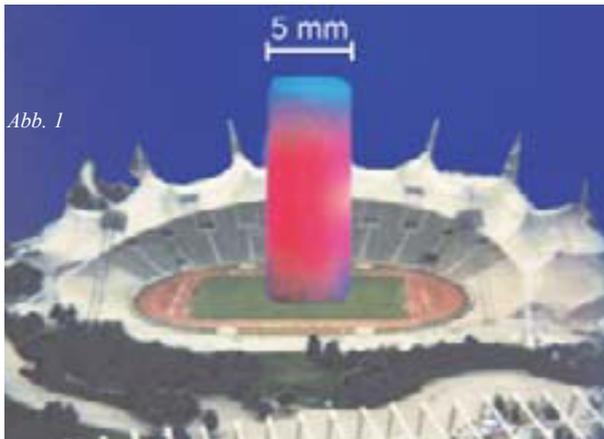


Abb. 1

Im Hinblick auf eine Intensivierung der Zusammenarbeit mit der lokalen Industrie haben sich fünf Lehrstühle der Universität Bayreuth zu einem „Bayreuther Zentrum für Kolloide und Grenzflächen“ zusammengeschlossen. Das wesentliche Ziel des Zentrums ist die Bündelung und Stärkung der Kolloid- und Grenzflächenforschung an der Universität Bayreuth ausgehend von Grundlagenforschung über angewandte Forschung bis hin zur industriellen Applikation.

Abb.1: Hochporöses Aerogel: 1 Gramm des hochporösen Materials (ca. 90 % Porosität) entspricht in etwa der Fläche des Rasens des Münchner Olympiastadions.

**K**olloide sind kleine Teilchen, deren Größe im Bereich von nur wenigen nm bis zu wenigen  $\mu\text{m}$  beträgt (ein Nanometer = ein Millionstel Millimeter). Materialien, die aus diesen „Nanoteilchen“ aufgebaut sind, begegnen uns in vielfältigen Anwendungen des täglichen Bedarfs. So enthalten Farben und Lacke kleinste in Wasser dispergierte Pigment- und Kunststoffteilchen. Keramische Erzeugnisse werden aus kleinsten Feststoffpartikeln hergestellt. Eine Vielzahl von Wasch- und Reinigungsmitteln zerlegen Schmutz und Fett in feinste Partikel, die dann im Wasser abtransportiert werden können.

In diesem Zentrum mit den beiden Lehrstühlen der Physikalischen Chemie (Professoren H. Hoffmann und G. Krausch) und den beiden Lehrstühlen der Makromolekularen Chemie (Professoren A. Müller und H.-W. Schmidt) vertritt der FAN-Lehrstuhl Keramik und Verbundwerkstoffe (Professor Ziegler)

im Wesentlichen die anorganischen keramischen Materialien. Die Aktivitäten konzentrieren sich dabei auf zwei Schwerpunkte:

- die Entwicklung von nano- und mesoporösen keramischen Materialien und
- die Entwicklung und Optimierung von organischen Additivsystemen für keramische Suspensionen.

### Nano- und mesoporöse keramische Materialien

Am Lehrstuhl Keramik und Verbundstoffe werden über Sol-Gel-abgeleitete Syntheseverfahren keramische Materialien auf der Basis von Aluminiumoxid, Titanoxid und Siliciumoxid hergestellt. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass durch definierte Einstellung von Verfahrensparametern, die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Materialien in weiten Grenzen variiert werden können. Aktuelle Projekte beschäftigen sich mit Verbundsystemen auf Titanoxid-Basis mit offenporigen bioaktiven Oberflächenschichten und der Herstellung von Siliciumoxid-Keramiken mit ausgerichteten Poren definierten Durchmessers im nm-Bereich. Die Anwendungsgebiete der untersuchten Stoffsysteme liegen schwerpunktmäßig in der Medizin- bzw. Katalysatortechnik sowie im Bereich

der Umwelt- und Biotechnologie.

### Organische Additivsysteme für keramische Suspensionen

Bei der Herstellung von keramischen Bauteilen aus pulverförmigen Rohstoffen hat der Lehrstuhl Expertise auf dem Gebiet der Aufbereitung und Verarbeitung von wässrigen Suspensionen mit sehr hohem Feststoffanteil bis 60 Vol.%. Durch die Verwendung von oberflächenaktiven Stoffen (Dispergatoren, Verflüssiger, Binder) kommt es zu schwer beschreibbaren Wechselwirkungen zwischen der Oberfläche der Pulverteilchen und den organischen Substanzen. Um die Wirkungsweise der organischen Additive aufzuklären zu können, befasst sich der Lehrstuhl daher mit der Korrelation zwischen Suspensions- bzw. Formkörper-eigenschaften und den Strukturen der polymeren organischen Additive. Dazu werden organische Additive selbst synthetisiert, insbesondere Polymere, die zum einen den Formkörpern hohe Flexibilität und Festigkeit geben sollen und zum anderen Binder- und Weichmacherfunktionen gleichzeitig übernehmen können. Ziel ist es, den Anteil an organischem Additiv zu minimieren ohne das Eigenschaftsprofil der Formkörper zu verschlechtern.

## Komplexe Makromolekül- und Hybridsysteme in inneren und äußeren Feldern



# Polymerblends Nanostrukturierte Keramiken

Axel Mantey, Frauke Stenzel

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 481 beschäftigt sich mit grundlegenden Fragestellungen zu Herstellung, Eigenschaften und Funktion von komplexen Makromolekülsystemen, Kolloiden und Hybridsystemen, die geordnete Strukturen mit möglichst definierter Form und Größe bilden. In diesem SFB arbeiten die drei Fakultäten Chemie, Physik und FAN auf unterschiedlichen Gebieten zusammen. Er ist für die Universität der einzige naturwissenschaftlich orientierte SFB und damit von herausragender forschungsstrategischer Bedeutung. Die FAN-Lehrstühle für Polymere Werkstoffe sowie für Keramik und Verbundwerkstoffe sind mit jeweils einem Projekt am SFB beteiligt.

### Polymerblends - Der Himbeere auf der Spur

Durch die gezielte Kombination verschiedener Polymere kann ein gewünschtes Eigenschaftsprofil schneller erreicht werden als mit der Neuentwicklung eines Homopolymers. Allerdings führt die Unverträglichkeit der meisten Polymerpaarungen zu einer schwachen Grenzflächenanbindung, die mit Hilfe geeigneter Additive verbessert werden muss. Innerhalb des SFB-Projektes wird mit einem PPE/SAN Blend gearbeitet, der mit Dreiblockcopolymeren kompatibelisiert wird. Diese Dreiblockcopolymere, deren Endblöcke jeweils mit einer Matrix

mischbar sind, und deren Mittelblock ein Elastomer ist, sorgen in Polymerblends aus spröden Polymeren für eine gute Phasenanbindung, hohe Dispersität und hohe Zähigkeit. Der Verlust an Steifigkeit ist dabei deutlich geringer als bei Blends mit konventionellen Modifikatoren und Zweiblockcopolymeren. PPE und SAN können mit einem Styrol-b-Butadien-b-Methylmethacrylat (SBM) Copolymer kompatibelisiert werden (Abb. 1). Das SBM wird im Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie II (Prof. Dr. A. Müller), unter Berücksichtigung der Anforderun-



Abb. 1: Schematische Darstellung zur Himbeermorphologie

gen im SFB-Projekt synthetisiert. Dieser Blend zeigt eine phasen-separierte Morphologie, die von den Entdeckern Auschra und Stadler Himbeermorphologie genannt wurde.

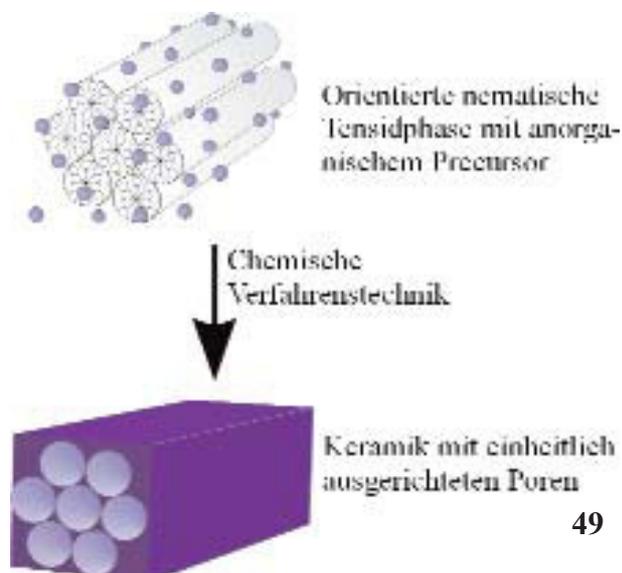
### Nanostrukturierte Keramiken

Für die Katalyse-, Adsorptions- und Filtrationstechnik werden poröse Materialien mit speziellen Eigenschaften benötigt. Deswegen werden am FAN-Lehrstuhl für Keramik und Verbundwerkstoffe in Kooperation mit dem Lehrstuhl für

Physikalische Chemie I (Prof. Dr. H. Hoffmann) nanostrukturierte keramische Materialien synthetisiert. Bei der Nanostrukturierung handelt es sich um eine geordnete und gerichtete Porenstruktur (Abb. 2), wobei die Poren Durchmesser von 5 - 15 nm besitzen.

