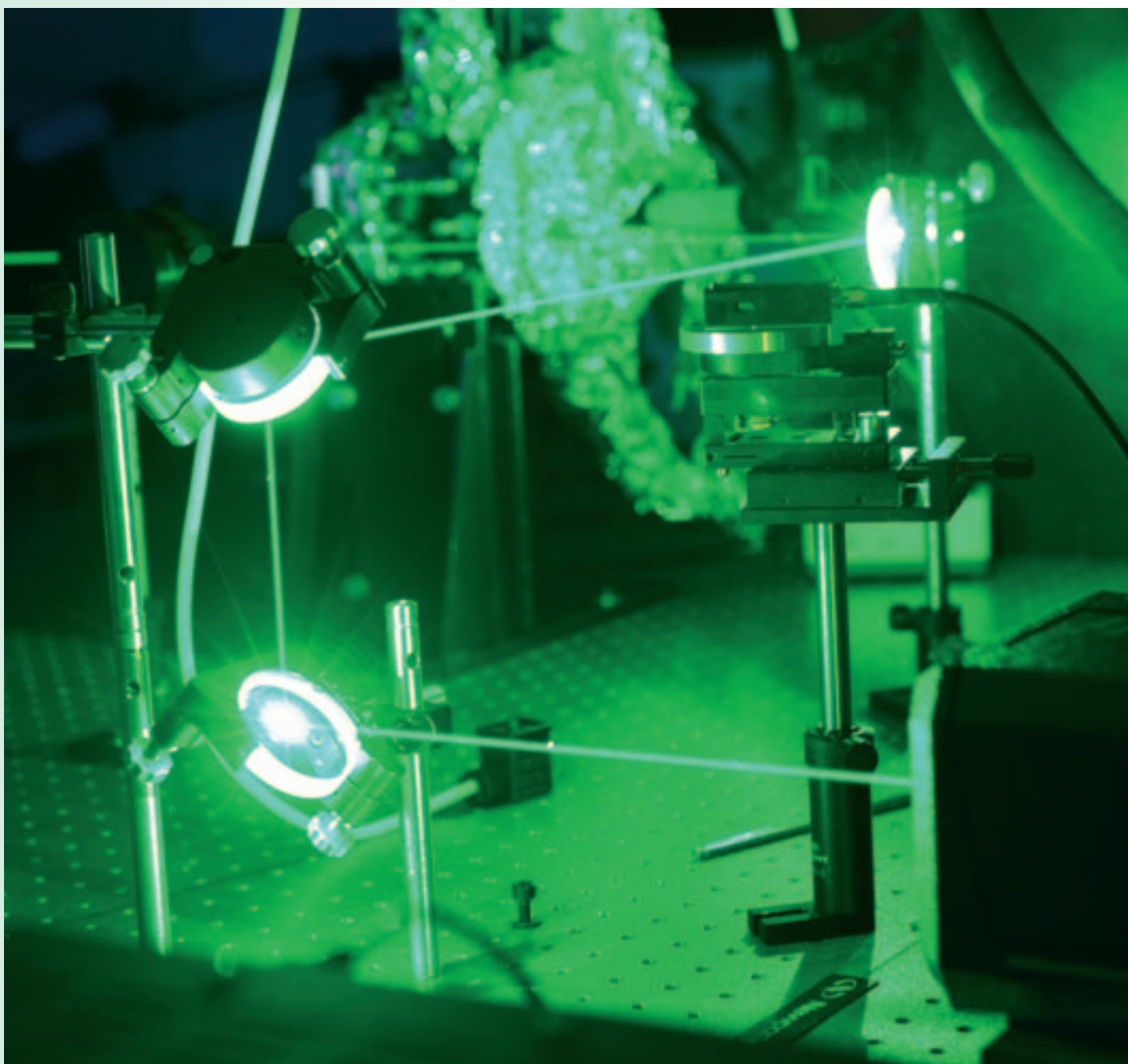


spektrum

DAS JAHR DER TECHNIK



Editorial



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

Landauf und landab wird von der Bedeutung der Wissenschaft und der Universitäten für die wirtschaftliche Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland gesprochen. Die relativ geringe Zahl von Absolventen in den Naturwissenschaften und der Technik hat dazu geführt, dass man in den letzten Jahren versucht hat, plakativ mit einem Jahr der Physik, einem Jahr der Biologie, einem Jahr der Geowissenschaften, einem Jahr der Chemie und jetzt einem Jahr der Technik ein Bewusstsein für die Bedeutung dieser Fachgebiete für unsere wirtschaftliche Entwicklung zu schaffen. Die Universität Bayreuth ist in allen diesen Fachgebieten mit einem herausragenden Wissenschafts- und Forschungsprofil beteiligt. Sie hat in der Vergangenheit gezeigt, dass sie als Forschungsuniversität innovative Gedanken der inneruniversitären Kooperation, aber auch der Kooperation im nationalen und internationalen Feld entwickelt. Diese Innovationen werden immer auch unter dem Aspekt geprüft, ob evtl. andere – ggf. „veraltete“ – Strukturen dadurch abgelöst werden können.

Es ist der Universität schon von anderer Seite „vorgeworfen“ worden, sie sei zu innovativ. Dahinter steht die Tatsache, dass man mit den Überlegungen und Aktivitäten zwar einverstanden ist, aber keine weitere

Möglichkeit der Finanzierung sieht. Dies ist für die Zukunft unseres Landes natürlich höchst bedenklich. Besonders problematisch wird es aber, wenn nicht nur für Innovationen keine Stellen mehr zur Verfügung stehen, sondern wenn trotz Innovationen Stellen vom Finanzminister eingezogen werden. Diese Kürzungen betreffen heute die Kernaufgaben der Forschung und Lehre. Die Universität Bayreuth kann es sich nicht erlauben, mit ihren ohnedies sehr begrenzten Personalressourcen Kürzungen in verschiedenen Profildbereichen vorzunehmen, sie würde damit die drittmittelfähige Basis verlieren und ihre Forschungserfolge in Frage stellen. Sie hat sich deshalb dazu durchgerungen, ganze Fachgebiete zu streichen, um den Gesamtschaden für die Universität möglichst gering zu halten. Dabei soll nach den jetzigen Planungen die Ausbildung im Bereich der Grundschule und der Hauptschule nicht mehr durchgeführt werden. Allerdings steht die Entscheidung über die Zustimmung zu dieser Aufgabe eines wichtigen Bereiches der Universität Bayreuth durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und den Bayerischen Landtag noch aus. Diese Entscheidung ist erst mit Wirkung zum Wintersemester 2005/06 zu erwarten. Gleichzeitig aber ver-

langen der Bayerische Landtag und das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst die Abgabe von Haushaltsstellen zum 31. Dezember 2004. Dies ist der Universität nur mit kaum verantwortbaren Maßnahmen möglich. Die Schnitte werden an der Universität Bayreuth große Schmerzen bereiten und der Schrei der überlasteten Wissenschaftler und der unter verschlechterten Bedingungen Studierenden wird mit mehrfachem Echo in den Amtsstuben des Ministeriums widerhallen. Wir sind auf einem falschen Weg. Stellenstreichungen und Kürzungen von Haushaltsmitteln bei steigenden Studierendenzahlen und zu geringen Forschungs- und Lehrräumen auf der einen Seite und Erwartungen zu einer weiteren verstärkten internationalen Wissenschaftskooperation, zu einer qualitativ hochwertigen, drittmittelgeförderten Forschung, zu Kooperationen von Wissenschaft und Wirtschaft und zur Förderung der regionalen und nationalen Wirtschaftsstruktur durch wissenschaftliche Innovationen auf der anderen Seite - dies alles beißt sich und wird in der Zukunft zu schweren Krisen führen.

Titelbild



Titelbild:
Fotografie aus dem Laserlabor des Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse

Impressum

Redaktion:
Pressestelle der Universität Bayreuth
Jürgen Abel, M.A. (ViSdP)
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>

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

Herausgeber:
Der Präsident der Universität Bayreuth

Satz und Layout: Andreas Gaube, Bayreuth
PR- und Werbeagentur A-G-SYSTEMS
Telefon (09 21) 5 07 14 41
spektrum-bayreuth@a-g-systems.de

Auflage: 5000 / dreimal jährlich
Druck: Heinz Neubert GmbH, Bayreuth
Telefon (09 21) 6 47 21



Inhalt

Das Jahr der Technik

Wissenschaft und Technik aus der FAN

Wissenschaft und Technik in der
Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften –
der Dekan zum Geleit 4

Intelligente Komponenten und Prozesse im Automobilen System

Auslegung und Erprobung für höchste Belastungen 6
Verbrennung – ein Thema mit Zukunft 8
Mitdenkende Systeme im Automobil 12
Reparieren lohnt sich doch – Servicetechnologien für morgen 14

Von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen – zu innovativen Materialien und Bauteilen

Fahren und Fliegen mit neuen Werkstoffen 18
Kalte Strahlung für heiße Prozesse –
Industrieller Einsatz von Mikrowellen 22
Technik im menschlichen Körper 24
Verfahren und Prozesse – nicht nur vor Gericht 28



Professoren und Lehrstühle stellen sich vor

Prof. Dr.-Ing. Uwe Glatzel (Metallische Werkstoffe) 32
Prof. Dr. Jürgen E. Müller (Medienwissenschaft) 44
Prof. Dr. Martin Leschke (Institutionenökonomie) 48
Prof. Dr. Dominik Henrich (Robotik und Eingebettete Systeme) 50

Die Technik an der Universität

Zentrale Technik – Fleißige Helfer im Hintergrund 36
„Heimseher“ oder „Fernhörer“? –
„Religion am Donnerstag“ als Internet-Angebot 41
Reflexion durch Produktion - Das Medienlabor 46



Der Kontrapunkt im Heft

Religion und Phantasie 53

Wissenschaft und Technik in der Angewandte

der Dekan zum Geleit

„Die Technik von heute ist das Brot von morgen - die Wissenschaft von heute ist die Technik von morgen“ - an dieses Zitat Richard von Weizsäckers, Bundespräsident von 1984 bis 1994, fühlt man sich 10 Jahre später wieder erinnert: 2004 - im Jahr der Technik, wo sich just bei Abfassung dieses Beitrags wieder die Bundespräsidenten im höchsten Amt in Berlin ablösen. Gerade bei diesem politischen Ereignis wurde besonders ein Begriff viel gebraucht: Erneuerung - passend zum zentralen Begriff des Jahres der Technik: Innovation. Die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften (FAN) der Universität Bayreuth steht für Wissenschaft und Technik - und sie steht auch zu einer besonderen Verpflichtung: Innovation.

„Wissenschaft plus Technik ergibt Beschäftigung“ so lässt sich das im Vorspann genannte Zitat des früheren Bundespräsidenten interpretieren. „Innovation ergibt Wachstum plus Beschäftigung“ – so kommentierte sinngemäß die amtierende Bundesforschungsministerin den Auftakt des Jahres der Technik, als Sie die Herausforderung ansprach, durch Innovation neues Wachstum in Gang zu setzen und Arbeitsplätze zu schaffen. Beide „Gleichungen“ enthalten aber zu viele Variablen (und auch Unbekannte), als dass auf sie ohne weiteres Verlass wäre. Einerseits verbessern die mit Wissenschaft und Technik vorangetriebenen Innovationen industrielle Herstellungsprozesse - solcherart gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit kann allerdings auch zulasten von Arbeitsplätzen geschehen. Andererseits schaffen Wissenschaft und Technik auch neue Forschungs- und Produktfelder, in denen das teure Land Deutschland wertvolles Vorsprungswissen schaffen und neuen Wirtschaftszweigen den Boden bereiten kann. An die Stelle von Wachstum tritt zunehmend Wandel – auch dieser Geist weht durch das Anliegen des Jahres

der Technik, Naturwissenschaft und Technik stärker in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu rücken.

Nicht zuletzt ist ja auch eine gewisse „Technikmüdigkeit“ hierzulande noch keineswegs allorten überwunden. In einer Zeit, in der zwar jeder ein Handy der neuesten Generation benutzt, in kaum einem Haushalt der Computer fehlt und jedes zweite neue Auto ein Navigationssystem besitzt, in der es aber dennoch chic ist, damit zu kokettieren, in Mathematik nur eine „5“ gehabt zu haben, sollte die ungeheure technische Durchdringung unserer Gesellschaft wieder stärker ins Bewusstsein gerückt werden. Unser modernes Leben ist nicht nur von Technik unterstützt, es wird durch Technik erst ermöglicht.

Kein Online-Banking ohne Mathematik, keine Tiefkühlkost ohne Mess- und Regeltechnik, keine Turnschuhe ohne Verfahrenstechnik. Technik umgibt uns sichtbar und unsichtbar in allen Dingen des Lebens.

Technik - der „Stoff“, aus dem die Zukunft ist

So stellt sich auch die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften gerne der Aufgabe, die Faszination und die Bedeutung von Technik noch stärker in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu rücken. Denn ohne technisch interessierte Schüler keine Ingenieurstudierenden, ohne Studierende kein Nachwuchs in Forschung und Industrie und damit auch keine Zukunft für den Wissens- und Arbeitsstandort Deutschland. Eine „kompakte“ Fakultät wie die FAN hat es dabei leicht und schwer zugleich:

Leicht, da die informellen Kontakte untereinander sehr gut sind. Es ist im wahrsten Sinne eine Fakultät (und Uni) der kurzen Wege, die die lehrstuhl- und (fakultäts-)übergreifende Zusammenarbeit begünstigt. Schwer, da jeder Lehrstuhl ein sehr breites Themenspektrum, zuweilen gar zwei Fachgebiete abdecken muss - den Lesern dieser Zeitschrift hat sich die FAN in Ihrer ganzen Interdisziplinarität und Internationalität vor nicht allzu langer Zeit ja schon vorgestellt^[1].