Dieses Ziel soll durch folgenden Verfahrensweg erreicht werden: Lyotrope nematische Mesophasen aus stäbchenförmigen Aggregaten werden als formbildende Vorstufe und somit als Schablone für die Synthese der keramischen Materialien aus wasserlöslichen Precursoren verwendet. Diese Phasen werden in einem Magnetfeld einheitlich orientiert. Durch Hydrolyse und Kondensation der keramischen Precursoren wird ein Gel erzeugt, das von den orientierten Stäbchenmizellen durchzogen ist. Durch Erhitzen auf Temperaturen größer 400 °C erfolgt die Ausbildung der Keramik unter gleichzeitigem Eliminieren der organischen Bestandteile.

Abb. 2: Schema zur Herstellung von nanostrukturierten Keramiken mit geordneter Porenmorphologie (Porendurchmesser 5 - 15 nm)





# Brücke zwischen Universität und Kompetenzzentrum

Monika Willert-Porada

Die Einrichtung der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften, FAN, war von Beginn an ein „aus Sicht der Landesplanung und Strukturpolitik logischer und konsequenter Schritt zur weiteren Verbesserung der Bildungsinfrastruktur in Nordbayern und die Antwort auf das Defizit in den Ingenieurwissenschaften“ [1].

Unmehrer Jahre nach Aufnahme des Lehr- und Forschungsbetriebes ist erkennbar, dass auch die Erwartungen hinsichtlich der „externen Effekte und innovatorischen Impulse für die nordbayerische Wirtschaft“ [1] in die Tat umgesetzt werden konnten. Unmittelbar nach Einweihung der FAN im September 1998 ist von der IHK, HWK, der Stadt und dem Bezirk mit maßgeblicher Unterstützung durch FAN-Lehrstühle ein für die regionale Wirtschaft tätiges Kompetenzzentrum entstanden. Bayreuth beherbergt den größten der insgesamt drei Standorte der Neue Materialien Nordbayern GmbH. Unter Beteiligung von zwei Lehrstühlen aus der Fakultät II und fünf Lehrstühlen der FAN ist erstmals eine direkte Einbindung von Lehrstuhlkompetenzen in eine privatwirtschaftlich ausgerichtete Struktur gelungen. Die Lehrstuhlinhaber sind in der Forschervereinigung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde e.V. (FVW e.V.) zusammengeschlossen. Die FVW e.V. gehört zusammen mit der Universität Bayreuth zum Gesellschafterkreis der Neue Materialien Bayreuth GmbH, NMB GmbH.

[1] Denkschrift „Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften Bayreuth“, 1993.

## FVW e.V.

Die FVW e.V. ist unmittelbar im Zusammenhang mit der Errichtung des Kompetenzzentrums gegründet worden, der Zweck dieser Forschervereinigung ist allerdings breiter gefasst.

Der Verein sieht seine Aufgabe darin, für die Region und überregional auf dem Gebiet der Neuen Materialien und insbesondere der Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde ein dichtes Kompetenznetzwerk zwischen Forschung, Entwicklung, Industrie und Anwendern zu knüpfen. Diese Funktion im Umfeld der Universität und anderer Zentren ist in Abb. 1 verdeutlicht.

Die in der FVW Bayreuth e.V. ge-

bündelte Kompetenz der Lehrstühle ist allen Interessenten aus der Region zugänglich. Die derzeitigen Mitglieder und Funktionsträger der FVW Bayreuth e.V. sind nachfolgend angegeben:

- Prof. Dr.-Ing. V. Altstädt, LS für Polymere Werkstoffe, FAN
- Prof. Dr.-Ing. D. Brüggemann, LS für Technische Thermodynamik und Transportprozesse, FAN
- Prof. Dr. rer. nat. G. Krausch, LS für Physikalische Chemie II, Fakultät II (stellv. Vorsitzender & Schriftführer)
- Prof. Dr.-Ing. F. Rieg, LS für Konstruktionslehre und CAD, FAN
- Prof. Dr. rer. nat. H.-W. Schmidt, LS für Makromolekulare Chemie I, Fakultät II
- Prof. Dr. rer. nat. M. Willert-Porada, LS für Werkstoffverarbeitung, FAN (Vorsitzende)
- Prof. Dr.-Ing. G. Ziegler, Lehrstuhl für Keramik und Verbundwerkstoffe, FAN (stellv. Vorsitzender & Schatzmeister).

## .....und die NMB GmbH

Die Frage der wissenschaftlichen Betreuung des Kompetenzzentrums war von Anfang an sehr wichtig, sollte doch die NMB GmbH auf den in Bayreuth und der Region im universitären und wirtschaftlichen Bereich vorhandenen Ressourcen aufbauen.



Abb. 1: Aufgaben der FVW e.V. im Umfeld der Universität und außeruniversitärer Einrichtungen

Deshalb haben einige Professoren ihre Forschungsergebnisse und Industriekontakte für sogenannte Leit- und Transferprojekte zur Verfügung gestellt und entsprechende Projektvorschläge ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage ist die vom Wirtschaftsministerium geforderte fachliche Begutachtung zur thematischen Ausrichtung der NMB GmbH durchgeführt worden. Die Projektarbeiten werden nunmehr in dem im Juli 2002 feierlich eingeweihten Büro- und Technikgebäude der NMB GmbH durchgeführt.

Die in der Forschervereinigung zusammengeschlossenen Professoren repräsentieren ein breites Spektrum der Material-, Werkstoff- und Ingenieurwissenschaften. Die Beteiligung der FVW e.V. als Mitgesellschafterin der NMB GmbH sichert dem Kompetenzzentrum die ständige Mitwirkung eines wissenschaftlichen Beratergremiums zu. Für das operative Geschäft des Kompetenzzentrums konnte ein Geschäftsführer mit Industrienerfahrung gewonnen werden. Dr.-Ing. H.-W. Zoch ist seit Januar 2001 als Geschäftsführer der NMB GmbH tätig.

Die Idee zu einer Forschervereinigung als wissenschaftlichem Beratergremium der NMB GmbH geht auf Prof. Bergmann zurück, der entsprechend der Breite der Themen, die im Kompetenzzentrum bearbeitet werden - Leichtbau, Tribologie & Korrosion, Multifunktionalität, Werkstoffe der Energietechnik - eine Bündelung der Kompetenzen in einer Forschervereinigung vorgeschlagen hatte.

Anfang 2000 wurde im Beisein des Präsidenten der Universität Bayreuth, Prof. Dr. Dr. h.c. Ruppert, von insgesamt 12 Professoren der Universität Bayreuth der Beschluss zur Gründung eines eingetragenen Vereins gefasst, dessen Mitglieder auch über die Zusammensetzung des wissenschaftlichen Beirates, des sogenannten Gesellschafterausschusses der NMB GmbH, be-

stimmen sollten. Daraufhin ist im Mai 2000 die „Forschervereinigung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde Bayreuth e.V.“ gegründet worden.

### Synergie von Forschung und Wirtschaft

Auch nach Abschluss der Gründungsphase ist die Mitarbeit der FVW e.V.-Mitglieder in der NMB GmbH erforderlich.

Zahlreiche Kollegen sind direkt in das operative Geschäft als wissenschaftlich-technische Berater im Gesellschafterausschuss oder in unmittelbarer Projektarbeit eingebunden. Andere FVW-Mitglieder sind in die wissenschaftliche Betreuung und Beratung der Projektbereiche der NMB GmbH eingebunden, wie in Abb. 2 dargestellt. Besondere Erwähnung gebührt dem Engagement des im Dezember 2000 verstorbenen Prof. Dr.-Ing. Hans Wilhelm Bergmann. Als Interimsgeschäftsführer der NMB GmbH hat Hans Bergmann die schwierige Phase der Profilbildung des Standortes Bayreuth in Zusammenarbeit mit Leitern der beiden anderen Standorte - Fürth und Würzburg - maßgeblich beeinflusst. Fast alle Projekte aus dem Bereich des Leichtbaus und der Umformung metallischer Werkstoffe gehen auf seine Initiative und zum Teil auf seine Erfindungen zurück. Die Betreuung der Schweißsimulation hat seit Januar 2001 Prof. H.-J. Pesch, LS Ingenieurmathematik

übernommen, die Umformung Prof. Rieg. Weitere, derzeit durch Projekte vertretene Themen sind beispielsweise Schlickerdruckguss von Nichtoxidkeramik und Hochleistungsantriebe für die Raumfahrt (Prof. Ziegler), Polymerschäume (Prof. Alstädt), Diamantwerkzeuge (Prof. Bergmann, Dr.-Ing. Zoch) und Schneidwerkstoffe auf Hartmetallbasis (Prof. Willert-Porada).

Für alle Themenbereiche der NMB GmbH werden derzeit unter direkter fachlicher Beteiligung von Bayreuther Professoren weitere Projekte intensiv vorbereitet.

Der Erfolg des Kompetenzzentrums als einer eigenständig überlebensfähigen Firma wird von vielen Faktoren abhängen. Globale Effekte können nicht beeinflusst werden. Eine auch zukünftig fruchtbare Zusammenarbeit zwischen dem Kompetenzzentrum und den Material-, Werkstoff- und Ingenieurwissenschaften, die an der Universität angesiedelt sind, kann beeinflusst werden. Es kommt auf das Engagement eines jeden Wissenschaftlers und auf die Dialogbereitschaft der Wirtschaft an.

### Kontakt

Direkte Kontaktaufnahme ist möglich unter [www.fvw.uni-bayreuth.de](http://www.fvw.uni-bayreuth.de) oder zu Händen eines der FVW-Mitglieder, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth.



Abb.2: Derzeitige wissenschaftliche Betreuung der NMB GmbH





# Innovationen aus Glas

Edda Rädlein, Dieter Brüggemann

*Kaum ein Werkstoff begegnet uns im Alltag so häufig und auf so vielfältige Weise wie Glas. Die Produktion und Verarbeitung von Glas hat in unserer Region nicht nur Tradition sondern nach wie vor einen hohen wirtschaftlichen Stellenwert. Um ihre Marktstellung zu halten und noch auszubauen, müssen Unternehmen ständig ihre etablierten Glasprodukte weiter verbessern und neuartige Angebote entwickeln. Die Universität Bayreuth unterstützt sie dabei mit ihrer fachübergreifenden Kompetenz. Lehrstühle aus verschiedenen Bereichen haben sich zur Forschungsstelle „Werkstoffverbunde und oberflächenveredelte Produkte aus Glas (WOPAG)“ zusammengeschlossen.*

Glas für Kunst vor dem FAN-Gebäude

unten links: Oberfläche einer normalen Mehrwegflasche mit  $\mu\text{m}$  tiefen Kratzern [Quelle: Edda Rädlein];

unten rechts: AFM-Aufnahme eines mit einem speziellen Verfahren (Wiegand) polymerbeschichteten Glases mit extrem glatter Oberfläche [Quelle: Lehrstuhl für Physikalische Chemie II].

## Glas - ein Material mit Zukunft

Ein Blick in unsere Umgebung zeigt, dass wir viele Gegenstände gebrauchen, in denen Glas verwendet wird. Wir nutzen hierbei verschiedene Stoffeigenschaften, die den Werkstoff Glas charakterisieren. Hierzu zählen beispielsweise die optische Transparenz: Ob in Fenstern, Bilderrahmen, Lampen, Fernsehern oder Computermonitoren - Glasscheiben bieten zugleich Durchblick und schützende Trennung. Der Stoff Glas ist fest und reagiert chemisch kaum. So können wir Getränke und andere Flüssigkeiten über Jahre in Glasbehältern aufbewahren, ohne Sorge zu haben,

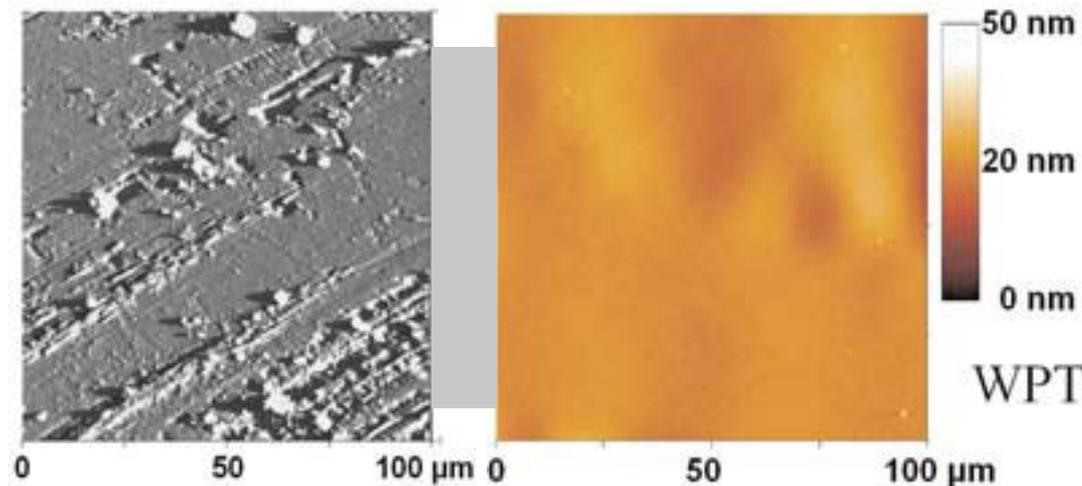
dass die Flüssigkeit ausläuft oder sich durch das Verpackungsmaterial verändert.

Diese und viele weitere Vorzüge von Glas sind seit Jahrhunderten bekannt und werden täglich überall genutzt. Warum jedoch findet Glas auch und gerade heute ein besonderes Interesse? Wie in anderen Bereichen auch, sind wir inzwischen in der Lage, die Eigenschaften und insbesondere die Oberfläche von Materialien gezielt zu beeinflussen. Hierdurch eröffnet sich ein immenses Feld an innovativen Produkten. Ein Beispiel aus dem Alltag sind die bewährten Glasflaschen mit ihrem vergleichsweise hohen Ge-

wicht. Um dieses zu senken, möchte man die erforderliche Wanddicke reduzieren, ohne dabei das Risiko einzugehen, dass die Flasche plötzlich zerbricht. Für das Auge nicht sichtbare Kratzer sind der Hauptauslöser für den Bruch. Durch spezielle Beschichtungen ist es möglich, Kratzer zu versiegeln und zu vermeiden.

Das Beispiel zeigt auch die Spannweite des Forschungsgebiets. Zunächst benötigt man eine detaillierte Analyse der Eigenschaften des Werkstoffs und insbesondere der Oberfläche bis hin zum Nanometer-Maßstab. Hier stehen an der Universität Bayreuth verschiedene Verfahren, zum Beispiel zur Elementanalyse, zur Elektronen- und Rastersondenmikroskopie zur Verfügung. So kann man feststellen, wie glatt die Oberfläche anfänglich ist und welche Reaktionen sofort nach der Herstellung die Alterung einleiten.

Solche Untersuchungen sind besonders bedeutsam, da man heute durch vielfältige Verfahren in der Lage ist, Glas zu beschichten. Beschichtungen können mit geringem Materialaufwand nicht nur die Ei-





genschaften verbessern, sondern auch völlig neue Funktionen hinzufügen. So ist leitfähig beschichtetes Glas als transparente Elektrode aus modernen Produkten wie Laptops und Displays nicht mehr wegzudenken. Auch Wärme- und Sonnenschutzfenster sind mit leitfähigen Mehrschichtsystemen versehen.

Eine Idee besteht darin, solche Veränderungen nicht erst nach der Produkterzeugung durchzuführen, sondern bereits den Herstellungsprozess des Glases nach Möglichkeit so zu beeinflussen, dass die gewünschten Eigenschaften hervorgebracht werden. Grundsätzlich ist das zunächst heiße Glas reaktionsfreudiger, allerdings auch schwieriger zu kontrollieren.

### WOPAG - eine Forschungsstelle rund ums Glas

An der Universität Bayreuth hat eine Gruppe von Professoren aus drei Fakultäten ihre unterschiedlichen, sich ergänzende Kompetenzen rund um das Thema Glas gebündelt und die „Forschungsstelle WOPAG“ gegründet. Prof. Dr. Ernst Rößler (Experimentalphysik II), Prof. Dr. Heinz Hoffmann und Prof. Dr. Georg Krausch (Physikalische Chemie I und II), Prof. Dr. Hans-Werner Schmidt (Makromolekulare Chemie I) sowie aus der FAN Prof. Dr.-Ing. Günter Ziegler (Keramik und Verbundwerkstoffe), Prof. Dr. Monika Willert-Porada (Werkstoffverarbeitung) und Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann (Technische Thermodynamik und Trans-

portprozesse) tragen mit ihren interdisziplinären Teams, einer umfangreichen apparativen Ausstattung und dem sich ständig erweiternden Know-how zum Erfolg des Gesamtkon-

Firma Wiegand-Glas produziert. Die vier Unternehmen haben eine jährliche Gesamtkapazität von über 400.000 Tonnen und sind mit nahezu 4.000 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von über 600 Mio. Euro ein wesentlicher Arbeits- und Wirtschaftsfaktor in der Region. Die Forschungsstelle WOPAG der Uni-

versität Bayreuth unterstützt dabei die Unternehmen bei ihren konkreten anwendungsorientierten Entwicklungsarbeiten. Aufgrund des vielfältigen Bedarfs werden gleichzeitig

*Technikumsanlage zur Glasformgebung: ein flüssiger Glasposten tritt aus dem Speiser und fällt in die Form [Quelle: Lehrstuhl für Werkstoffverarbeitung].*



zepts bei. Im Mittelpunkt steht dabei die Bearbeitung eines auf fünf Jahre ausgelegten Verbundprojekts, welches im Rahmen der bayerischen „High-Tech-Offensive“ mit rund 4,6 Mio. Euro insgesamt, davon rund 2,2 Mio. Euro für die Universität Bayreuth, gefördert wird. Die Verbundpartner sind vier Unternehmen der Region, die in verschiedenen Sparten der Glasherstellung tätig sind.