Neueste Technikinformationen aus erster Hand

Der Öffentlichkeit hat sich die FAN im Frühjahr und Sommer mit gut besuchten Vortragsveranstaltungen in einer zehnteiligen Reihe „Technik am Samstagvormittag“ präsentiert. Lässt man nur die Vortragsthemen Revue passieren, ergibt sich schon ein informativer Einblick in die Forschungsaktivitäten der FAN:

- „Moderne Produktentwicklung - ohne Computereinsatz unmöglich“
Prof. Dr.-Ing. F. Rieg
- „Feuer, Flammen und Motoren: Wie man mit Lasern und Computern die Verbrennung optimiert“
Prof. Dr.-Ing. D. Brüggemann
- „Die Welt der technischen Schäume – als Symbiose von Naturwissenschaften und Technik“
Prof. Dr.-Ing. V. Altstädt
- „Technische Katalysatoren: Vom Reagenzglas bis zur Anwendung in der industriellen Chemie“
Prof. Dr.-Ing. A. Jess
- Produkte aus Zellen, Zellen als Produkte - Bioprozesstechnik in Bayreuth“
Prof. Dr. R. Freitag

^[1] Spektrum Ausgabe 3/2002 Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften

Fakultät für Naturwissenschaften –



- „Mechatronik – Fühlen, Denken und Handeln in technischen Systemen“
Prof. Dr.-Ing. G. Fischerauer und Prof. Dr.-Ing. R. Moos
- „Brennstoff-, Photovoltaik- und andere Zellen: Materialaspekte regenerativer Energietechnik“
Prof. Dr. M. Willert-Porada
- „Reparieren lohnt sich doch - Servicetechnologien für morgen“
Prof. Dr.-Ing. R. Steinhilper

Zwei neue Forschungsschwerpunkte

Mit dem in der FAN vertretenen Portfolio an Fachgebieten und Aktivitäten in Forschung und Lehre lassen sich ganz besondere Synergien erzeugen, welche aktuell im Jahr der Technik zu zwei profilbildenden Schwerpunkten weiterentwickelt werden:

- Es entsteht ein
- methodenorientierter Forschungsschwerpunkt **Multiscale Materials Engineering** sowie ein
 - anwendungsorientierter Forschungsschwerpunkt **Automotive Components Engineering**.

Multiscale Materials Engineering (MME) steht für eine funktionsorientierte Werkstoffentwicklung im doppelten Sinne: Zum einen geht es um die materialgerechte Gestaltung von Bauteilen und zum anderen um den Einsatz von Materialien in verfahrenstechnischen Prozessen. Dabei beschreibt MME in beiden Fällen die gezielte Strukturierung von Nanoteilchen (mikroskopische Ebene) bis zum makroskopischen System und schließt die gesamte Kette vom Material über dessen Ver- und Bearbeitung

als Werkstoff bis hin zum fertigen Bauteil bzw. zum Einsatz in einem verfahrenstechnischen Prozess ein. Mit dem Schwerpunkt Automotive Components Engineering (ACE) wird ein Anwendungsgebiet ausgewiesen, in dem die Vielfalt der wissenschaftlichen Disziplinen in der FAN besonders vorteilhaft im Sinne von interdisziplinären Lösungen zum Tragen kommt. Wie beim Schwerpunkt MME ist die gesamte Kette vom Werkstoff über die Prozesse bis hin zum fertigen Bauteil und dessen Anwendung Gegenstand des Schwerpunktes ACE. Dabei stehen keine Methoden oder Disziplinen (Materialwissenschaft, Maschinenbau, Elektrotechnik) im Mittelpunkt, sondern konkrete Aufgabenziele im Anwendungsgebiet „Automobiltechnik“.

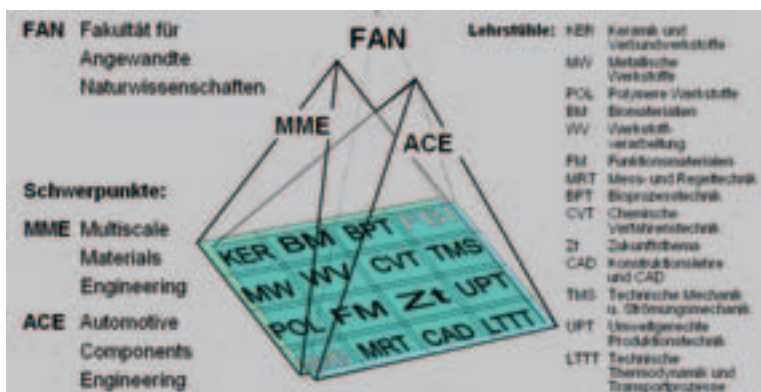
Technik-Studiengänge in steiler Aufwärtsentwicklung

Mit ihrem Wissenschafts- und Technikangebot aus diesen beiden Schwerpunkten kann die FAN den Zielgruppen institutioneller und industrieller Forschungsauftraggeber wie auch den Studierenden und dem wissenschaftlichen Nachwuchs ein methodisch breit angelegtes, umfassend abgesichertes, aber auch direkt anwendbares Know-how-Angebot aus einer Hand bieten. Die Ingenieurstudiengänge der FAN – und auch der Lehramtsstudiengang „Metalltechnik“ für

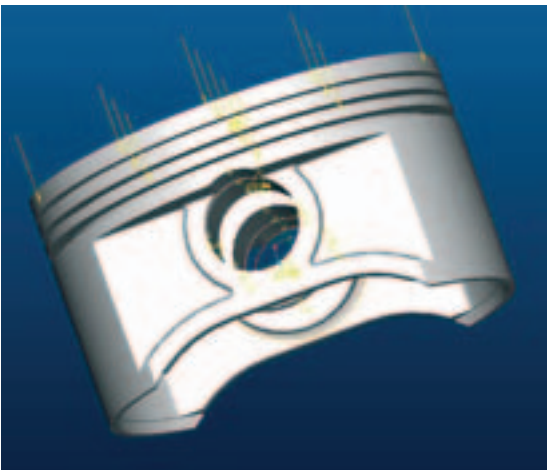
berufliche Schulen – profitieren bereits von diesen Kompetenzen: Sie sind mit zuletzt 41,6% Zuwachs bei den Studierwilligen bereits mit herausragender Wachstumsdynamik ins Jahr der Technik gestartet - in dem zu den erfolgreichen Diplom-Ingenieurstudiengängen auch ein Bachelor Studiengang „Engineering Science“ hinzukommen wird. Die FAN präsentiert sich klein aber fein und ist dafür in Bayreuth, im Land und darüber hinaus bekannt. Man kennt sich, weiß, was der andere macht und bekommt so stets neue Impulse. Es besteht ein Arbeitsnetzwerk, welches eine ganzheitliche Herangehensweise auf geradezu einzigartige Weise ermöglicht. Diese Verflechtung von Forschung, Lehre, Industrie und Öffentlichkeit ist eine große Chance für die Region Oberfranken und damit für die Zukunftsfähigkeit unseres Raumes. Die nachfolgenden Beiträge dieses Spektrum-Hefts geben einen kurzen Einblick in einige spannende Forschungsaktivitäten der FAN. Sie sind gedacht als Bayreuther Wegmarkierungen, Meilensteine oder Schrittmacherfunktionen auf der individuellen Reise jedes einzelnen Lesers durchs Jahr der Technik. ■

Abbildung: Auch der FAN-Zeppelin half im Jahr der Technik, technische Zusammenhänge (z.B. das Auftriebsprinzip) auch Laien verständlich zu machen.

Abbildung: Die FAN mit ihren Lehrstühlen und den beiden neuen profilbildenden Schwerpunkten.



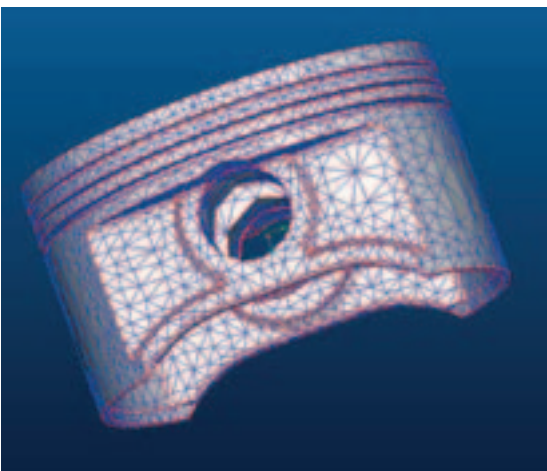
Auslegung und Erprobung



Konstruieren und Berechnen – das sind klassische Aufgaben 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.

erforderlich ist, andererseits der Verwendung alternativer, neuer stoffklassenübergreifender Materialien. Gerade hier ist eine zielsichere Vorausberechnung neuer Entwürfe unverzichtbar.

Hier kommt dann die nächste Spezialität der beiden Lehrstühle zum Tragen, die „Finite Elemente Analyse“, eine Methode, um mit Hilfe einer rechnerischen Simulation die Beanspruchung von Bauteilen vor der eigentlichen Fertigung vorherzusagen zu können. Dies spart eine Menge Zeit und erlaubt somit die wesentliche Verkürzung der Entwicklungszeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Qualität der Aussagen über das Bauteilverhalten auch unter höchsten Lasten.



Ohne den Einsatz moderner 3D-CAD-Software zum Entwerfen der Produkte ist bereits das erste Glied in der Kette „Idee - fertiges Produkt“ völlig überfordert. Ohne diese höchstentwickelten Programme und angemessen geschultes Personal sind Kundenforderungen wie

- schnelle, zielführende Reaktion
- sichere Auslegung hinsichtlich Zeit-, Dauer- oder Betriebsfestigkeit
- kollisionsfreie Einbaumöglichkeit und kinematische Korrektheit
- weltweiter elektronischer Datenaustausch
- prozesssichere Fertigung
- eindeutiges Datenmodell, auch für Marketingzwecke nicht zu realisieren.

Ungebrochen ist einerseits der Trend zur Materialoptimierung, d.h. der Einsparung von Bauteilsubstanz die aus Festigkeits- und Funktionsgründen nicht unbedingt zwingend

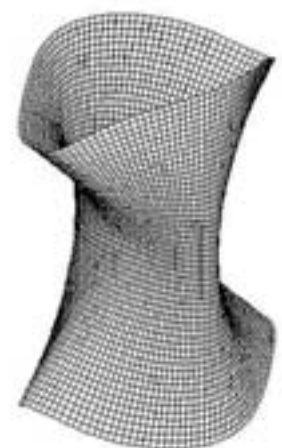
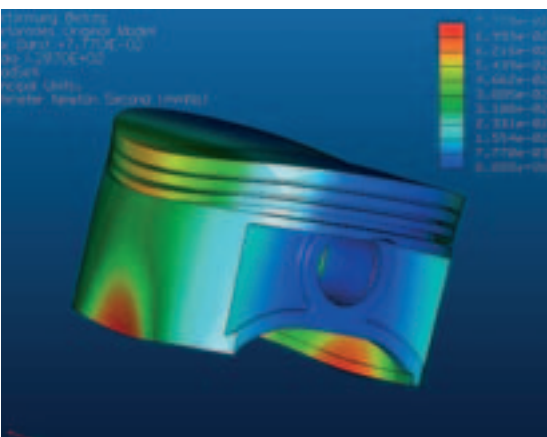


Abbildung oben: Motorkolben mit Lasten und Randbedingungen für den FEA Lauf

Abbildung mitte: FEA- Netz des Kolbens, bereit für den Rechenlauf

Abbildung unten: Verformung des Kolbens unter dem Verbrennungsdruck

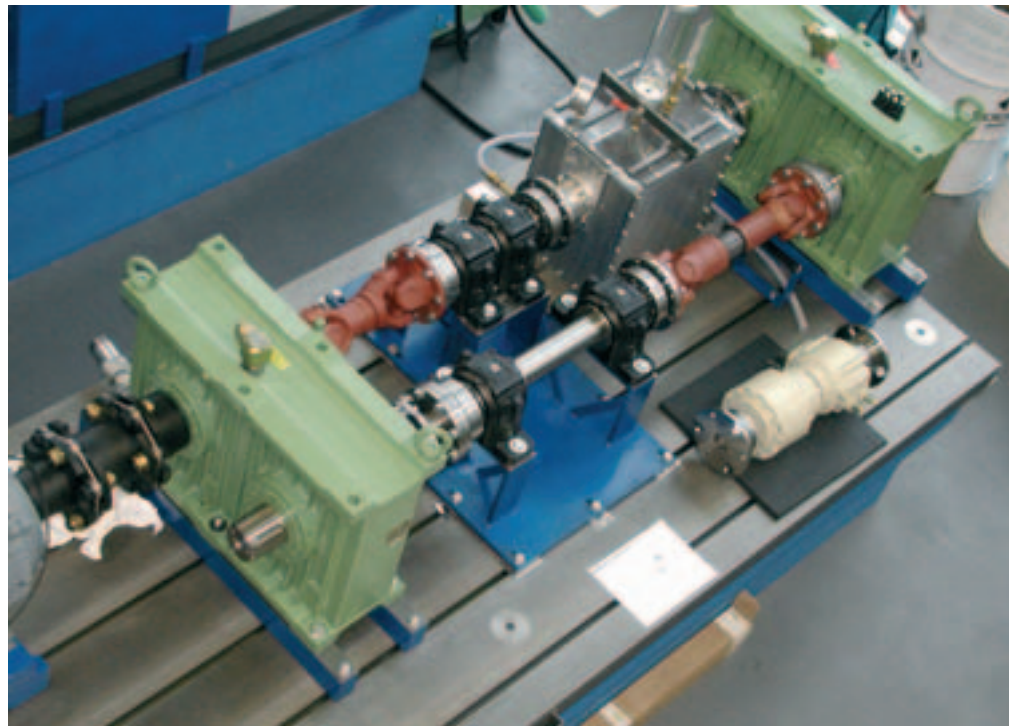
Abbildungen links und rechts: Beispiel faserverstärkter hyperbolische Schale:

für höchste Belastungen

Die dafür notwendige Modellierung von Materialien z.B. mit richtungsabhängigen mechanischen Eigenschaften bei großen Verformungen, wie sie bei biologischen Gewebe (Herz, Haut, Blutgefäße oder Herzmuskel) oder faserverstärkten, gummiähnlichen Strukturen (Autoreifen, Gummischläuche) vorkommen, wird ebenfalls an den Lehrstühlen durchgeführt.

Es zeigt sich in der Praxis, dass selbst bei scheinbar einfacheren Bauteilkomponenten die Anwendung moderner CAD und FEA-Software ein anschließendes Verifizieren der Ergebnisse durch den Versuch nicht ersetzen kann.

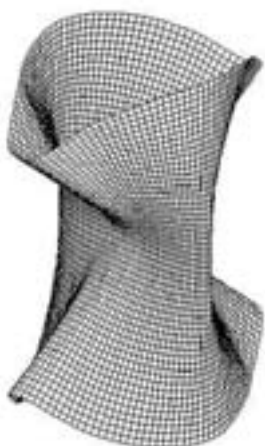
Hierbei sind die lehrstuhleigenen Möglichkeiten der individuellen Gestaltung und Modellierung von adäquaten Prüfständen besonders interessant.



Es steht z.B. ein Verspannungsprüfstand nach eigenen Konstruktionsideen zur Verfügung, der eine Prüfleistung von über 1.000 kW ermöglicht. Damit ist die realitätsnahe Dauerprüfung von neuartigen Komponenten bei sehr hohen Drehmomenten und Drehzahlen möglich. Ein ebenfalls selbst konzipierter Verbrennungsmotor-Prüfstand kann Motoren und Komponenten bis zu 300 kW Leistung testen.

anderen Lehrstühlen unserer Universität, anderen Universitäten und Fachhochschulen. ■

*Abbildung oben:
Verspannungsprüfstand „MORITZ“, Prüfleistung 1.000 kW, hier beim Test einer Offshore-Kupplung für den Einsatz in ozeanen Gasminen.*



Selbstverständlich kooperieren wir eng mit den anderen, hier aufgeführten Ingenieurlehrstühlen, aber natürlich auch mit einer Reihe von



Abbildung: 3D-CAD Modell eines Lüfterrades aus Kunststoff

der Materialmodellierung einer deformierten Konfigurationen

Verbrennung – ein Thema mit Zukunft

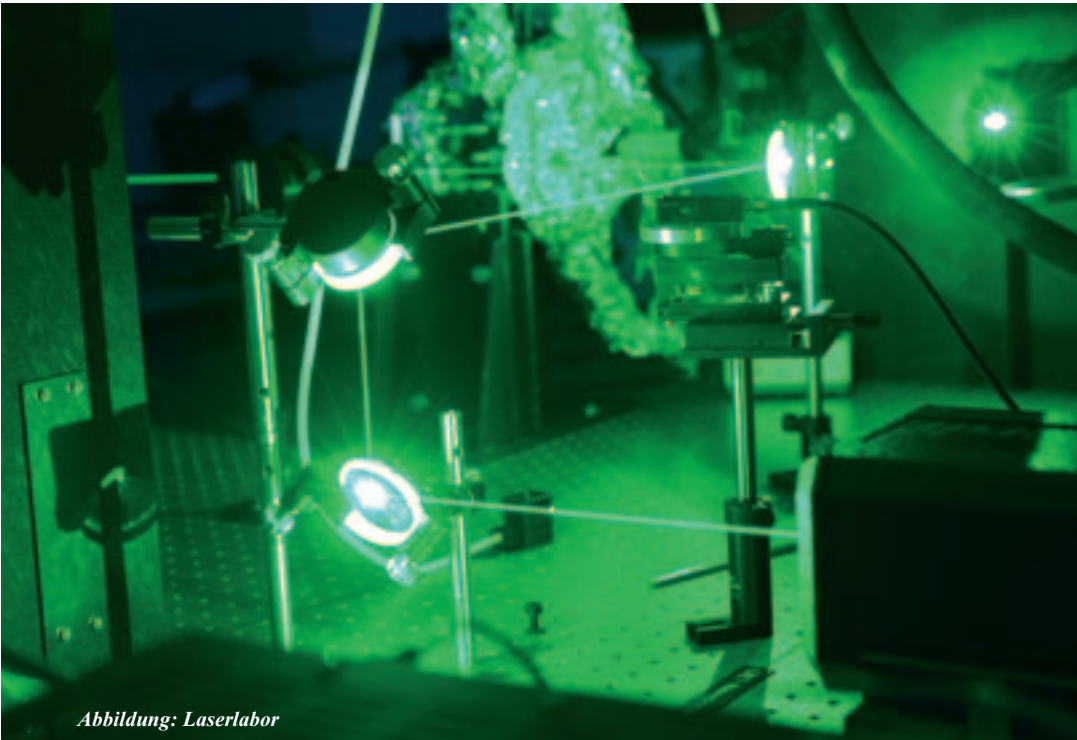


Abbildung: Laserslabor

vor mehr als einer Million Jahren Menschen an Lagerfeuern versammelten, um Licht, Wärme und Schutz zu finden. Im Laufe der Jahrtausende wurden immer wieder neue Möglichkeiten gefunden und erfunden, um die Verbrennung auf vielfältige Weise zu nutzen.

Ein Blick in unsere alltägliche Umgebung zeigt, welche Bedeutung die Verbrennung heute hat: Wir heizen unsere Wohnungen meist mit Gas oder Öl, genießen das Holzfeuer eines Kaminofens, fahren mit Autos, in deren Motor Benzin oder Dieselmotor verbrannt wird, fliegen mit kerosinbetankten Flugzeugen und beziehen elektrischen Strom von Kraftwerken, in denen meist Stein- oder Braunkohle verbrannt wird.

Aber auch die Kehrseite unseres Verhaltens ist bekannt: Riesige Mengen an fossilen Energieträgern werden Jahr für Jahr unwiderruflich vernichtet, die entstehenden Abgase drohen Menschen und Umwelt zu belasten. Ein wichtiges Ziel der Forschung ist es daher, die Verbrennung noch sparsamer und sauberer zu gestalten, als es heute schon der Fall ist.

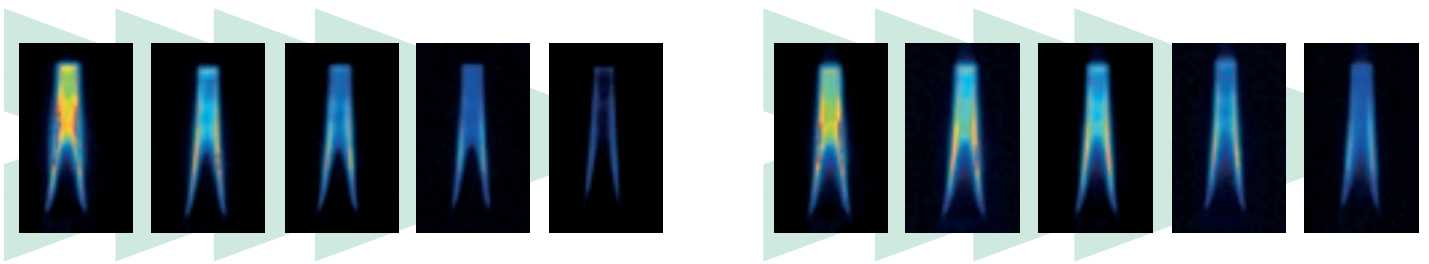
Feuer – zusammen mit Wasser, Erde und Luft eines der klassischen „vier Elemente“ – hatte in der Kulturgeschichte der Menschheit stets einen besonderen Stellenwert. Heute nutzen wir die Verbrennung in allen Bereichen unseres Alltags – aber wie lange noch?

Was ist Verbrennung?

Im hier gebrauchten, technischen Sinn verstehen wir unter Verbrennung eine chemische Oxidationsreaktion, bei der Energie in (im Unterschied z.B. zur rostbildenden Korrosion) sehr kurzer Zeit freigesetzt wird. Meist ist dieser Vorgang mit einer sichtbaren und spürbar heißen Flamme verbunden. Für die Verbrennungsreaktion benötigt man einen Brennstoff und einen Oxidator. Letzterer ist nahezu immer Sauer-

In frühen Zeiten begegnete der Mensch dem Feuer mit größtem Respekt: Natürliche Auslöser wie Blitzeinschläge und Vulkanausbrüche waren mit Schrecken und Zerstörung verbunden. Selbst heute gelingt es uns nur mit Mühe, Wald- und andere Großbrände einzudämmen. Kein Zweifel, die „Zähmung des Feuers“ und seine technische Nutzung zählen zu den größten Errungenschaften des Menschen. Archäologische Funde weisen darauf hin, dass sich bereits

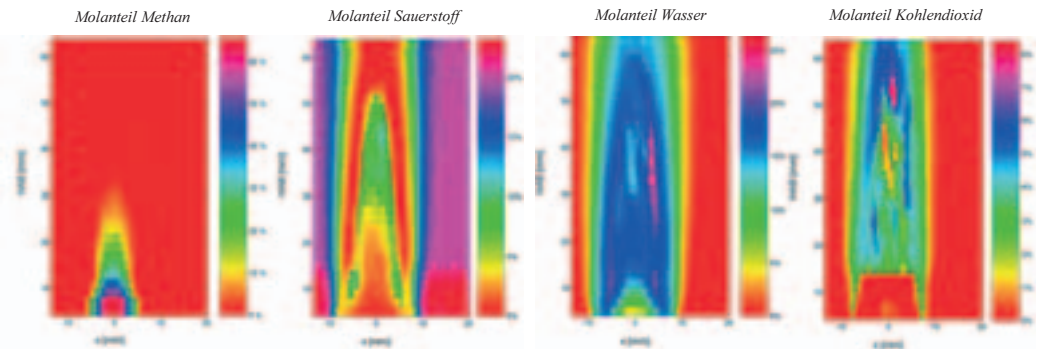
Abbildungsreihen: Rußdetektion in Flammen mittels laserinduzierter Inkandescenz



stoff der Umgebungsluft, welche uns kostenlos, bequem und in praktisch beliebigen Mengen zur Verfügung steht. Die meistgenutzten Brennstoffe sind Kohlenwasserstoffe, also verschiedene Verbindungen aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Als Ergebnis der Verbrennungsreaktion erhält man vor allem Wasser und Kohlendioxid. Bei genauerer Untersuchung des Reaktionsablaufs stellt man jedoch fest, dass diese Produkte nicht direkt, sondern über komplexe Reaktionsmechanismen gebildet werden, wobei meist kurzlebige Zwischenprodukte, die sogenannten Radikale, eine entscheidende Rolle spielen. So betrachtet setzt sich selbst die einfache Verbrennungsreaktion, nämlich die schon in der Schule gern als „Knallgasreaktion“ vorgeführte Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser, aus rund drei Dutzend Elementarreaktionen zusammen, in denen auch H- und O-Atome, OH-Radikale und weitere Reaktionsträger eine Rolle spielen.

Die Kehrseite der Verbrennung

Leider entstehen bei der Verbrennung auch Nebenprodukte, die für Menschen und Umwelt schädlich sind. Selbst bei der „sauberen“ Wasserstoff-Verbrennung mit Luft, die ja überwiegend aus Stickstoff besteht, entstehen giftige N-O-Verbindungen, die man als Stickoxide zusammenfasst. Bei den für die technische Verbrennung heute wichtigsten Brennstoffen, den Kohlenwasserstoffen, entstehen darüber hinaus Kohlenmonoxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Ruß



Abbildungsreihe: Konzentrationsbestimmung in einer Flamme mittels Raman-Spektroskopie

und weitere Schadstoffe. Aber selbst die Emission des neben Wasser mengenmäßig wichtigsten Produkts der Verbrennung, des Kohlendioxids, wird heute als problematisch angesehen: Man fürchtet, dass es in der Atmosphäre durch den sogenannten anthropogenen Treibhauseffekt zu langfristigen Klimaänderungen führt.

Kein Wunder also, dass man sich verstärkt mit Alternativen zur konventionellen Verbrennung beschäftigt. Trotz aller Aktivitäten und Förderungen zur Nutzung von Sonnen-, Wind- und Wasserenergie, Brennstoffzellen usw. sollte man jedoch die Augen nicht vor der Tatsache verschließen, dass der größte Teil unseres Energiebedarfs wohl noch für viele Jahre überwiegend durch die Verbrennung der fossilen Energieträger Gas, Öl und Kohle gedeckt werden muss. Es ist daher ökonomisch und ökologisch überaus sinnvoll, die Verbrennungstechnik weiter zu perfektionieren. Man möchte dabei

- den Verbrauch fossiler Brennstoffe durch Steigerung des Wirkungsgrads, also durch noch bessere Nutzung, senken;



Abbildung: Laborbrenner





Verbrennung – ein Thema mit Zukunft

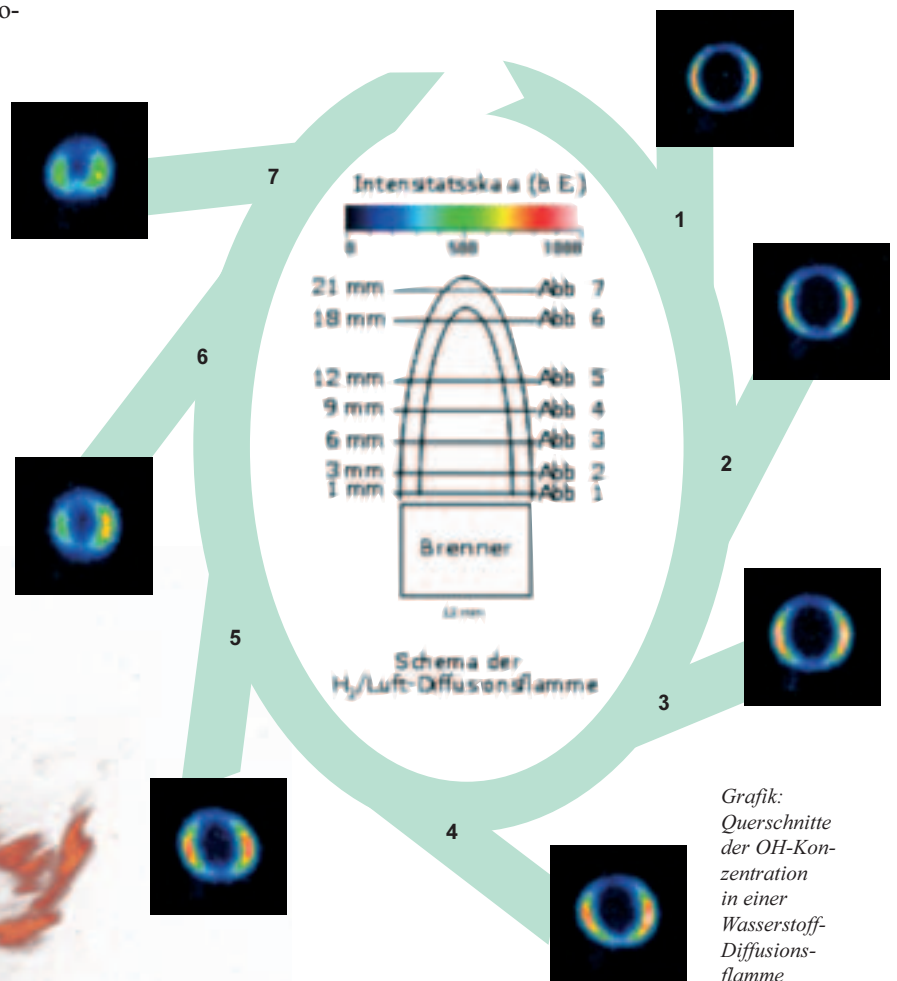
- die Umwelt durch Vermeidung der Bildung und Emission von Schadstoffen möglichst wenig belasten;
- die Emission von CO₂ und weiterer „Treibhausgase“ möglichst senken. Hinzu kommen zahlreiche weitere Anforderungen an die Verbrennung wie hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit, möglichst geringe Kosten, bequeme Nutzung und manche andere.