### Die Glasindustrie - ein wichtiger Wirtschaftsfaktor der Region

So ist Schott Rohrglas auf Röhren und Stäbe unterschiedlichster Länge und Durchmesser spezialisiert, wie sie z.B. für Ampullen, Solarkollektoren und architektonische Glassäulen verwendet werden. Die Firma Flabeg stellt unter anderem Auto- und Wohnspiegel, technisches und elektrochromes Glas her, bei dem man die Durchlässigkeit für Licht und Wärme steuern kann. Das Unternehmen Nachtmann produziert Trinkgläser, Vasen, Schalen, Kerzenleuchter und andere im Haushalt verwendete Gegenstände aus Glas. Weinflaschen und andere Ein- oder Mehrwegbehälter werden von der



mehr als 20 Teilprojekte durch die Forschungsstelle bearbeitet, was eine besonders gute Abstimmung und Organisation voraussetzt.

Es hat sich angeboten, das Forschungsthema Glas auch in die Lehre zu integrieren. So lernen Studenten im materialwissenschaftlichen Studiengang der FAN nicht nur Grundlagen sondern auch neueste Entwicklungen rund um das Thema Glas kennen.

Weitere Informationen geben gerne der geschäftsführende Sprecher der Forschungsstelle WOPAG, Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann, und die wissenschaftliche Koordinatorin, Dr.-Ing. Edda Rädlein.

# Jonglierprojekt in Venezuela

Das Haus von Benposta mit der zerstörten Zufahrtsstraße

Peter Rupprecht

[www.jonglier-peter.de](http://www.jonglier-peter.de)  
[www.benposta.info](http://www.benposta.info)

Mit meiner großen Leidenschaft, dem Jonglieren, wollte ich mich nach dem Studium der Sportökonomie, das ich im April diesen Jahres hier in Bayreuth abgeschlossen habe, für einen guten Zweck einsetzen. Über einen Fernsehbericht bin ich auf Benposta gestoßen, eine Organisation, die Kindern und Jugendlichen aus armen oder schwierigen Verhältnissen die Möglichkeit schafft, in einer familiären Gemeinschaft zu leben und sich in sozialer, spiritueller und schulischer Hinsicht zu entwickeln. Benposta wurde im Jahre 1956 von Padre Jesus Silva Méndez in Ourense, Spanien, gegründet und existiert inzwischen in drei Ländern. Im letzten Jahr erfuhr ich bei einem Treffen der Freunde von Benposta in Bochum, dass Benposta Venezuela eine recht erfolgreiche Zirkusschule hatte, bei der meine Tätigkeit als Jongleur sicher auf fruchtbaren Boden fallen würde. Sie war 1990 von Juan Carlos González ins Leben gerufen worden, der selbst seine Jugend in der Zirkusschule von Ben-

posta in Spanien verbrachte. Als einzige Zirkusschule von Venezuela hatte sich Benposta in Vargas, dem Regierungsbezirk an der Küste nördlich der Hauptstadt Caracas, einen Namen gemacht. Bei verschiedenen Festen, wie zum Beispiel beim „Internationalen Tag des Kindes“, präsentierten die jungen Artisten, was sie gelernt hatten. Aber was bis vor drei Jahren noch eine beispielhafte Gruppe von Akrobaten und Jongleuren war, ist im Dezember 1999 mit der schweren Flutkatastrophe in Venezuela förmlich weggeschwemmt worden. Bis dahin wohnten und trainierten bis zu 140 Kinder in dem Haus von Benposta, das auf einem Hügel idyllisch am Fuß des Nationalparks „El Avila“ liegt. Täglich waren für sie zwei Stunden Training in Akrobatik und Jonglage unter professioneller Anleitung vorgesehen. Das Gebäude und die Kinder blieben von den Fluten glücklicherweise verschont, allerdings wurde die Zufahrtsstraße zerstört, so dass das Haus aufgrund seiner Hanglage von den Kindern

nicht mehr erreicht werden kann. Zusätzlich wurde nach der Evakuierung das Haus geplündert und ein großer Teil des Jongliermaterials ging verloren. Die Lebensgemeinschaft musste aufgelöst werden und es konnte nur eine dürftige Notlösung in einem Armenviertel aufrechterhalten werden. Ich hatte für mein Projekt fünf Wochen, vom 8. Juni bis zum 13. Juli 2002, eingeplant, in denen ich in Benposta vor Ort leben und arbeiten wollte. Dazu sammelte ich vor meinem Abflug Material- und Geldspenden, die ich dann direkt übergeben konnte. Die Leute von Benposta haben mich herzlich am Flughafen empfangen. Nach einer kurzen Akklimatisationsphase, auch hinsichtlich meiner Spanischkenntnisse, die dort für so ein Vorhaben unerlässlich sind, saßen wir auch schon bei einem kühlen Getränk zusammen. Ein Schock für mich war, dass nach fast drei Jahren überall die Spuren der Zerstörung noch so deutlich zu sehen sind, auch die Zufahrtsstraße und das Haus von Benposta konnten noch nicht wie-

derhergestellt werden, da die finanziellen Mittel fehlen. Und es gab immer noch keine funktionierende Zirkusgruppe. Mit Juan Carlos González erstellte ich einen Plan über die möglichen Aktivitäten. Als „profesor de malabares“ (Jonglierlehrer) gab ich im Namen von Benposta in den zwei großen örtlichen Kulturzentren jeweils eine Woche lang jeden Nachmittag einen Workshop für alle interessierten Kinder und Jugendlichen aus den umliegenden Armenvierteln. Die Kurse waren sehr gut besucht. Es war gar nicht so einfach, die Teilnehmer in der fremden Sprache in Zaum zu halten, aber mit Hilfe von Roque Martínez, der selber in Benposta aufgewachsen ist, konnte ich meine Jonglierkenntnisse weitergeben und eine Abschlussvorstellung auf die Beine stellen, wovon auch in der lokalen Presse berichtet wurde. Zusätzlich gab ich Workshops in der Schule von Benposta. So konnte ich nicht nur bei den Kindern und Jugendlichen Begeisterung für die Jonglage und die Zirkusschule wecken, sondern auch das Interesse und Verständnis der Lehrer gewinnen. Durch einige Jonglierstunden am Nachmittag mit den bereits besseren Jongleuren von Benposta konnte die Grundlage für die ersten öffentlichen Auftritte gelegt werden. Jonglieren ist in Venezuela bei Weitem nicht so verbreitet wie in Europa, übt jedoch natürlich trotzdem auf alle große Faszination aus. Ich kam mir teilweise vor wie ein Jonglier-Missionar. Während meines Aufenthaltes konnte ich außerdem zwei weitere Einrichtungen von Benposta in der Nähe von Maracaibo kennenlernen. Obwohl der Bundesstaat mit seinen Erdölschätzen der reichste von ganz Venezuela ist, gibt es für die indianische Bevölkerung so wenig zu Essen, dass Kinder verhungern und an eigentlich heilbaren Krankheiten sterben. Für mich war es schockierend, die miserablen Lebensbedingungen kennenzulernen; gleichzeitig war es ein gutes Gefühl, mit meinem Auftritt



die Kinder wenigstens für eine kurze Zeit aus ihrer Welt entführen zu können. Es war klar, dass ich mit meiner Arbeit nicht die Welt verändern kann, aber ich konnte helfen, den Anstoß für den Wiederaufbau der Zirkusschule zu geben. Mit viel Motivation und ausreichendem Material findet zur Zeit wenigstens einmal wöchentlich ein Training statt und die nächsten Auftritte sind geplant. Zu guter letzt möchte ich an dieser Stelle herzlich Dank für die

großzügigen privaten Geldspenden und die Materialspenden von Ballaballa, Henrys und Pappnase aussprechen, ohne die keine vernünftigen Jonglierkurse stattfinden hätten können. Bei Benposta-Venezuela wird noch viel Hilfe benötigt. Wer das Projekt weiter kennenlernen und unterstützen möchte, findet weitere Informationen im Internet oder direkt bei mir:

Peter Rupprecht, [info@jonglier-peter.de](mailto:info@jonglier-peter.de), Tel.: +49 9131 303704

*Jonglierkurs (mit Peter Rupprecht) in der Schule von Benposta*

*Jongliervorstellung für die armen Kinder in Los Frailes*



# „Wegberufungsbilanz“ der Nachwuchs- wissenschaftler

János Riesz, Robert Debusmann

*Zu den spannendsten und mit größtem Interesse verfolgten Vorgängen an unserer Universität gehören zweifellos die Rufe anderer Universitäten an Bayreuther Wissenschaftler und die Rufe an auswärtige Wissenschaftler nach Bayreuth. TOP 3 in den Senatsunterlagen lautet stets: „Derzeitiger Stand der Berufungsverfahren“. UBT aktuell beginnt auf der ersten Seite mit der Spalte: „Kommen und gehen“. In Forschung und Lehre, dem Monatsmagazin des Hochschulverbandes, gehören die Seiten „Habilitationen und Berufungen“ zum festen Bestand.*

**B**ei den Fragen: Wer hat einen Ruf bekommen? Wer nimmt an? Lehnt ab? Geht? Bleibt? Kommt? geht es um nichts weniger als die nach außen hin sichtbare Attraktivität unserer Universität. Gute Leute mag man gerne gewinnen oder an sich binden. Erfreulich ist es, wenn Nachwuchswissenschaftler der eigenen Universität anderswo ein Unterkommen finden. Gerade dieser letzte Aspekt ist zweifellos auch ein Ausweis der wissenschaftlichen Potenz einer Universität und könnte - neben andern Parametern wie eingeworbene

Drittmittel, Zahl der ausländischen Studierenden und insbesondere der A.v.Humboldt-Stipendiaten - dazu dienen, den Rang unserer Universität als „Forschungsuniversität“ präziser zu bestimmen und deutlicher sichtbar zu machen.