Moderne Verbrennungsforschung

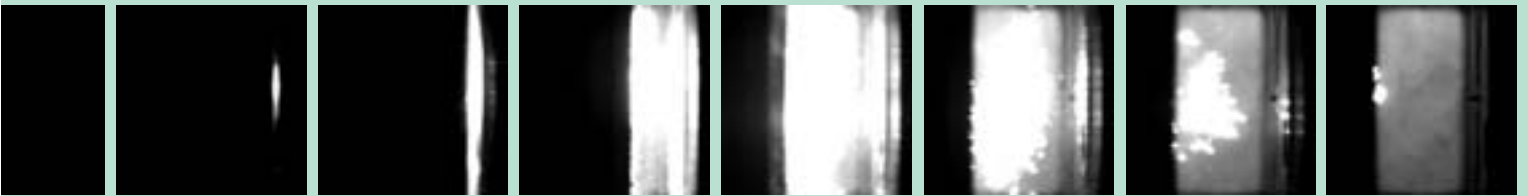
Am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) beschäftigt sich eine Gruppe von Mitarbeitern mit dem Thema Verbrennung. Einige dieser Aktivitäten sind Teil des Bayerischen Forschungsverbunds Turbulente Verbrennung (FORTVER), in dem vernetzt mit Partnern aus Erlangen und München neue Untersuchungsmethoden und grundlegende Modelle zum noch besseren Verständnis der Verbrennung entwickelt werden. Am LTTT werden besondere optische Mess-

verfahren verfeinert und eingesetzt. So lassen sich mit Laserpulsen von nur wenigen Milliardstel Sekunden Dauer selbst sehr schnelle, explosionsartig ablaufende Verbrennungsvorgänge zeitaufgelöst beobachten und messen. Verschiedene Lasermesstechniken helfen beispielsweise, die Abläufe in Verbrennungsmotoren besser zu verstehen. Hierbei setzt man nicht erst bei der Zündung ein. So nimmt bei Diesel- und Benzinmotoren mit

Direkteinspritzung die Gemischbildung von der Einbringung des Kraftstoffs über seine Verdampfung bis zur Vermischung mit Luft eine Schlüsselrolle ein. Sie bestimmt wesentlich, ob eine Verbrennung effizient und sauber verläuft. Parallel zu solchen Experimenten werden am Lehrstuhl spezielle Modelle und Computerprogramme entwickelt, mit denen Strömung, Verdampfung, Vermischung und Verbrennung simuliert werden. Solche



Grafik: Querschnitte der OH-Konzentration in einer Wasserstoff-Diffusionsflamme

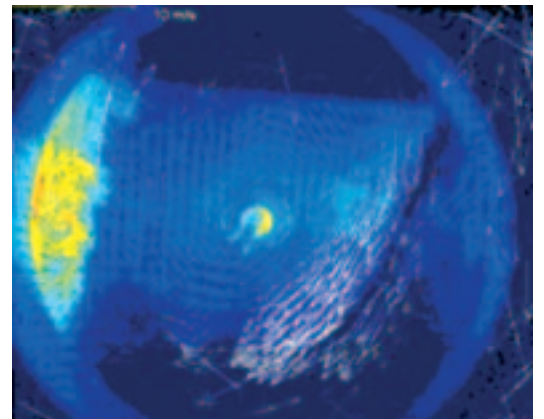


Abbildungsreihe: Kraftstoffeinspritzung und Gemischzündung in einem Einhubtriebwerk

Methoden, die man auch unter dem Begriff Computational Fluid Dynamics (CFD) zusammenfasst, erlauben Einblicke auch dort, wo Messungen nicht möglich oder zu aufwändig wären.

Eine zügige technische Umsetzung von Forschungsergebnissen wird durch das dem LTTT angeschlossene Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Thermodynamik, Energie- und Verbrennungstechnik (ATEV) in besonders anwendungsnahen Projekten unterstützt.

Entwicklung der wirtschaftlichen Schwellenländer weltweit zu einem weiterhin noch steigenden Bedarf an Primärenergie führen wird. Technologisch hochentwickelte Länder stehen in der Verantwortung, nicht nur Energie zu sparen, sondern auch in Energieforschung und Energietechnik eine Vorreiterrolle zu übernehmen. ■



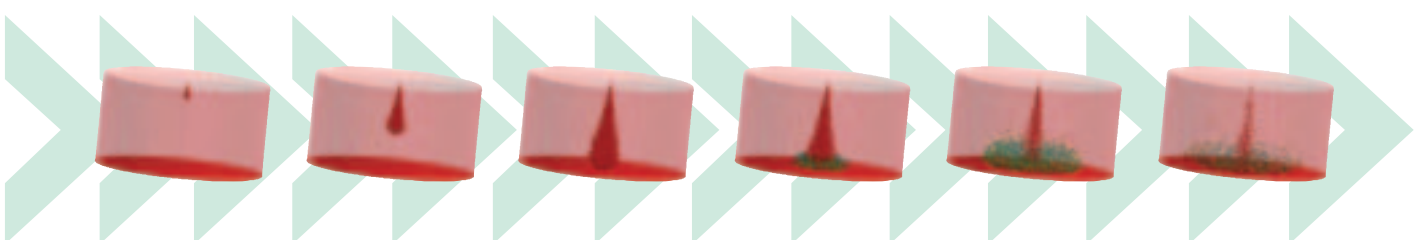
Abbildungen: Particle Image Velocimetry in einer Wasserstoffkammer

Energiesparen – eine Lösung?

Selbstverständlich soll man die begrenzten fossilen Energieträger nicht verschwenden und sich ihres Verbrauchs bewusst sein. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass wir uns auch hier nur sehr ungern einschränken. Der Mensch möchte auf den technisch möglichen Komfort nicht verzichten, sondern ihn im Gegenteil noch ausdehnen. Auch eine auf Produktion ausgelegte Industrie benötigt viel Energie. Es erscheint sicher, dass die



Abbildungsreihe: Hochgeschwindigkeitsaufnahmen einer Spray-Wand-Wechselwirkung in einer Spraykammer



Abbildungsreihe: Numerische Simulation einer Spray-Wand-Wechselwirkung

Mitdenkende Systeme im Automobil

Fast unbemerkt von der Öffentlichkeit findet in der Technik eine schleichende Evolution statt. Es geht schon lange nicht mehr darum, lediglich eine bestimmte Funktionalität bereitzustellen. Vielmehr sollen die Lösungen der Ingenieure zugleich benutzerfreundlich sein, mit geringen Ressourcen auskommen, kleine Schadstoffmengen produzieren und ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Die meisten dieser Aufgaben erfordern, dass die Technik situationsangepasst reagiert, d. h., mit anderen Worten: dass sie intelligent ist. In einem Bereich allerdings offenbart sich diese Evolution auch der Öffentlichkeit mehr als deutlich: in der Automobiltechnik.

Leben; Kommunikationseinrichtungen wie Leit- und Informationssysteme erleichtern uns die Orientierung; und schließlich dienen Komfortsysteme wie die Fahrgeschwindigkeitsregelung, die Klimaregelung oder auch nur farbveränderliche Scheiben unserer Bequemlichkeit.

Lambda-Regelung

Ein wichtiges Beispiel für mitdenkende Systeme in modernen Autos ist die Lambda-Regelung. Sie stellt automatisch das unter der jeweiligen Betriebsbedingung optimale Benzin-Luft-Gemisch ein. Dazu misst ein Sensor, die so genannte Lambda-Sonde, den Sauerstoffgehalt der Autoabgase (Abb. 2). Befinden sich unverbrannte Kraftstoffbestandteile (z.B. Kohlenwasserstoffe) im Abgas, so wurde dem Motor zuviel Kraftstoff im Verhältnis zur Luft

Die automatisierte Reaktion eines modernen Autos beruht darauf, dass künstliche Sinnesorgane (so genannte Sensoren) den Betriebszustand des Fahrzeugs sowie seine Umgebung erfassen und diese Informationen an das künstliche Gehirn (den Steuerrechner) weitermelden. Dieses wiederum erstellt daraus Anweisungen für die ausführenden Organe (die Aktoren), die das Fahrzeug in dem gewünschten Betriebszustand halten. Rund 80 Prozent aller Innovationen in modernen Fahrzeugen gehen

systeme solcher automatisierten Wirkungsketten zurück. Dementsprechend quellen die Autos geradezu über vor Sensoren (Abb. 1). Der Benutzer genießt durch diese eingebaute Intelligenz zahlreiche Vorteile: elektronische Zünd- und Einspritzsysteme reduzieren Kraftstoffverbrauch Schadstoffausstoß; Sicherheitssysteme wie das Abstandsradar, die Reifenüberwachung oder das Antiblockiersystem (ABS) retten

Abbildung 1:
Sensoranwendungen in
einem modernen Auto-
mobil (nach: BMW)



zugeführt. Man sagt auch, das Auto fährt „fett“ oder die Luftzahl λ (lambda) ist kleiner als 1. Die Motorsteuerung veranlasst auf diese Information von der Lambda-Sonde hin die Verringerung des Kraftstoffanteils in dem Benzin-Luft-Gemisch, das dem Verbrennungsmotor zugeführt wird.

Im „mageren“ Betrieb, wenn die Luftzahl λ größer als 1 ist, meldet die Lambda-Sonde einen Sauerstoffüberschuss im Abgas. Die Motorsteuerung reagiert darauf mit einer Erhöhung des Kraftstoffanteils im Benzin-Luft-Gemisch.

Insgesamt wird die Verbrennung so geregelt, dass im zeitlichen Mittel $\lambda=1$ ist, d. h. es wird dem Motor genauso so viel Luft zugeführt, wie für die Verbrennung idealerweise benötigt wird. Denn nur dann kann der im Abgasstrang nachgeordnete „Drei-Wege-Katalysator“ umweltschädliche Schadstoffe zu mehr als 99% verringern

Die relativ einfachen bisherigen Systeme werden vermutlich nicht mehr in der Lage sein, die steigenden gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen („Euro 5“). Insbesondere wird es immer schwieriger werden, die geforderte Selbstüberwachung der Abgasnachbehandlung während des Betriebs durchzuführen. Daher wird am Lehrstuhl für Funktionsmaterialien der Universität Bayreuth an neuartigen Abgassensoren gearbeitet, die sehr selektiv gesetzlich limitierte Komponenten wie z. B. Kohlenwasserstoffe nachweisen.



Abbildung 2: Lambda-Sonde und keramisches Sensorelement (Bosch).

Reifenüberwachung

Im Jahre 2002 gingen in Deutschland 250 000 Pannen auf das Konto

von Reifenschäden. Die Überwachung von Reifendruck und Bodenhaftung ist daher alleine aus Sicherheitsgründen von großer Bedeutung. Aber auch wirtschaftliche Aspekte spielen hier eine Rolle. So sinkt etwa die Reifenlebensdauer um 25 %, wenn der Reifendruck um 0,3 bar vom optimalen Wert abweicht. Bei der Überwachung des Reifendrucks wird die eigentliche Messaufgabe z. B. von miniaturisierten Silizium-Sensoren erfüllt. Daneben ist aber auch die Frage der Energiezufuhr und der Datenübertragung zu lösen: die Sensoren dürfen nur sehr wenig Energie verbrauchen und müssen ihre Informationen aus dem sich drehenden Reifen heraus berührungslos an die Auswerteeinheit am Autochassis senden.

Bei einer gängigen kommerziellen Lösung werden die Drucksensoren über Batterien mit Energie versorgt und funken ihre Daten bei einer Frequenz von 433 MHz.

In Zukunft könnten auch energieautarke Sensoren zum Einsatz kommen, die ihre Energie dem Signal entnehmen, mit dem sie angefunkt werden. In der Forschung wurden solche mikro-mechatronischen Bauelemente bereits demonstriert (Abb. 3). Der Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik der Universität Bayreuth befasst sich mit solchen und ähnlichen piezoelektrischen Hochfrequenz-Bauelementen.



Abbildung 3: Miniatursensor für mechanische Verzerrungen (Siemens)

X-By-Wire-Systeme

Im klassischen Auto werden Kräfte vom Fahrzeugführer unmittelbar über Stangen, Hebel oder Seilzüge auf

die zu beeinflussenden Fahrzeugteile übertragen. Dies führt zu konstruktiven Einschränkungen, die man künftig durch den Einsatz so genannter „X-By-Wire-Systeme“ umgehen will.

Grundsätzlich wird dabei eine vom Fahrer ausgeübte Kraft sogleich in ein elektrisches Signal umgewandelt, das über ein elektrisches Kabel (Wire) an den Steuerrechner oder den ausführenden Aktor weitergeleitet wird. So entfallen beim Steer-by-Wire die mechanische Verbindung zwischen Lenksäule und Radachse, beim Throttle-by-Wire der Seilzug zwischen Gaspedal und Benzinzufuhr oder beim Brake-by-Wire die hydraulische Bremsleitung zwischen Bremspedal und Bremsscheibe.

Die Elektrifizierung mechanischer und hydraulischer Systeme bringt dabei nicht nur ein niedrigeres Gewicht, einen geringeren Platzbedarf, eine einfachere Wartung und niedrigere Kosten mit sich, sondern stellt ganz allgemein die Voraussetzung für die direkte Kontrolle über das Fahrzeug dar, die intelligente Fahrassistenzsysteme benötigen.

Wege oder Winkel lassen sich auf dem Umweg über Magnetfelder berührungslos und damit besonders elegant und verschleißfrei in elektrische Signale umwandeln. Man verwendet dabei Magnetfeldsensoren, um die Lageänderung von Magneten zu erfassen.

Für eine optimale Funktionstüchtigkeit solcher Systeme müssen seine Komponenten auf verschiedenen physikalischen Ebenen aufeinander abgestimmt werden. Dies kann nur durch den konsequenten Einsatz der Computersimulation erreicht werden (Abb. 4). ■

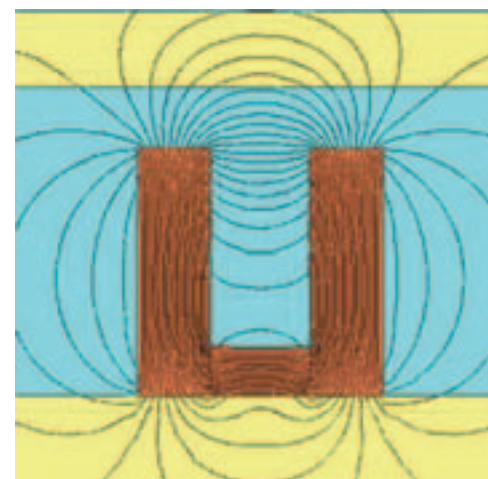


Abbildung 4: Magnetfeldberechnung für ein berührungsloses Positionsmesssystem.

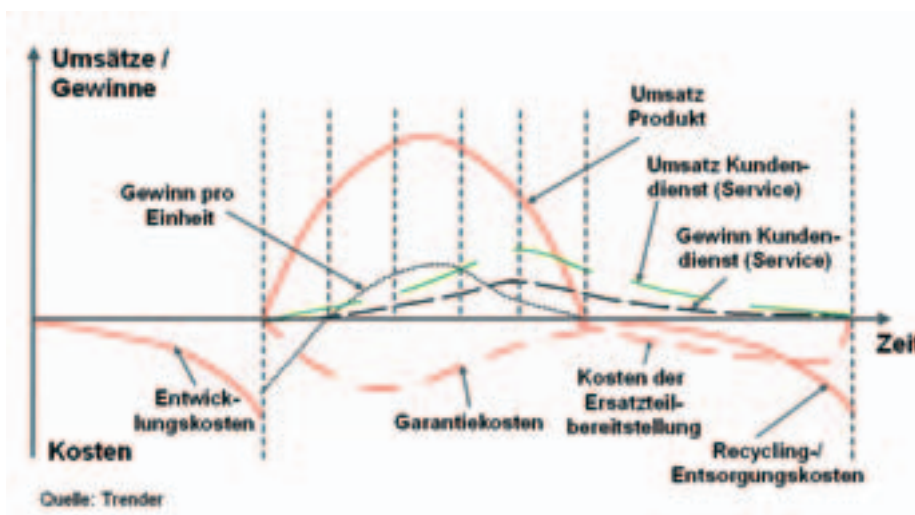
Reparieren lohnt sich Servicetechnologien für

Viel ist in jüngerer 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. Vergleicht man dies mit Bemühungen, ähnliche Fortschritte und beeindruckende Erfolge auch in den (immer noch so genannten) Bereichen des „Aftersales-Services“ bzw. im „Aftermarket“ zu erzielen, so scheint (von einigen Ausnahmeuniversitäten und -instituten abgesehen) hier das gewaltige brachliegende Potential gerade erst erkannt zu werden. Entwickelt man neueste produktionstechnische Erkenntnisse weiter und kombiniert sie mit modernen Instandhaltungsprinzipien, so entstehen als Synergieeffekte die Servicetechnologien für morgen. Remanufacturing / Refabrikation ist eine besonders interessante Option.

Wenn Innovationszyklen und Markteinführungszeiten tendenziell weiter kürzer werden, Lebensdauern und Marktverweilzeiten der Produkte absolut oder relativ dagegen länger ausfallen, werden sich auch geläufige Serviceangebote wie Produkt-Rückrufaktionen, Garantie- und Kulanzleistungen, klassische Instandsetzung und Ersatzteilversorgung, vermehrtes Austauschteileangebot und noch manches mehr weiterentwickeln und wandeln müssen. Hierbei wäre es ein gefährlicher Trugschluss, die noch nicht zum Still-

stand gekommenen Preis-Trends auf der Produktseite (tendenzielle Verbilligung) und auf der Serviceseite (tendenzielle Verteuerung) mittelfristig weiterhin so zu interpretieren, dass sich das schon beinahe geläufig gewordene „Reparieren lohnt sich nicht“ (da der Reparaturpreis den Neupreis oder Zeitwert übersteigt) auf immer größere Produktbereiche und weitere Branchen ausweiten wird. Dem stehen mehrere Entwicklungen – auch und gerade in elektronisch geprägten Produktbereichen – entgegen:

Abbildung 1: Die Kosten der Ersatzteilverfügbarkeit prägen das Servicegeschehen.



Wegwerfmentalität geht zurück

Betrachtet man zunächst Kundenwünsche und Kaufentscheidungskriterien, unzweifelhaft stärkste Kraft im Markt und wesentlich einflussreicher als gesetzliche Vorgaben und (oft nur vermeintliche) technische Sachzwänge, so wird bei einem wachsenden Kundenkreis (spätestens nach den ersten kostspieligen „ex- und hopp“-Erlebnissen mit High-Tech Produkten) ein glaubhaftes Reparatur- und Serviceangebot zu einem zentralen Bestandteil des Qualitäts- und Kostenbewusstseins bei der Kaufentscheidung. Betrachtet man darüber hinaus die gesetzlich initiierte Verlängerung der Garantiezeit von einem auf zwei Jahre, in denen der Produkthanbieter Reparaturen nicht nur durchführen können, sondern auch bezahlen muss, so entsteht hier ebenfalls ein zusätzlicher (verdoppelter) Bedarf an realistischen Servicetechnologien. Schlussendlich ist auch das Wegwerfen (mit neu in Kraft tretenden Recyclingpflichten der Hersteller) inzwischen keine kostengünstige Alternative zum Reparieren mehr.

Schlüsseltechnologie „Remanufacturing“ – zu deutsch: Refabrikation

Remanufacturing ist die industrielle Aufarbeitung von Produkten in Serie statt der individuellen handwerklichen Einzelinstandsetzung. Dieses Grundprinzip des Remanufacturing – mit den fünf Fertigungsschritten Demontage, Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung, Wiedermontage – ist

doch – morgen

Abbildung 5: Von den FAN-Lehrstühlen UP und MRT entwickelter Prüfstand für Remanufacturinguntersuchungen von mechatronischen Kfz-Servolenkungen.

schnell vermittelt.

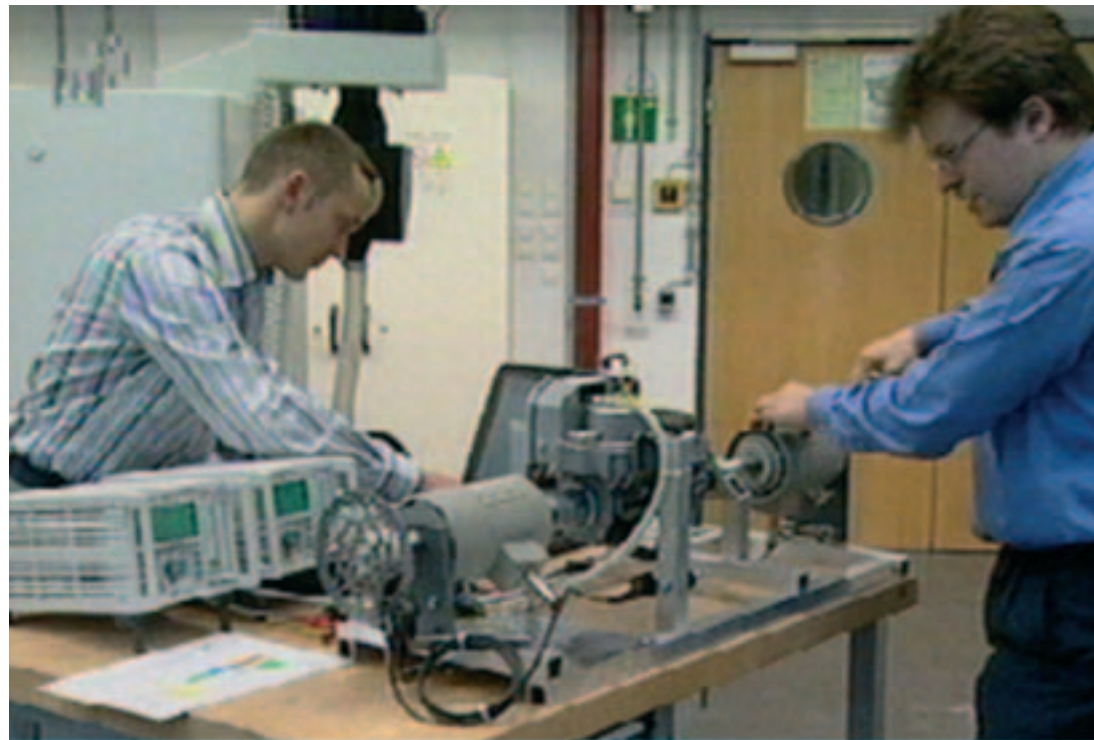
Dennoch erstaunt es immer wieder, wie wenig über die signifikanten Kosten- und Wettbewerbsvorteile dieser Schlüsseltechnologie im Service der Zukunft in den relevanten Entscheidungsgremien der Unternehmen bekannt ist – sonst würden die Anwendungen wohl schon mit fünfzig statt „nur“ mit fünfzehn Prozent jährlich wachsen.

Einerseits bringt das serielle Fertigen von Austauschprodukten oder -komponenten wettbewerbsentscheidende Lohnkostensenkungen im Service. Andererseits sind nach dem Motto „aus alt mach neu“ gefertigte Austauschteile nicht nur kostengünstiger, sondern immer öfter die einzigen überhaupt verfügbar zu machenden Ersatzteile im Servicefall eines Produkts:

Vier Ersatzteilversorgungsstrategien

Die Ersatzteilversorgung wird in Zeiten kurzer Produktionslaufzeiten und langer Produktlebensdauern ein zunehmend spannenderes bzw. anspruchsvolleres Thema. Neuwertige bzw. seriengleiche Ersatzteile für Produkte ausgelagerter Produktionsserien lassen sich prinzipiell auf vier unterschiedlichen Wegen / Philosophien bereitstellen:

- durch Produktion (und Langzeitbevorratung) eines prognostizierten Stückzahlbedarfes bei Serienauslauf
- durch zyklisch angefahrte Produktion (auf den dazu weiter vorzuhaltenden Serienproduktionsanlagen) entsprechend dem nachfolgenden Bedarf



- durch flexible Nachproduktion (auf anderen / flexibleren als den früheren Serienproduktionsanlagen, soweit möglich) entsprechend dem Bedarf
- durch Remanufacturing / Refabrikation von aus dem Feld zurückkommenden Gebrauchtteilen /-baugruppen zu neuwertigen Austauschteilen /-baugruppen (ohne die Notwendigkeit der Verfügbarkeit ursprünglicher Produktionsanlagen)

Im Zuge kürzerer Produktionszyklen und häufigerem Wechsel der Neuproduktionsanlagen (teilweise be-

reits im Laufe einer mehrjährigen Produktionsserie, z.B. für Elektronikbauteile) gewinnt die letztgenannte Philosophie derzeit zunehmend an Gewicht bzw. Bedeutung und Anteil. In zunehmendem Maße lassen sich viele Ersatzteile nach Serienauslauf nur noch im Remanufacturing-Prinzip zu marktgerechten Preisen bereitstellen. Inzwischen trifft man erfolgreiche Remanufacturingunternehmen und wachsende Märkte für Recyclingprodukte bzw. Austauschteile nicht nur im Automobilssektor, dem Wegbereiter und stärksten Segment des Remanufacturing, (mit einem Marktvolumen von derzeit 40 Milliarden

Reparieren lohnt sich doch – Servicetechnologien für morgen



Abbildung 2: Jährlich verlassen über 10 Millionen Austauschlichtmaschinen und Anlasser Remanufacturingbetriebe in aller Welt.

Euro jährlich) sondern auch in zahlreichen anderen elektronischen, elektrischen und elektronischen Anwendungen an.

Technologische Herausforderungen: Reinigung und Diagnose

Die Abfolge der fünf Fertigungsschritte des Remanufacturing (Demontage / Reinigung / Prüfung / Teileaufarbeitung / Montage) ist für mechanische, hydraulische und elektrische Produkte (Motoren, Pumpen, Lenkungen, Getriebe, Anlasser, Lichtmaschinen, etc.) eher verallgemeinerbar als für die mechatronischen / elektronischen, zum Teil auch bereits hybriden Produkte der nahen Zukunft. Dies gilt bereits für den ersten Schritt, die Demontage. Sie wird nicht wie

üblich vollständig „bis zur letzten Schraube“ erfolgen, wenn z.B. die Funktionalität dreischichtiger elek-

tronischer Leiterplatten in Frage steht. Auch die nachfolgenden Reinigungstechnologien durchlaufen einen



Abbildung 3: 3D-Koordinatenmesstechnik zur Qualitätssicherung im Remanufacturing.

signifikanten Wandel – nach der (inzwischen größtenteils bewältigten) Umweltrelevanz von Reinigungsprozessen, Reinigungsmedien und freigesetzten gelösten Verschmutzungen steht als nächstes die Entwicklung sehr produkt- und werkstoffspezifischer Reinigungstechnologien an, die der Verschmutzung Herr werden, ohne die Oberfläche oder Festigkeitseigenschaften der Bauteile anzugreifen. Mindestens ebenso große Herausforderungen warten im Bereich Prüfung auf deren Wiederverwendungsfähigkeit: Die Kontrolle geometrischer und elektrischer Kennwerte, hinreichend für das Spektrum klassischer Remanufacturingprodukte, stößt an ihre Grenzen, wenn größere Elektronik-Funktionsumfänge das Produkt dominieren. Kaum eine Baugruppe im Kraftfahrzeug kommt heute ohne Steuerelektronik aus. Für den Aufarbeiter von Motoren, (Automatik-) Getrieben, Bremskomponenten (ABS!), geschwindigkeitsabhängigen Servolenkungen u.v.m. wird der Zugriff auf technische Informationen nicht nur zur mechanischen Hardware, sondern auch zur elektronischen Hard- und Software, erfolgsbestimmend bzw. überlebensnotwendig. Hierbei ist es die minderschwerige Situation, wenn die elektronische Steuerung mit der Austauschkomponente eine gemeinsame Baugruppe bzw. Einheit bildet ist - hier hilft sich mancher Aufarbeiter, so gut es geht, durch eigenes elektronisches „Reverse Engineering“ aus mancher Informationslücke heraus. Schwieriger bzw. unlösbar wird diese Aufgabe,

wenn die aufzuarbeitende Austauschkomponente mit einer Bordelektronik des Kraftfahrzeuges kommuniziert, die anderswo im Fahrzeug beheimatet ist bzw. gar kein Bestandteil des Altprodukts ist.

Hier muss man die hin- und hergehenden Informationsgehalte kennen, um die Komponente auf Funktionstüchtigkeit zu testen. Dies erfordert zwingend den Zugang zu den Informationen und Spezifikationen des Automobil- bzw. Teileoriginalherstellers.