Wir haben deshalb in den zurückliegenden Monaten versucht, durch Archivstudium und Befragung der Fakultäten einen ersten Überblick über die Wegberufungen von Nachwuchswissenschaftlern unserer Universität zu bekommen. Die Liste ist sicher noch unvollständig und mit Mängeln behaftet, aber sie gibt doch einen ersten - für manche sicher überraschenden - Eindruck. Fragen, die bei der Erstellung der Liste aufgetaucht und noch nicht abschließend beantwortet sind, mithin der weiteren Diskussion bedürfen, sind z.B.: Welche der an der UBT erworbenen Qualifikationen sollen als Kriterium der Zugehörigkeit gelten, Promotion oder Habilitation, oder beide zusammen? In unserer Aufstellung sind diejenigen nicht erfasst, die hier promoviert wurden, aber an einer andern Universität habilitiert; hingegen erscheinen diejenigen, die hier habilitiert wurden, auch wenn sie mit einer Promotion von einer

andern Universität kamen. Wie soll man die Positionen an ausländischen Universitäten mit deutschen Professuren (C 3, C 4) vergleichen? Wie die Professuren an Fachhochschulen bewerten? Wie die neuen Juniorprofessuren? Bei der Angabe der Universität, an die wegberufen wurde, steht in der Regel der Name der ersten Universität; einige der Namen auf unserer Liste haben die Universität seither gewechselt und sind dabei in höhere Positionen (z.B. von C 3 nach C 4) aufgerückt.

Doch auch in ihrer jetzigen, notwendigerweise noch unvollkommenen Form, ist die Liste schon recht aussagekräftig: Sie zeigt eindrucksvoll, dass die Universität in den 27 Jahren ihres Bestehens (davon muss man ca. 10 Jahre als „Anlaufzeit“ für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses abziehen) gute Arbeit geleistet und weit über 100 der hier ausgebildeten Nachwuchswissenschaftler an in- und ausländische Universitäten abgegeben hat. Zusammen mit den ehemaligen A.v.Humboldt- und DAAD-Stipendiaten bilden sie ein weltweites Netzwerk von „Ehemaligen“.

Zweifellos ließen sich diese Ergeb-

	Name	Fach	Datum	Universität	neue Pos.	D/AUSL
<b>Fakultät I</b>						
1	W. Achziger	m	Ang. Mathematik	Okt 95	Uni Dortmund	Professur D
2	W. Alt	m	Ang. Mathematik	Mai 95	Uni Jena	Professur D
3	Mackenroth	m	Ang. Mathematik	Nov 84	FH Lübeck	FH Professur D
4	K. Schilling	m	Ang. Mathematik	Mrz 86	FH Weingarten	FH Professur D
5	Köhnlein	m	Did. Physik/Chemie	Mai 80	Hochsch. Hildesh.	Lehrstuhl D
6	W. Brütling	m	Ex-Physik	Okt 01	Uni Saarland	Professur D
7	G. Denninger	m	Ex-Physik	10/91 - 9/97	Uni Stuttgart	Professur D
8	M. Donath	m	Ex-Physik	1999	Uni Münster	Lehrstuhl D
9	H. Eichele	m	Ex-Physik	1984	FH Nürnberg	FH Professur D
10	P. Esquinazi	m	Ex-Physik	10/91 - 9/97	Uni Leipzig	Professur D
11	H. Graener	m	Ex-Physik	10/91 - 9/97	Uni-Halle	Professur D
12	J. Peinke	m	Ex-Physik	Apr 98	Uni Oldenburg	Professur D
13	Th. Guljowski	m	Ex-Physik	10/91 - 9/97	Uni Karlsruhe	Professur D
14	R. Dinnebier	m	Kristallographie	Apr 01	MPI Stuttgart	Gruppenleiter D
15	A. Ratten	m	Mathematik	Jul 07	Uni Conrardn	Tenure Track AUSL
16	M. Clausen	m	Mathematik	1989	Uni Zurich	AUSL
17	M. Gruber	m	Mathematik	1989	FH Nürnberg	D
18	H.-Ch. Grunau	m	Mathematik	Jul 01	Uni Magdeburg	Lehrstuhl D
19	R. Landes	m	Mathematik	1988	Univ. Chicago	Full Professor AUSL
20	H. Leinfelder	m	Mathematik	1991	FH Nürnberg	FH Professur D
21	K.-H. Zimmermann	m	Math/Informatik	1996	Uni Karlsruhe	D
22	H. Iehske	m	Th-Physik	Mai 02	Uni Greifswald	Lehrstuhl D
23	K. Fesser	m	Th-Physik	10/91-9/97	U-Greifswald	Lehrstuhl D
24	I. Rehberg	m	Th-Physik	10/91-9/97	Uni-Magdeburg	Professur D
25	J. Reichl	m	Th-Physik	1998	FH München	FH Professur D
26	A. Tilgner	m	Th-Physik	Mai 01	Uni Göttingen	Professur D

Wegberufungen von Mitarbeiter(inne)n  
des UBT-Mittelbaus seit 1980

## Fakultät II

27	D. Willbold	m	Biochemie	Apr 01	Institut Jena	Professur D
28	C. Beierkuhnlein	m	Biogeographie	Feb 00	Uni Rostock	Professur D
29	U. Dell	m	Biogeographie	1995	Uni Freiburg	Lehrstuhl ARL
30	H. Sticht	m	Bioinformatik	Feb 02	Uni Erlangen	Professur D
31	A. Schramm	m	Biök	Jun 02	Evanston Illinois	Ass. Prof. AUSL offen
32	N. Klever	m	Biök	Mai 01	FH Augsburg	FH Professur D
33	G. Guggenberger	m	Bodenkunde	Aug 02	Uni Halle	Professur U
34	M. Kaupenjohann	m	Bodenkunde	Okt 95	Uni Hohenheim	Lehrstuhl D
35	I. Kögel Knabner	w	Bodenkunde	10/91 - 9/97	Uni Bochum	Professur D
36	J. Lehmann	m	Bodenkunde	Dez 00	Cornell Univ.	Professur AUSL
37	A. Göttsche	m	Bodenökologie	Mai 98	Weihenstephan	FH Professur D
38	P. Pfeifer	m	Didaktik Chemie	10/91 - 9/97	Uni Erlangen	Professur D
39	Hummer	m	Didaktik Geographie	Jul 81	Uni Erlangen	Professur D
40	S. Trüger	w	Didaktik Geographie	Dez 01	Uni Bonn	Professur D
41	M.S. McLachlan	m	Geochemie	Okt 97	Uni Rostock	Professur D
42	H. Veit	m	Geomorphologie	10/91-9/97	Bonn	Lehrstuhl AUSL
43	W. Durner	m	Hydrologie	Nov 00	TU Braunschw	Professur D
44	St. Heister	m	Hydrologie	Mai 01	KWTH Aachen	Professur U
45	O. Klemm	m	Klimatologie	Mai 02	Uni Münster	Professur D
46	Wilke	m	Landschaftsbau	Feb 07	TU Berlin	Professur D
47	D. Dingwell	m	Mineralogie	Okt 98	LMU München	Lehrstuhl D
48	H. Köppler	m	Mineralogie	Nov 99	Uni Tübingen	Professur D
49	P.J. O'Brian	m	Petrologie	Dez 00	Uni Potsdam	Professur D
50	Reif	m	Pflanzenökologie	Nov 89	Uni Freiburg	Professur D
51	R. Scheibe	w	Pflanzenphysiologie	Okt 90	Uni Osnabrück	Lehrstuhl D
52	H. Reihage	m	Physikal. Chemie	Jul 91	Uni Esson	Professur D
53	Schnieppf	m	Standortkunde	Jul 84	FH Weihenstephan	FH Professur D
54	G. Bauer	m	Tierökologie	10/91 - 9/97	Uni Freiburg	Professur D
55	M. Illker	w	Tierökologie	10/91 - 9/97	FU Berlin	Lehrstuhl U
56	Seitz	m	Tierökologie	Jan 85	Uni Mainz	Professur D

57	N. Sachser	m	Tierphysiologie	10/91 - 9/97	Uni Münster	Professur	D
58	P. Jurczak	m	Kulturgeographie	10/91-9/97	TH Chemnitz	Lehrstuhl	D
59	G.Tröger-Weiß	w	Wirtschaftsgeographie	1999	Uni Kaiserslautern	Lehrstuhl	D