In diesem Zusammenhang verdient die aktuelle intensive Diskussion um die europäische „Block Exemption“, zu deutsch „GVO“ (Gruppenfreistellungsverordnung“) Erwähnung, die eine Liberalisierung und Stärkung des Wettbewerbs bzw. der Freiheiten im „Automotive Aftermarket“ zum Ziel hat.

Eine der vier Säulen der GVO ist ausdrücklich der „freie Zugang zu Service-Daten“ für alle Marktteilnehmer.

Ein Entwicklungsnetzwerk entsteht

Ob verschiedene Produkt- und Anwendungsbereiche, sehr unterschiedliche Marktteilnehmer, benachbarte Technologien, geographisch weit

auseinander liegende Regionen – sie alle werden näher zusammenrücken (müssen), um eine weitere Aufwärtsentwicklung und Synergieeffekte innerhalb des weiten Feldes des Remanufacturing zu erzielen.

Remanufacturing erfordert ein besonderes intelligentes Zusammenspiel von Technologie-Know-how, Logistikdienstleistungen und Informationsinfrastruktur. Hier kann der hierzulande ansässige umfassende Systemanbieter durchaus die Nähe sowohl zum Entwicklungsstandort von Produkt und Prozess als auch zu einem großen Markt als Stärke nutzen. An der Fakultät für angewandte Naturwissenschaften der Universität Bayreuth entsteht im Jahr der Technik unter Federführung des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik das European Remanufacturing Technology Center, also ein Europäisches Technologiezentrum Refabrikation, das gemeinsam mit internationalen Entwicklungspartnern auf drei Kontinenten ein Kompetenz-Angebot für die Produkt- und Prozessseite des Remanufacturing bereitstellt und zu spezifischen Fragestellungen, wie sie einige der Illustrationen dieses Beitrags vorstellen, vertiefende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten betreibt. ■

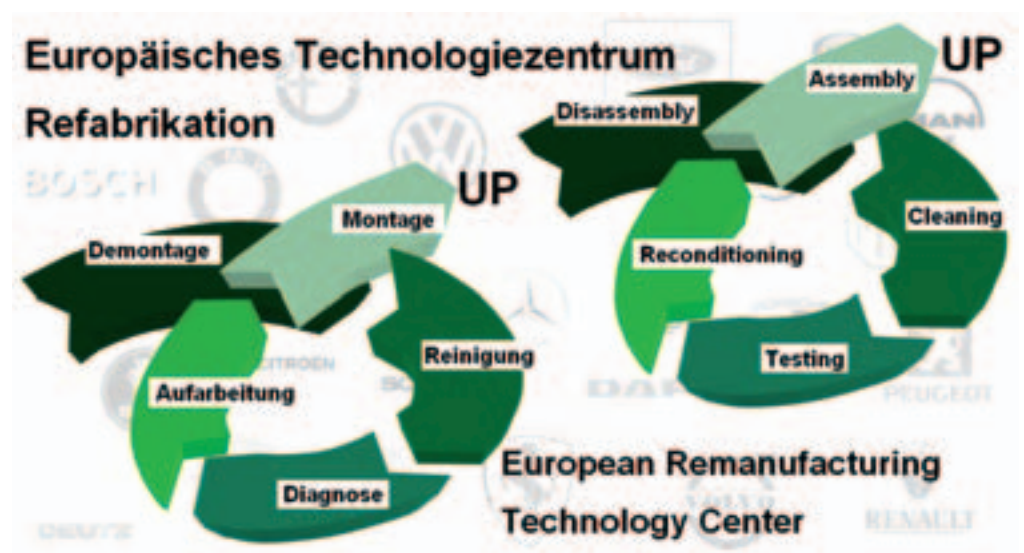


Abbildung 4: „UP“ wie Umweltgerechte Produktionstechnik. Im Jahr der Technik entsteht an der FAN ein neues Technologiezentrum.

Fahren und Fliegen mit

ODER Lassen sich Leichtbau und



Die Autoren (v.l.n.r.): Altstädt, Glatzel und Krenkel.

Jedes bewegte System, ob Mensch, Fahrrad, Motorrad, Auto, ICE oder Flugzeug, muss beschleunigt und abgebremst werden. Beim Beschleunigen wird kinetische Energie in das System hineingepumpt. Die kinetische Energie E_{kin} hängt von dem Gewicht, genauer gesagt der Masse m des Systems, und der Geschwindigkeit v , auf die es beschleunigt wird, ab:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Beim Abbremsen wird diese Energie wieder an die Umgebung abgegeben, meist in Form von Wärme (z.B. an Bremsbeläge und -scheiben). Wird die Masse des Fahrzeugs herabgesetzt, lässt sich Energie (beim Auto Benzin oder Diesel, beim Mensch und dem vom Menschen angetriebenen Fahrrad, Kalorien) sparen. Je nach Fahrweise hängt der Kraftstoffverbrauch mit 50% bis 70% von der Masse des Fahrzeugs ab. Durch eine Reduktion der Masse um 100 kg lassen sich ca. 0,3 bis 0,5 l Sprit pro 100 km einsparen.

Beim Flugzeug kommt ein weiterer Aspekt hinzu: Eine höhere Masse benötigt einen größeren Auftrieb um fliegen zu können. Für einen größeren Auftrieb muss die Form der Flügel verändert werden, was zu einem höheren Luftwiderstand führt, wodurch wiederum mehr Treibstoff verbraucht wird. Somit ist hier der Druck, das Gesamtgewicht zu senken, deutlich größer als beim Automobil. Betrachtet man die Flugturbine,

welche mit bis zu 30.000 Umdrehungen pro Minute für Vorschub sorgt, kann hier ebenfalls Sprit gespart werden, wenn die Temperatur in der Brennkammer (zurzeit ca. 1.100°C) gesteigert wird. Auch hier spielt die Masse der Turbinenschaufeln eine Rolle, da die Belastung über die hohen Zentrifugalkräfte mit der Masse der Turbinenschaufel zusammenhängt. Es entstehen Spannungen im Material, die einer Tonne, aufgehängt an einer Fläche von 1 cm², entsprechen.

Die verschiedenen Materialien aus den Werkstoffgruppen Polymer, Keramik und Metall lassen sich durch eine Vielzahl von Parametern charakterisieren. Einige wichtige Materialparameter sind in der Tabelle rechts unten aufgelistet.

Hinzu kommen eine Vielzahl weiterer Materialeigenschaften, wie z.B. Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit sowie das Verhalten bei Wechselbeanspruchung. Der Ma-

terialwissenschaftler muss somit seinen Werkstoff in einem mehrdimensionalen Parameterfeld optimieren. Der Werkstoff der Wahl hängt stark von dem Anforderungsprofil und nicht zuletzt vom Kostendruck, der in der Automobilindustrie sehr viel höher liegt als im Flugzeugbau, ab. Das folgende Diagramm zeigt die so genannte Reißlänge als Funktion der Temperatur für verschiedene Materialien. Die Reißlänge ergibt sich aus der maximalen Länge, die ein Material erreichen kann, bevor es reißt. Dabei ist die Reißlänge proportional zum Quotienten aus Bruchfestigkeit und Dichte. (Diagramm 1)

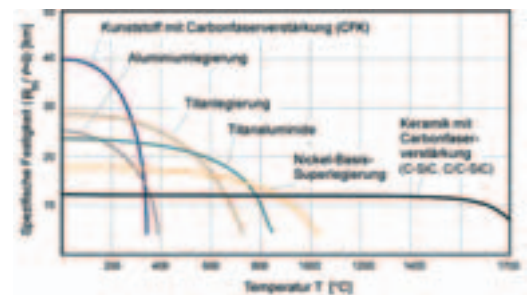


Diagramm 1: Reißlänge verschiedener Werkstoffe als Funktion der Temperatur

Materialeigenschaft	Definition	Einheit
Dichte	Masse/Volumen	kg/cm ³
Steifigkeit oder besser Elastizitätsmodul	Kraft/Fläche	N/mm ² = MPa
Streckgrenze	Kraft/Fläche ab wann eine plastische Verformung erfolgt	N/mm ² = MPa
Bruchfestigkeit	Kraft/Fläche wann der Bruch erfolgt	N/mm ² = MPa
Bruchdehnung oder Duktilität oder Verformbarkeit	inwieweit der Werkstoff verformt werden kann bevor der Bruch erfolgt	Längenänderung, ohne Einheit, bzw. %
Schmelz- oder Erweichungstemperatur	Temperatur ab der der Werkstoff keine nennenswerte Festigkeit besitzt	°C oder K
Preis zur Herstellung des entsprechenden Bauteils		€ oder \$

Volker Altstädt (Polymere Werkstoffe),
Uwe Glatzel (Metallische Werkstoffe),
Walter Krenkel (Keramische Werkstoffe)

neuen Werkstoffen

hohe Temperaturen koppeln?



Abbildung 1: Smart mit Kunststoffpaneelen.

Die Vorteile der jeweiligen Werkstoffgruppen sind im Wesentlichen, dass Polymere sehr kostengünstig herzustellen und zudem sehr leicht sind. Metalle haben ihre Vorteile in der Kombination von hoher Festigkeit, Duktilität und Einsatztemperaturen bis 600°C (warmfeste Stähle), bzw. bis 1100°C (Nickelbasissuperlegierungen).

Keramische Werkstoffe haben eine geringe Dichte und hohe Festigkeit, darüberhinaus sind Einsatztemperaturen bis 1600°C möglich.

Kraftfahrzeug

Polymere Werkstoffe werden immer häufiger im Kraftfahrzeug verbaut. Während Anfang der 70er Jahre der Anteil der Fahrzeugmasse durchschnittlich nur 5% betrug, liegt er bei neuen Fahrzeugen bei 15% und mehr. Prinzipiell werden aufgrund der kostengünstigen Herstellung mit der Möglichkeit der komplexen Bauteilformung bei gleichzeitig geringer Dichte viele Bauteile aus Kunststoffen erstellt, falls keine erhöhten Anforderungen an die Festigkeit gestellt werden. Aus einem geringen Fahr-

zeuggewicht folgt nicht nur ein sehr gutes Leistungsgewicht und damit auch gute Fahreigenschaften, sondern auch ein niedriger Kraftstoffverbrauch und damit ein reduzierter Schadstoffausstrag. Kunststoffe besitzen neben ihrem geringen Gewicht (etwa siebenmal leichter als Stahl) eine Summe

von weiteren Vorteilen. Beispielsweise ist die Verarbeitung von Kunststoffen bei relativ niedrigen Temperaturen möglich.

Ein Meilenstein im Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau ist der Smart. Seine Karosserieteile (Body Panels) können vollständig recycelt werden. Das Material der Body Panels ist sehr flexibel, wodurch viele geringfügige Reparaturen entfallen können und eine Einstufung in niedrige Schadensklassen durch die Versicherungen ermöglicht wird. Falls aber doch eine Reparatur notwendig sein sollte, kann mit geringem Montageaufwand ein Body Panel ausgetauscht werden. (Abb. 1) Häufig werden Kunststoffe in Sandwich-Bauweise eingesetzt, wie es beispielsweise beim Stoßstangenmodul der Fall ist. Bei dieser Leichtbaukonstruktion werden EPP-Kerne, verwandt dem von Verpackungen bekannten Styropor, mit ihren guten Dämpfungseigenschaften im Verbund mit kompakten Polymeren verwendet. (Abb. 2)



Abbildung 3: Aluminium-Dach verbunden mit Stahl-Kotflügel, Demonstratorbauteil für den AUDI TT.

Ebenso wird in zunehmendem Maße der Einsatz von Leichtmetallen vorangetrieben. Ein Beispiel ist die Verwendung von Aluminium als Karosseriewerkstoff. Für diesen Einsatz müssen neue Fügetechniken entwickelt werden, um Aluminium mit Stahl verbinden zu können. Auf diese Forschungstätigkeiten wird in diesem Heft bei der Vorstellung des Lehrstuhls „Metallische Werkstoffe“ (Seite 32) näher eingegangen. Die Abbildung zeigt ein Demonstratorbauteil eines aus Aluminium gefertigten Dachs, verbunden mit einem Kotflügel aus Stahl, für den AUDI TT, welches am Lehrstuhl mittels eines Laserstrahlschweiß-Löt-Verfahrens stoffschlüssig verbunden wurde. (Abb. 3)



Abbildung 2: Stoßstange in Kunststoff-Sandwich-Bauweise.

Fahren und Fliegen mit neuen Werkstoffen



Abbildung 4: Keramische Brems-scheiben wie sie im Höchstpreissegment angeboten werden.

duziert und nur der zunehmende Anteil an Dieselmotoren sorgt dafür, dass dieser Markt nicht weiter wächst. In heutigen Fahrzeugen werden jedoch auch andere Komponenten aus keramischen Werkstoffen eingesetzt: Sensoren, Abgasfilter und neuerdings auch Brems- und Kupplungsscheiben für den Hochleistungsbereich. Diese werden aus bruchzähen Faserkeramiken gefertigt, sind nahezu verschleißfrei, rosten nicht und bleiben selbst nach einer thermischen Überlastung ohne bleibenden Verzug. Aufgrund ihrer geringen Dichte von rund 2 g/cm^3 reduzieren sie die ungefederte Masse eines Fahrzeuges erheblich. Noch sind die Kosten dieses Weltraum-Materials sehr hoch. Bei einer Jahresproduktion von weltweit ca. 300 Mio. Brems-scheiben kann jedoch selbst dann, wenn man nur einen kleinen Marktanteil für die keramischen Scheiben zu Grunde legt, zukünftig von einer deutlichen Kostenreduktion ausgegangen werden. (Abb. 4)

Vor über hundert Jahren revolutionierte ein Produkt aus Keramik den Motorenbau: Zündkerzen trugen entscheidend dazu bei, dass die Autos das Laufen lernten. Heute werden allein von Bosch mehr als 350 Mio. Zündkerzen jährlich pro-

Flugzeugrumpf

Beim Flugzeugbau verlagern sich die Auswahlkriterien gegenüber dem Kraftfahrzeugbau: Gewicht und Sicherheit spielen eine enorm große Rolle, wohingegen der Kostendruck etwas geringer ist. Somit kommen hier verstärkt die hochfesten, glasfaserverstärkten Kunststoffe zum Einsatz. Ist deren Festigkeit nicht ausreichend, werden Aluminium- und Titanlegierungen verwendet. Stahl findet im Flugzeugbau nur noch sehr vereinzelt Anwendung.



Abbildungen 5: Innenraum und Modell des neuen Airbus A380. Großraumflugzeugs mit CFK Seiten- und Höhenleitwerk.