Fakultät III

60	Ch. Berger	m	Bürgerl. Recht	Okt 97	Uni Leipzig	Professur	D
61	St. Leible	m	Bürgerl. Recht	Feb 02	Uni Jena	Lehrstuhl	D
62	J. Schmitt	m	Bürgerl. Recht	Aug 90	FU Berlin	Professur	D
63	O. Guentzel	m	Bürgerl. Recht	Okt 02	Uni Würzburg	Lehrstuhl	D offen
64	W. Arnold	m	BWL	Nov 87	FH Gießen	FH Professur	D
65	K. Henselmann	m	BWL	Jan 98	TU Chemnitz	Lehrstuhl	D
66	Kreuzhof	m	BWL	10/91 - 9/97	FH Kempten	FH Professur	D
67	F. Linde	m	BWL	2000	FH Köln	FH Professur	D
68	M. Martin	m	BWL	Okt 94	FH Wiesbaden	FH Professur	D
69	G. Müller-Christ	m	BWL	Dez 00	Uni Bremen	Professur	D
70	Ch. Rasche	m	BWL	Jul 01	Uni Potsdam	Professur	D
71	J. Riedl	m	BWL	Sep 98	Fh Frankfurt	FH Professur	D
72	G. Stahl	m	BWL	Okt 01	Singapur	Professur	AUSL
73	R. Waldmann	m	BWL	Feb 99	FH Schmalkalden	FH Professur	D
74	B. Wolfrum	m	BWL	10/91 - 9/97	TH Regensburg	Professur	D
75	Kolb	m	Did. Wirtschaftslehre	März 80	Hochsch. Hildesh.	Lehrstuhl	D
76	Hlankanapel	m	Öff. Recht	Aug 85	Uni Würzburg	Lehrstuhl	D
77	Schulze Fielitz	m	Öff. Recht	1988	BW Uni Mchn	Professur	D
78	Pomice	m	Öff. Recht	1987	Uni Frankfurt	Lehrstuhl	D
79	Schmidt-Preuß	m	Öff. Recht	10/91 - 9/97	Uni Erlangen	Lehrstuhl	D
80	H. D. Horn	m	Öff. Recht	Jul 99	Uni Marburg	Professur	D
81	F. Daumann	m	VWL	Mai 01	Uni Jena	Professur	D
82	K.-W. Giersberg	m	VWL		FH Kaiserslautern	FH Professur	D
83	W. Gitschler	m	VWL		BFH Hof	FH Professur	D
84	A. Knorr	m	VWL	Dez 00	Uni Bremen	Professur	D
85	K. Rudkrieger	m	VWL	1995	FH Nürnberg	FH Professur	D
86	H.-D. Smoots	m	VWL	Okt 91	Uni Düsseldorf	Professur	D
87	F. Sältnar	m	VWL	Okt 97	TH Ilmenau	Lehrstuhl	D
88	P. Thuy	m	VWL	Jul 00	IFH Bad Honnef	Gründ. Rektor	D

Fakultät IV

89	M. Reh	m	Afrikanistik	1994	Uni Frankfurt	Professur	D
90	K. Volzen	m	Afrikanistik	10/91 - 9/97	LMU München	Professur	D
91	H.-J. Bachorski	m	Alt.Üt./Philologie	10/91-9/97	Uni Potsdam	Lehrstuhl	D
92	J. Schmied	m	Anglistik	10/91 - 9/97	TU Chemnitz	Lehrstuhl	D
93	V. Sams Dugga	m	Anglistik Literatur	2001	Uni Jos Nigeria	Lecturer	AUSL
94	Trop P. Simater	m	Anglistik Literatur	2000	Univ. Eldoret Kenya	Senior Lecturer	AUSL
95	Bloomer	m	Germanistik	10/91-9/97	New York	Ass. Prof.	AUSL
96	L. Eichinger	m	Germanistik		Uni Passau	Professur	D
97	J. Ian	m	Interkulturelle Germanistik		FH Zwickau	FH Professur	D
98	W. Wagaba	m	Interkulturelle Germanistik		Uni Kampala	Professur	AUSL
99	Z. Wang	m	Interkulturelle Germanistik		Shanghai ISU	Professur	AUSL
100	St. Reichmuth	m	Islamwissenschaften		Uni Rochum	Professur	D
101	Brandstetter	w	NUL	März 94	Uni Gießen	Professur	D
102	K. Kiefer	m	NUL	Jun 00	LMU München	Professur	D
103	K. Anyinobe	m	Roman Lit./Komparatistik	1991	Haverford Coll.Philadelph.	Professur	AUSL
104	I. Bazie	m	Roman.Lit./Komparatistik	2000	UQAM Montreal	Ass. Prof.	AUSL
105	B. Camara	m	Roman Lit./Komparatistik	1994	Bamako, Mali	Maître Ass.	AUSL
106	Papa Samba Diop	m	Roman.Lit./Komparatistik	1996	Uni XII Paris	Professur	AUSL
107	S. Gehrmann	w	Roman.Lit./Komparatistik	Aug 02	HU Berlin	Jr.Prof.	D
108	N'Golo Konaté	m	Roman.Lit./Komparatistik	1994	Bamako, Mali	Maître Ass.	AUSL
109	H.-J. Löselbrink	m	Roman.Lit./Komparatistik	Mai 88	Uni Passau	Professur	D
110	V. Parra	w	Roman.Lit./Komparatistik	Apr 02	Uni Mainz	Lehrstuhl	D
111	M. Prinz	m	Roman.Lit./Komparatistik	1994	Uni Gießen	Professur	D
112	K. Traoré	m	Roman.Lit./Komparatistik	1998	Uni Georgia	Professur	AUSL

nisse noch verbessern: Wir kennen z.B. eine Reihe von Fällen ausländischer Nachwuchswissenschaftler, die ihre für die Promotion oder Habilitation relevanten Forschungen an der Universität Bayreuth und unter der Leitung eines hiesigen Professors durchgeführt haben, während das formale Verfahren der Promotion oder Habilitation an einer ausländischen Universität stattfand, z.B. wegen der für sie ungünstigen Promotions- oder Habilitationsordnungen oder wegen Schwierigkeiten einer Anerkennung der hier erworbenen Qualifikation in

ihrem Herkunftsland. Hier könnte durch die Möglichkeit einer Co-tutelle de thèse und die Änderung unserer z.T. abschreckenden Regulations noch einiges verbessert werden.

Ihre vollständige Aussagekraft gewinnt eine solche Tabelle erst, wenn sie mit entsprechenden Aufstellungen anderer Universitäten verglichen werden kann. Vielleicht wäre dies eine Anregung an die Bayerische Rektorenkonferenz wert. An die Fakultäten und Lehrstühle der Universität Bayreuth ergeht die herzliche Bitte, uns bei der

Vervollständigung und Aktualisierung dieser Liste weiterhin behilflich zu sein. Gerade weil die erste Generation der hier tätigen Professoren in diesen Jahren aus dem aktiven Dienst ausscheidet, besteht die Gefahr, dass wichtige Informationen aus diesem Bereich nicht mehr ohne weiteres verfügbar sind.

113	G. Dotse Yigbé	m	Roman.Lit./Komparatistik	1999	Uni Lomé	Ass. Prof.	AUSL
114	M. Zürn	w	Roman.Lit./Komparatistik	1995	FH Ansbach	FH Professur	D
115	M. Brzoska		Musiktheater	Feb 92	Folkwang-HS Essen	Professur	D

Fakultät V

116	Hironobu Sakuma	m	Deutsche Geschichte	1991/92	Uni Tokio		AUSL
117	K. Beck	m	Ethnologie	Jan 00	LMU München	Professur	D
118	H. Behrend	w	Ethnologie	10/91 - 9/97	Uni Köln	Professur	D
119	M. Diswara	m	Ethnologie	Nov 01	Uni Georgia	Professur	AUSL
120	T. Forster	m	Ethnologie	Mai 01	Uni Basel	Lehrstuhl	AUSL
121	G. Schlee	m	Ethnologie	Jan 87	Uni Exeter	Lehrstuhl	D
122	Ch. Kampmann	m	Geschichte	Jun 02	Uni Marburg	Lehrstuhl	D offen
123	R. Knorr	m	Grundschuldidaktik	Feb 84	Uni München	Professur	D
124	Schmidt	m	Kunsterziehung	Nov 87	Uni Erl-Nbg	Lehrstuhl	D
125	G. Heydemann	m	Neuere Gesch.	10/91 - 9/97	Uni Leipzig	Lehrstuhl	D
126	W. Gebhard	m	Soziologie	Juli 97	Uni Koblenz	Lehrstuhl	D
127	I. Pahmeier	w	Sport	Jun 00	Uni Vechta	Professur	D

Fakultät VI

128	H. I. Klebe	m	Verbundwerkstoffe	Feb 01	Uni Colorado	Ass. Prof.	AUSL
129	J. Minkenberg	m	Thermodynamik	Mai 02	FH Gießen	FH Professur	D