So ist es nicht verwunderlich, dass die Polymere von den Innenanwendungen, wie sie jeder Flugpassagier aus der Kabine kennt, verstärkt nach außen, in die Strukturbauteile drängen. Im neuen A 380 werden nicht nur Flügelkästen, Ladeluken und viele andere Teile, sondern auch das markante Seiten- und Höhenleitwerk aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, so genannte CFK, eingesetzt. Für die nächsten Flugzeuggenerationen soll ein kompletter CFK-Rumpf entwickelt werden.

Seit der Außerdienststellung der Concorde fliegen heutige zivile Flugzeuge zwar ausschließlich im Unterschallbereich, dennoch gibt es bereits Pläne für eine übernächste Flugzeuggeneration, die mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit unterwegs sein soll. Dann spielt die Temperaturfestigkeit der Werkstoffe eine entscheidende Rolle, da mit zunehmender Fluggeschwindigkeit die so genannte Staupunkttemperatur überproportional ansteigt. Diese beträgt beispielsweise bei Mach 3 bereits ca. 550°C und erfordert eine spezielle Werkstoffauswahl für die Flugzeugzelle. Noch höhere Geschwindigkeiten im Hyperschallbereich sind im militärischen Bereich und in der Raumfahrt geplant. Aktuelle Raumtransporter wie der Space Shuttle sind nichts anderes als Flugzeuge, die aufgrund der großen Hitzeentwicklung während des Wiedereintritts in die Erdatmosphäre mit keramischen Kacheln und Hitzeschutzschilden geschützt werden. Vollkeramische Flugzeuge oder Orbiter wird es zwar auch in Zukunft nicht geben, aber bereits heute spielen keramische Werkstoffe in besonders beanspruchten Bereichen des Flugzeugs eine wichtige Rolle. Alle militärischen wie auch zivilen Flugzeuge sind beispielsweise mit Brems-scheiben und Belägen aus faserverstärktem Kohlenstoff (Carbon/Carbon) ausgerüstet, die gegenüber herkömmlichen Metallbremsen bis zu 1000 kg Gewichtseinsparung ermöglichen bzw. die zu transportierende Nutzlast um bis zu 10 Passagiere erhöhen.

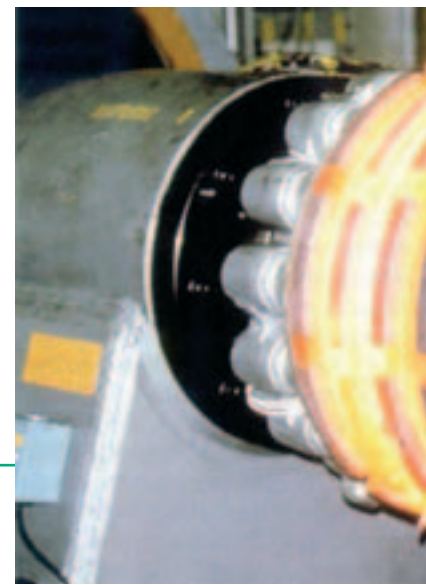


Abbildung 6: Flugzeug-Lamellen-Bremse aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff

Flugtriebwerk

Die Höhe der Eintrittstemperatur des Arbeitsgases in die Turbine hat einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad von Antriebssystemen. Je höher die zulässige Temperatur des Turbinenwerkstoffes, desto höher die Effizienz der Schubzeugung und desto geringer kann der Bedarf an leistungsmindernder Kühlluft sein. High-End metallische Legierungen werden für die Laufschaufeln direkt nach der Brennkammer in Flugturbinen verwendet. (abb. 8) Hier werden Materialien mit hoher Festigkeit (ca. 100 MPa) bei hohen Temperaturen (ca. 1100°C) benötigt. Es handelt sich um Nickelbasissuperlegierungen, bestehend aus Nickel mit Zusätzen von Aluminium, Chrom Cobalt, Titan, Tantal, Molybdän, Wolfram und Rhenium. Vom Lehrstuhl Metallische Werkstoffe wurde in Zusammenarbeit mit der Motoren und Turbinen Union (MTU) in München eine Legierung patentiert, die die geforderten Hochtemperatureigenschaften bei einer verringerten Dichte besitzt (Abb. 7). Zur Wirkungsgradsteigerung und Schadstoffminderung von Flugtriebwerken werden auf die Turbinenschaufeln und die Heißgasführungen keramische Wärmedämmschichten (Thermal Barrier Coatings, TBC) aufgebracht. Diese haben die Aufgabe, die meist zusätzlich gekühlten Metall-Schaufeln vor thermischer Überbeanspruchung zu schützen und erweitern damit die Einsatzgrenze der eingesetzten Superlegierungen auf bis zu 1200°C.



Abbildung 7: Einkristalline Turbinenschaufel, Wert ca. 3000,- €. Pro Laufrad kommen ca. 100-150 solcher Schaufeln zum Einsatz.

Weitere Steigerungen der Turbineneintrittstemperatur sind mit vollkeramischen Komponenten möglich. (Abb. 9) Wegen der inhärenten Sprödigkeit der Keramiken kommen hierzu nur faserverstärkte Keramiken in Frage, deren Schadenstoleranz etwa eine Größenordnung über der von monolithischen Keramiken liegt. Im Gegensatz zu den „schwarzen“, mit Kohlenstofffasern verstärkten

Keramiken der Bremsen und Hitzeschutzkacheln bestehen diese CMC-Werkstoffe aus oxidischen Fasern und Matrices, um den oxidativen und korrosiven Bedingungen innerhalb einer Turbine Stand halten zu können. Allerdings besteht noch erheblicher Forschungsbedarf bis eine keramische Turbine einsatzreif vorliegt, da die heutigen Faserwerkstoffe die TBC-geschützten Metalllegierungen in ihrer thermischen Beständigkeit noch nicht übertreffen. Aufgrund ihrer wesentlich geringeren Dichte von etwa 4 g/cm³ liegt in keramischen Materialien jedoch auch in der Antriebstechnik ein erhebliches Leichtbaupotenzial. ■

Abbildung 8: Moderne Flugturbinen nach heutigem Stand der Technik. Verschiedene Farben geben die verwendeten Werkstoffe dar.

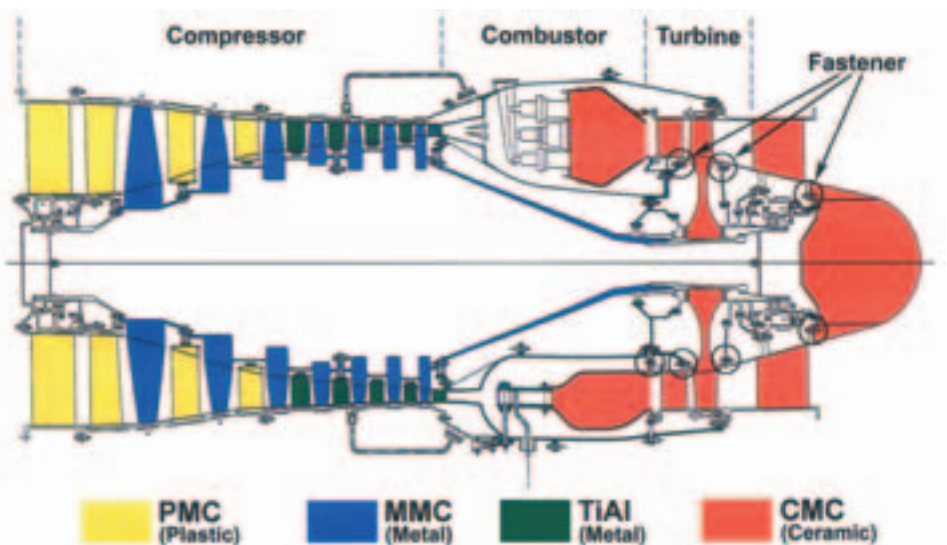
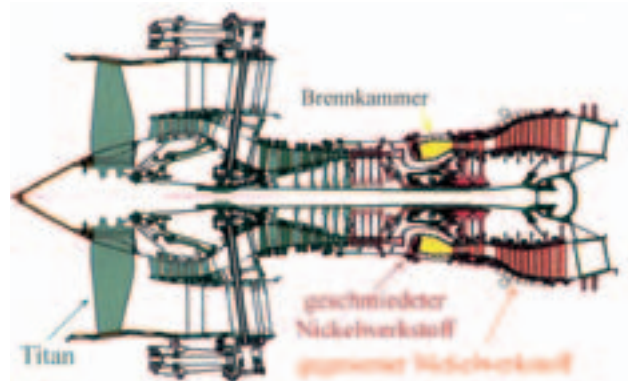


Abbildung 9: Materialeinsatz in einem Triebwerk der Zukunft.



Kalte Strahlung für heiße Prozesse – Industrieller Einsatz von Mikrowellen



Bild 1 (unten):
Eindringtiefe von
Mikrowellen in
unterschiedliche
Materialien,
berechnet aus DK-
Werten, die bei
20°C für 2,45 GHz
bei niedriger elek-
trischer Feldstärke
gemessen wurden

Als Mikrowellen bezeichnet man elektromagnetische Strahlung aus dem Frequenzbereich 300 MHz bis 300 GHz, die im Vakuum eine Wellenlänge von ca. 1 m bis 1 mm aufweist und sehr „kalt“ ist, mit einem Energieinhalt von wenigen mikro-Elektronenvolt (μeV) im Vergleich zum Energieinhalt von ca. 0,5 eV bei sichtbarer Strahlung, die beispielsweise Pflanzen für die Photosynthese nutzen. Die Intensität vom Mikrowellen im natürlichen Sonnenspektrum ist verschwindend gering, bekannt ist aber die „Mikrowellen-Hintergrundstrahlung“, die den kalten, interstellaren Raum erfüllt und als „Nachhall“ des Urknalls interpretiert wird.

Methoden zur Erzeugung und Leitung dieser Strahlung sind vor allem in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts für militärische Zwecke wichtig gewesen, im Zusammenhang mit der Einführung der Radartechnik (Radio Detection And Ranging) zur Überwachung des Flugverkehrs. Hierbei war die nachrichtenübertragende

Mikrowellen sind seit der Entwicklung des entsprechenden Küchen-Herdes und seit Verbreitung der Mobilfunks den meisten Menschen ein Begriff. Die Bedeutung dieser hochfrequenten Strahlung in der Technik, hier vor allem bei Produktionsprozessen der Werkstoffindustrie, ist bisher weniger bekannt. Der Beitrag erläutert anhand aktueller Beispiele die Potentiale und Risiken dieser Technik im industriellen Einsatz.

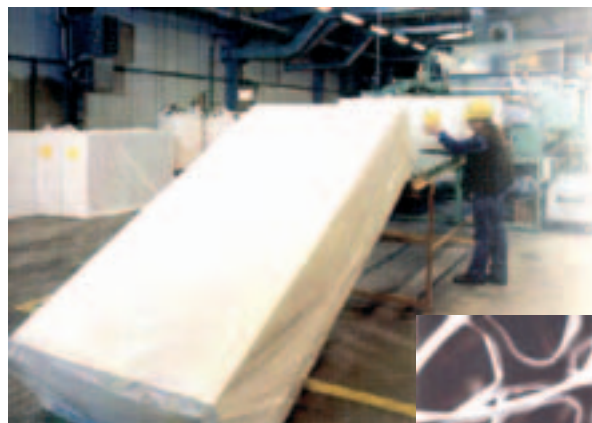
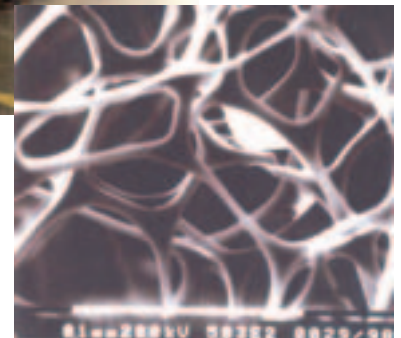
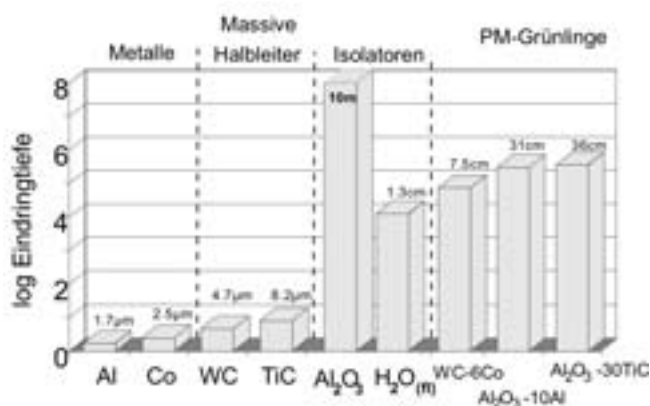


Bild 2:
Offenzelliger Mela-
minharzschäum
mittels Mikrowellen-
heizung eines
Monomergemisches
hergestellt
(Basotect®,
Produktprospekt der
Fa. BASF, Ludwigs-
hafen, 1998).



Wirkung der Mikrowellenstrahlung durch Reflexion der elektromagnetischen Wellen an großen metallischen Strukturen und der Transport dieser reflektierten Wellen über große Entfernungen in Luft für die Anwendung entscheidend. Das tiefere Verständnis der Wechselwirkung, die Mikrowellen auch mit sehr kleinen Objekten, beispielsweise Materialbausteinen in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern, führte in den Jahren nach Ende des 2. Weltkrieges zu so unterschiedlichen „Erfindungen“, wie der eines bestimmtem Oberflächenanstrichs, der den „Tarnkappenbomber“ für das RADAR-System unsichtbar macht, der „Küchen-Mikrowelle“, die eine schnelle Erwärmung wasserhaltiger Lebensmittel ermöglicht oder der Mikrowellen-

Plasmabeschichtung, mit deren Hilfe heutzutage Millionen Kaltlicht-reflektorlampen und Photovoltaik-Module mit optisch funktionalen Oxiden oder Nitriden beschichtet oder aber Werkzeuge mit harten Schichten aus Carbiden oder Diamant veredelt werden. Diese Bereiche haben keinen direkten Bezug zur Nachrichtentechnik mehr, könnten aber im Prinzip die Nachrichtenübertragung stören, so dass immer sichergestellt ist, dass keine „Leckstrahlung“ aus solchen Anlagen emittiert wird.