Auswahlkriterium:

formale Qualifikation (Habilitation oder - bei Berufung ohne Habilitation - Promotion) wurden an der UBT erworben - Wegberufungen sonstiger (mehrjähriger) Gastwissenschaftler (BSc, AvH) wurden nicht gezählt

insgesamt 129 Wegberufungen, 3 Rufe wurden noch nicht beantwortet

männlich / weiblich: 118 / 11

D / AUSL: 106 / 23

Fachhochschulprofessur:	20
Assistant Professor / Maître Assistant / Juniorprofessor / Tenure Track:	9
Professur / Associate Professor / Lecturer:	62
Lehrstuhl / Full Professor / Senior Lecturer:	32
Gruppenleiter:	1
Gründungs-Rektor:	1
keine Angabe:	4

# Was Kinder bewegt



Peter Kuhn

*In einer Zeit, da PISA und diverse Gesundheitssurveys den Eindruck erwecken, dass es weder um die geistige noch um die körperliche Gesundheit unserer Kinder gut bestellt ist, legt eine Bayreuther Forschergruppe bemerkenswerte Ergebnisse vor. Das zwölköpfige Team unter der Leitung des Sportwissenschaftlers Dr. Peter Kuhn untersuchte in den letzten vier Jahren insgesamt vierhundert Kinder. Dabei ging es um die Frage, wie sich Kinder ihre Schule vorstellen, wenn es die Möglichkeit gäbe, Lernen mit Bewegung zu verknüpfen.*

Die Kinder konnten ihre Wünsche und Vorstellungen zeichnerisch und verbal äußern. Um ein möglichst vollständiges Bild zu gewinnen, baten die Forscher die Kinder, ihre Zeichnungen nach Klassenzimmerunterricht, Pausenhof und Sportunterricht zu differenzieren. So entstanden nahezu 1200 Kinderzeichnungen, die - zusammen mit den Interviews - Aufschluss darüber geben, wie sich der Ausweg aus der Bildungs- und Gesundheitsmisere aus der Kinderperspektive darstellt.

Blickt man zunächst auf die Ergebnisse zum Sportunterricht, so zeigt sich, dass die Kinder dem Bewegungslernen durchweg hohe Bedeutung beimessen. Dabei machen sie im Hinblick auf die Lerninhalte facettenreiche Vorschläge, die von traditionellen Schulsportarten über angesagte Freizeitaktivitäten bis zu fantastischen Aktionsspielräumen reichen. Besondere Aufmerksamkeit verdienen die kindlichen Vorstellungen von den Lernbedingungen: Kinder wünschen sich Freiräume, in denen sie selbst bestimmen dürfen, was sie lernen und wie sie es lernen möchten; Kinder wünschen sich Zeit zum Üben, weil Können Spaß macht; Kinder

wünschen sich kompetente Sportlehrer, die Verständnis für Fehler und Schwächen haben und die unterstützen, anstatt zu sagen: Das und das kannst du nicht.

In der Betrachtung der Ergebnisse zum Pausenhof fällt auf, dass Kinder Wert auf eine lange Pause legen - gegebenenfalls um den Preis, dass sich damit die Vormittags-schulzeit verlängert. Die Pausenhöfe sollen vielfältig mit attraktiven Bewegungs-, Spiel- und Sportgelegenheiten ausgestattet sein. Die Funktionen der Pause bestehen für Kinder im Spielen, Austoben und Ausruhen, damit - so argumentieren sie selbst - man anschließend, wenn man wieder etwas lernen will, nicht mehr so zappelig ist und besser aufpassen kann. Wieder wird auch in diesem Schulbereich deutlich, dass Kinder es für wichtig halten, in der Schule Zeiten zu haben, in denen sie über ihre Aktivitäten selbst bestimmen dürfen. Begleitstudien des Bayreuther Teams zeigen in diesem Zusammenhang, dass sich viele Kinder in der Pause relativ mehr, vielseitiger und intensiver bewegen als im Sportunterricht. Daraus geht hervor, dass es in erster Linie darauf ankommt, Freiräume zu schaffen, wenn man dem Bewegungsmangel von Kindern in der Schule begegnen möchte. Das Erleben dieser Freiräume wirkt sich dann wiederum positiv auf die Lernbereitschaft und Konzentrationsfähigkeit der Kinder aus. Deshalb bedauern sie es auch sehr, wenn Lehrkräfte in der Pause ihren Handlungsspielraum einschränken und uns dauernd den Ball wegneh-

men oder sagen, dass wir hier nicht rennen sollen. Diesen Lehrkräften würden sie statt dessen verordnen, dass die auch mal mitmachen sollen, nicht bloß rumstehen, denn die sollen ja auch mal Spaß haben, nicht immer bloß Unterricht und so.

Die Äußerungen der Kinder zeigen, dass sie sich mehr Handlungs- und Gestaltungs-kompetenz zutrauen als ihnen in der Regel zugetraut wird. Besonders deutlich wird dies in den Ergebnissen zum Klassenzimmerunterricht.

Die Kindervorstellungen von einem Klassenzimmerunterricht mit ausgewogenen Lern- und Bewegungsbedingungen lassen sich in drei Prinzipien bündeln: Bewegungsfreiheit am Arbeitsplatz, Wechsel von Arbeits- und Bewegungsphasen, Verknüpfung von Lernen und Bewegung. Für ihre entsprechenden Bildmotive liefern die Kinder anschauliche und plausible Begründungen: Zum Thema Bewegungsfreiheit meint Philip (10 Jahre), dass man halt da nicht immer so still dasitzen muss, sondern dass man sich da auch mal ein bisschen bewegen kann und so hinsetzen kann, so gemütlich, wie ich jetzt hier sitze. Für Stefanie (10) wäre es wichtig, dass man manchmal aufstehen dürfte und rausgehen darf ein paar Minuten. Nina (10) würde es reichen, einfach so rumzulaufen, also etwas mehr Bewegungsfreiheit zu bekommen. Auch Kevin (8) fände das gut, aber es wäre halt für die anderen auch wieder ablenkend. Kinder schätzen also auch die Problematik der Bewegungsfreiheit realistisch ein.

Dies zeigt sich auch in der Beurteilung von Sitzbällen, die in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle spielen: Benjamin (9) würde folgendes mit seinem Lehrer aushandeln: Ich tät ihm sagen, das können wir mal ausprobieren, und wenn es nicht klappt, dann bleiben wir bei den Stühlen. Oder wir können es auch so machen, die, die mit den Bällen keinen Schabernack machen, dass die die Bälle behalten können und die, die halt Schabernack treiben, halt denen die Bälle wegnehmen. Zur Begründung regelmäßiger Bewegungspausen meint Florian (11), Bewegungspausen haben deswegen einen guten Sinn, weil dann wird einmal das Gedächtnis ein wenig heller und auf der anderen Seite ist es auch gut für den Körper, weil die Muskeln trainiert werden. Melanie (8) ist der Auffassung, wenn man immer bloß so krumm sitzt, dann kann man ja auch nicht denken. Katharina (10) braucht Bewegungspausen, damit man wieder ein freies Hirn hat, einfach damit man ein bisschen Bewegung hat, sonst rostet man ja ein. Robert (10) findet Bewegung gut, weil man sich da austoben kann und dass wir aufwachen sozusagen. Daniel (12) schließlich ist überzeugt, wenn wir ein bisschen mehr Spiele machen würden, da hat man auch mehr Lust zum Lernen. Und schließlich soll Michael zu Wort kommen. Der Zehnjährige konzipiert ein komplexes Projekt für den Sachunterricht und gibt damit Antwort auf viele Fragen, die PISA aufgeworfen hat: Also, dabei habe ich gedacht, dass man auch Unterricht in freier Natur machen



kann und dass man auch, wenn man im Heimat- und Sachkunde macht, auch rumlaufen kann und zeigen kann, wie das und das geht und dann Sachen untersucht und der Lehrer uns das erklärt, wie das entstanden ist und dass wir auch ein bisschen rechnen, wie viel Wasser den Bach runterfließt, dass man das irgendwie messen kann mit Geräten. Oder vom Zweig, dass man den abschneidet vom Baum, und dann die Blätter zählt und dann ungefähr ausrechnet, wie viele so ein kleiner Busch hat, so ein kleiner Baum. Und dann könnte man das auch verbinden mit dem Unterricht und dem Sport, dass wir so durch den Ort joggen und dann der Lehrer immer was erklärt. Man könnte das auch zusammentun, zum Beispiel Basketball spielen, und wenn der Lehrer fragt, wenn du jetzt fünf Meter weit weg stehst und dann, wenn der andere kommt und Du gerade werfen willst, wie lange braucht der Sowieso, wenn der andere ankommt, und wie lange braucht der Ball, bis er in den Korb geht. Oder so Sachaufgaben, zum Beispiel, wenn der Ball in einer Sekunde der Minute soviel aufspringt, wie oft springt er dann in der Stunde auf, wenn einer das ununterbrochen macht. Und wenn man dann eine Runde läuft, dass man dann sagt, wie viel Kilometer sind wir jetzt gelaufen und wie viele Dezimeter sind das jetzt insgesamt. Oder wir machen eine

Malrechnung, und wenn wir dann den Weg wieder zurück joggen, wie viel sind wir dann insgesamt gelaufen. Finde ich dann schöner, und dann könnte man auch den Sport und den Unterricht so zusammentun und dann ist der Unterricht auch gut.

Aus den Ergebnissen leiten die Bayreuther Forscher eine zusammenfassende These ab: Wenn Kinder über die Gestaltung ihrer Schule zu entscheiden hätten, so würden sie einen Lernraum entwickeln, der die Prinzipien Bewegungsfreiheit, Handlungsorientierung und Selbstbestimmung integriert. Die flächendeckende Konzipierung entsprechender Schulprojekte dürfte sich im Hinblick auf eine ganzheitliche Bildung als vielversprechend erweisen.

*Klassenzimmerunterricht, Pausenhof und Sportunterricht*

#### **Kontakt:**

Dr. Peter Kuhn,  
Universität Bayreuth,  
Institut für Sportwissenschaft,  
+49 921 553469,  
[peter.kuhn@uni-bayreuth.de](mailto:peter.kuhn@uni-bayreuth.de)



# Turbulente Verbrennung

Jürgen Abel

*Um auf dem technisch wichtigen Gebiet der Verbrennungsforschung grundlegenden Fortschritte zu erzielen, haben sich Ingenieurwissenschaftler der Universitäten in Bayreuth, Erlangen und München zu einem neuen Bayerischen Forschungsverbund "Turbulente Verbrennung" (FORTVER) zusammengeschlossen. Der von ihrem Sprecher, Professor Dr.-Ing. Dieter Brüggemann (Lehrstuhl Technische Thermodynamik und Transportprozesse) vorgelegte gemeinsame Forschungsantrag wurde von einer international besetzten Expertenkommission begutachtet und sehr positiv bewertet.*

Das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst unterstützt das Vorhaben und stellt nun dem Verbund aus sieben Teilprojekten rund 1,9 Mio. Euro zur Verfügung, davon 565.000 Euro für den von Professor Brüggemann geleiteten Bayreuther Lehrstuhl. Dort werden in zwei Teilprojekten die Lasermesstechnik und die numerische Simulation weiterentwickelt und eingesetzt, um die Gemischbildung bei flüssigen Brennstoffen gezielt zu verbessern. Dies ist beispielsweise für moderne Diesel- und Benzinmotoren mit Direkteinspritzung von großem Interesse.

Die experimentellen und numerischen Forschungsarbeiten sollen sich zunächst über drei Jahre erstrecken und sind bewusst grundlagenorientiert ausgelegt. Der Forschungsverbund geht jedoch davon aus, dass sich bereits im kommenden Jahr Industriepartner an weiteren Teilprojekten beteiligen möch-

ten, um die erzielten Fortschritte für ihre jeweiligen, recht unterschiedlichen verbrennungstechnischen Anwendungen zu nutzen.

Hintergrund der Forschung Energieversorgung, deren größter Teil auf der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Erdgas, Erdöl und Kohle beruht. Ein wichtiges Ziel ist dabei, die kostbaren Energieträger möglichst effizient zu nutzen und zugleich den Ausstoß von Schadstoffen und klimabeeinflussenden Gasen gering zu halten. Besonders bei Anwendungen wie Kraftfahrzeugmotoren, Gasturbinen, Heizungsbränner und Feuerungen hat man in dieser Hinsicht bereits ein hohes technisches Niveau erreicht.

Um weitere technische Fortschritte zu erzielen, ist es erforderlich, die Verbrennungsabläufe noch besser als bisher zu verstehen, zu messen und rechnerisch vorherzusagen. Die Lösung dieser Aufgaben ist besonders schwierig, weil in technischen Anwendungen die Verbrennung meist in turbulenten, nahezu regellos erscheinenden Strömungen stattfindet.

Dennoch bestehen gute Aussichten, in den nächsten Jahren erhebliche Fortschritte zu erzielen. Hierbei sind vor allem zwei moderne Hilfsmittel vielversprechend: Zum einen erlauben optische, meist lasergestützte Messtechniken einen unmittelbaren Einblick in die Verbrennungsabläufe; zum anderen ermöglichen verbesserte Modelle in

Verbindung mit Höchstleistungsrechenanlagen eine detaillierte Computersimulation.

Die derzeit zur Verfügung stehenden Methoden sind bereits hilfreich, genügen vielfach jedoch noch nicht, um die Verbrennung gezielt zu optimieren. So müssen auf der experimentellen Seite die heutigen Messverfahren verbessert, erweitert und miteinander kombiniert werden, um noch aussagekräftigere Daten zu erhalten. Auf dem Gebiet der Computersimulation müssen die tatsächlichen Strömungs- und Verbrennungsabläufe zwar weiterhin modellhaft, jedoch detaillierter als bisher beschrieben werden. Hierzu gelten Ansätze zur Turbulenzmodellierung wie die sogenannte Large Eddy Simulation (LES) als besonders aussichtsreich.

Der von Professor Brüggemann initiierte und koordinierte Verbund FORTVER ist Mitglied der Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Forschungsverbände (abayfor). Durch diese werden die Aktivitäten der bayerischen Hochschulen besonders effektiv gebündelt und vernetzt, um so den Forschungsstandort Bayern weiter zu stärken und sichtbar zu machen.

# Z-MNU

gegen

## Bildungsdefizite

Jürgen Abel

*Ein Zentrum zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (Z-MNU) wird jetzt an der Universität Bayreuth errichtet. Das Bayerische Wissenschaftsministerium genehmigte kürzlich einen entsprechenden Antrag der oberfränkischen Hochschule. Die Errichtung des Zentrums ist eine mögliche Antwort auf zunehmend sichtbare Defizite im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildungsbereich, wie sie etwa durch die PISA-Studie belegt wurde.*

Das neue eingerichtete Zentrum soll sich deshalb der Aufgabe widmen, den mathematischen, naturwissenschaftlichen sowie technischen Unterricht zu fördern und Schule und Gesellschaft wieder vermehrt in die naturwissenschaftlich-technische Forschung einzubeziehen. Es soll Erkenntnisse, Bewertungen und Problemlösungen an Bildungseinrichtungen und die allgemeine Öffentlichkeit vermitteln, Fortbildungsveranstaltungen organisieren und die Weiterqualifizierung von Lehrkräften ermöglichen.

Das Konzept der Universität geht davon aus, dass insbesondere die Fächer Mathematik, Informatik Naturwissenschaften (Chemie, Biologie und Geographie) und Technik dringend gestärkt werden müssen, was durch eine Zusammenarbeit der jeweiligen Fachwis-

senschaften mit ihren Fachdidaktiken sowie den Erziehungswissenschaften (Pädagogik und Psychologie) im Rahmen des Zentrums erfolgen soll.

### Vier Hauptziele sieht das Konzept des Zentrums vor:

Zunächst soll der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht einschließlich Technik und Informatik dadurch gefördert werden, dass das Z-MNU die fachdidaktische Kompetenz für die Auswahl, Konzeption, Durchführung und Abstimmung von Forschungsprojekten bündelt. In der Lehre sollen fachbezogene und fächerübergreifende Themen in gemeinsamen Lehrveranstaltungen beispielhaft erarbeitet werden, und man hält die Kooperation benachbarter Fachdidaktiken und Fachwissenschaften in diesem Zusammenhang für besonders bedeutsam.

Zweitens sollen Informations- und Kommunikationstechnologien gefördert werden. Dazu sollen im Zentrum Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Multimedia-Programmen erforscht, ihre Wechselwirkungen mit den klassischen Print-Medien untersucht und die Wirksamkeit der Medien im Unterricht erörtert werden. Eine weitere Aufgabe ist die Konzeption und Entwicklung multimedialer Lehr- und Lerninhalte.

Drittens ist die Fort- und Weiterbildung als lebensbegleitendes

Lernen nicht nur integraler Bestandteil zukunftsorientierter Bildungskonzepte, sondern auch des Z-MNU. Gegenwärtige Fort- und Weiterbildungskonzepte sollen deshalb weiterentwickelt werden. Es sollen daher neben den bestehenden Fortbildungsveranstaltungen fachliche und didaktisch-methodische Fortbildungen durch Mitglieder des Zentrums in der Universität bzw. an Schulen angeboten werden, wobei die Fächer Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik im Vordergrund stehen. Effizientere Unterrichtsformen sollen dazu entwickelt, erprobt und anschließend flächendeckend verbreitet werden. Die erste Ausbaustufe des Zentrums soll von den bestehenden Ressourcen der Universität abgedeckt werden. Mitglieder des Zentrums sind die Inhaber der Lehrstühle für Mathematik und ihre Didaktik, Professor Dr. Peter Baptist, und für Didaktik der Biologie, Professor Dr. Siegfried Klautke, die das Zentrum leiten. Außerdem gehören die Akademische Oberrätin Dr. Sigrid Weber (Didaktik der Physik) und der Akademische Oberrat Walter Wagner (Didaktik der Chemie) sowie der Bereich Didaktik der Geographie zu den "Gründungsmitgliedern" des neuen Zentrums. Für den Zeitraum 2005/2006 ist eine zweite Ausbaustufe geplant.