Gemessen an der installierten Anschlussleistung finden Mikrowellen der Frequenz 2,45 GHz und darunter (915 bzw. 435 MHz) die bisher breiteste Anwendung, denn es sind nur einige Frequenzen als sogenannte ISM-Frequenzen (Industrial-, Scientific-, Medical-use) für Industrieanlagen zugelassen. Über 90% der weltweit bestehenden Anschlussleistung wird derzeit im Haushaltsbereich (>100 Millionen „Küchenmikrowellen“ weltweit) sowie in der Lebensmittel- und Holzindustrie zum Garen, Trocknen, Pasteurisieren und Auftauen genutzt. Mikrowellen mit Frequenzen von >100 GHz sind ein „Schlüssel“ zur Entwicklung von Fusionsplasma-Reaktoren, für eine zukünftige sichere Energieversorgung der Menschheit.

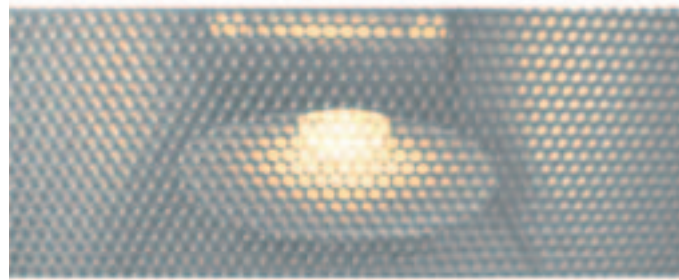
Die Spannweite der Anwendungen zeigt bereits, dass die Entwicklung von Prozessen, die auf dieser „kalten“ Strahlung beruhen ein recht interdisziplinäres Unterfangen darstellt. Von der Nachrichten- bis zur Plasmatechnologie sind Kenntnisse gefragt, um die Anlagen zu konzipieren, und von der Werkstoffwissenschaft bis zur Chemischen Verfahrenstechnik reichen die Prozesse, die mittels Mikrowellen verbessert oder erst überhaupt möglich gemacht werden. Bedeutend ist dabei die stoffspezifische Wechselwirkung von Mikrowellen mit Materie, die zu einer hohen Eindringtiefe in bestimmte, wenig absorbierende Stoffe und zu einer sehr

geringen Eindringtiefe in andere Materialien führt, die sehr gut Mikrowellen absorbieren, wie in Bild 1 gezeigt.

Die Vulkanisation von Gummi, die Aushärtung von Kunststoffen und die Herstellung von Polymerschäumen sind Beispiele für Mittel-Temperaturprozesse von <400 °C, bei denen Mikrowellen eingesetzt werden. Die Grundstoffe sind weitgehend transparent für Mikrowellen, so dass die Strahlung sehr weit in das Innere eines Bauteils eindringen kann. Die sogenannte „Volumenheizung“ wird durch eine bestimmte Menge feinverteilter „Mikrowellen-Absorber“, wie fester Kohlepartikel, Wasser oder Alkoholtropfen in den Grundstoffen ermöglicht. Damit gelingt eine sehr schnelle und gleichmäßige Erwärmung, die überall im Bauteil zur gleichen Zeit die Vernetzungsreaktion (Gummi) oder die Schäumung (Bild 2, geräuschkämmender Melaminharzschäum, Basotectâ) bewirkt. Auf dieser Art Heizung beruht auch das schnelle Erwärmen wasserhaltiger Lebensmittel in der Küchen-Mikrowelle.

Die mittels Mikrowellen Absorption erreichbaren maximalen Temperaturen können auch über 1000 °C liegen, wie im Bild 3 am Beispiel von Glaserwärmung bis zur Schmelze gezeigt. Noch höhere Temperaturen können bei Hartmetallen (1500 °C) oder Carbidgekeramik (2100 °C) durch direkte Absorption von Mikrowellen erreicht werden. Derzeit erfolgt in einer Zusammenarbeit der NM Bayreuth GmbH mit dem LS für Werkstoffverarbeitung und einigen Firmen die Inbetriebnahme eines gemeinsam entwickelten Hybridsinterofens, der Keramik und Metalle ausgehend von gepressten Pulvern bei Temperaturen von bis zu 2000 °C sintern kann. Durch Einsatz von Mikrowellen kann die erforderliche Zeit und Temperatur für die Verdichtung des Materials in der Regel verringert werden. Die Korngröße der Keramik kann dadurch klein bleiben und zusätzlich zur Verdichtung kann auch eine Plasmabeschichtung

Selektive Mikrowellenabsorption heizt nur das Glas auf!



Wiedererwärmte Farbläser

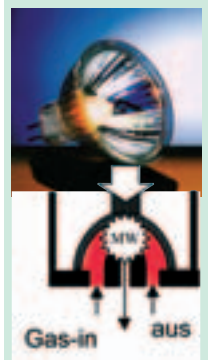
im gleichen Aggregat bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden. In Japan erfolgt derzeit die industrielle Erprobung der Mikrowellensinterung sehr großer keramischer Bauteile, wie in Bild 4 gezeigt. Der Temperatur sind keine Grenzen gesetzt, wenn ein sogenanntes „Plasma“ durch Absorption von Mikrowellen erzeugt wird. Das Plasma ist ein ionisiertes Gas, das sehr energiereiche aktivierende Elektronen und „langsamere“ Ionen enthält (dann ist es ein „nichtthermisches“ Plasma). Die Aktivierung durch Elektronen ermöglicht die Beschichtung von Glaskörpern oder Polymeren mit keramischen Schichten bei niedrigen Temperaturen, wie in Bild 5 für den PI-CVD Prozess, Plasma Impuls Chemical Vapour Deposition, gezeigt, mit dem Kaltlichtreflektor-Lampen aber auch Getränkeflaschen aus Polymeren von innen mit Keramik beschichtet werden. Die Beispiele zeigen, wie über mehrere Größenskalen optimale Prozessbedingungen der Werkstoffverarbeitung mittels Mikrowelleneinsatz industriell erreichbar sind. Trotz der „festen“ Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung eröffnet deren Einsatz ein großes Feld für Werkstoffverarbeitung im Sinne eines Multi-scale Materials Engineering für alle Stoffklassen. ■

Bild 3: Mikrowellenerwärmung von Silikatglas bis zur Schmelztemperatur



Bild 4: Al₂O₃-Keramikbauteile in einem kontinuierlichen Mikrowellenofen gesintert (M. Sato et al. vorgestellt in Loughborough, UK, 2003)

Bild 5: Kaltlichtreflektorkörper mit mehrlagiger nm-dünner TiO₂-Beschichtung aus einem PI-CVD-Prozess. Jährlich werden 40 Mio Teile produziert in mehreren Einzelstation-Produktionslinien (DI T. Küpper, Schott-Spezialglas, 2003).



Technik im menschlichen

Moderner Dreikampf: Medizin, Biomaterialforschung am Friedrich-Baur -

Im Mittelalter betrug die Lebenserwartung der Menschen ca. 35, am Ende des 19. Jahrhunderts ca. 45 Jahre. Neuere Prognosen sagen für heute Neugeborene eine Lebenserwartung von 95 bis 100 Jahren voraus. Worauf ist dies zurückzuführen? Obwohl diese Frage auch heute noch nicht eindeutig zu beantworten ist, ist sicher, dass die großen Fortschritte in Medizin, Naturwissenschaften und Technik dazu beigetragen haben. Die Bedeutung der Technik wird in diesem Beitrag am Beispiel der Entwicklung von Biomaterialien für Implantate dargestellt.

Von der medizinischen Seite wurde in den letzten Jahren in verstärktem Maße erkannt, wie wichtig neuartige Materialien sind, um die erhöhten medizinischen Anforderungen zu erfüllen. Dazu zählen gute mechanische Eigenschaften, spezielle physikalische und chemische Charakteristika sowie die Einstellung einer kontrollierten Porenmorphologie, Oberflächentopographie bzw. von Oberflächenfunktionen. Beim Einbau dieser so genannten Biomaterialien in den menschlichen Körper kommen vor allem die Bioverträglichkeit, die Biodegradation und die Biofunktionalisierung hinzu. Bis zum Einsatz dieser Materialien ist es notwendig, die gesamte Prozesskette von der Entwicklung und Verarbeitung neuer Materialien mit modernen Formgebungsverfahren, dem Verständnis der Wechselwirkung Material/Biosystem über das Materialdesign bis hin zu speziellen Fertigungstechniken zur Herstellung von Implantaten oder medizinischen Produkten zu bearbeiten. Dabei spielen die Aspekte Near-Net-Shape-Herstellung und Kostenreduzierung eine wichtige Rolle.

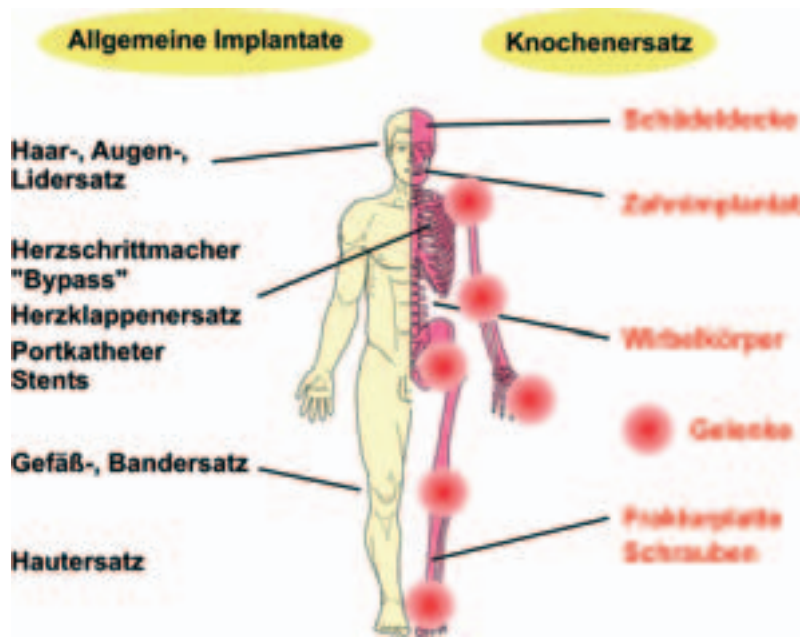


Abb. 1: Schematische Darstellung aktuell klinisch eingesetzter Implantate.

Biomaterialien und Biokomponenten gewinnen immer mehr an Bedeutung. Der Weltmarkt der Medizintechnik liegt derzeit bei 75 Milliarden US-Dollar, 14% davon entfallen auf Biomaterialien, Geräte für Diagnostik und bildgebende Verfahren. In den nächsten Jahren wird mit einem starken Wachstum gerechnet. Der Einsatz von Biomaterialien und Biokomponenten ist außerordentlich vielfältig (Abb.1).

Hauptanwendungsgebiete sind

- Implantate im Bereich des Bewegungsapparats (Gelenkprothesen, Knochenimplantate)
- Implantate im Kiefer- und Dentalbereich
- Implantate für kardiovaskuläre Anwendungen
- Implantate für den Bandscheibenersatz
- kontrollierte therapeutische Systeme, z.B. Dosiersysteme für

die optimale Langzeitabgabe von Wirkstoffen und Arzneien

- mit speziellen Diagnoseverfahren kompatible chirurgische Instrumente sowie
- künstliche Organe und Hautersatz.

Dabei unterscheidet man temporäre oder permanente Implantate. Temporäre Implantate haben die Aufgabe, funktionsunfähig gewordene Abschnitte des Bewegungsapparats zeitweise zu ersetzen bzw. im Verbund mit vorhandenen Strukturen die Wiederherstellung einer Funktion solange zu unterstützen, bis die ursprüngliche Funktion von den körpereigenen Geweben wieder voll übernommen werden kann. Nach Erfüllen dieser Aufgabe wird das Implantat im allgemeinen wieder entfernt. Beispiele für temporäre Applikationen sind Osteosyntheseimplantate zum Verbinden von frakturierten Knochen. Würde es gelingen,

Körper

Naturwissenschaften, Technik – Forschungsinstitut für Biomaterialien

durch Entwicklung neuartiger Biomaterialien die 2. Operation zu vermeiden, so wäre dies ein ungeheurer Fortschritt.

Permanente Implantate haben die Aufgabe, die Gesamtfunktion eines Abschnitts des Bewegungsapparats zu übernehmen, insbesondere der Gelenkanteile. Beispiele hierfür sind die verschiedenen Arten von Gelenkersatz (u. a. Hüft- und Kniegelenk). Bei der Beanspruchung gelten ähnliche Kriterien wie bei den temporären Implantaten, zusätzlich werden jedoch die Gelenkprothesen auch verschleißbeansprucht, weshalb die Oberfläche zusätzliche Anforderungen zu erfüllen hat.

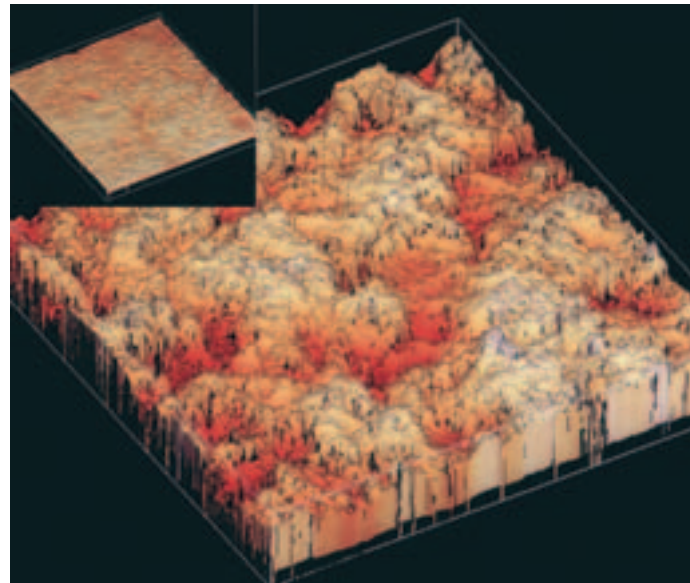
Daraus ergibt sich, dass ein sehr großer Bedarf an Materialien mit geeigneten maßgeschneiderten oder neuartigen Eigenschaften für diese verschiedenartigen Anwendungen im Kontakt mit unterschiedlichem Körpergewebe besteht. Notwendig sind Materialien mit verbesserter Biokompatibilität (Verträglichkeit mit lebenden Geweben, z.B. Knochen, Weichgewebe, Blut) häufig in Kombination mit anwendungsspezifischen Eigenschaften. Bei permanenten Implantaten werden darüber hinaus Langzeitstabilität auch im Körperkontakt und geringe Wechselwirkung mit Diagnoseverfahren (z.B. Röntgen, Computertomographie, Kernspinresonanz) gefordert. Bei der Entwicklung temporärer Implantate ist neben der Bioverträglichkeit und den mechanischen Eigenschaften eine gezielt einstellbare Resorption erforderlich.

Zur Erfüllung der vielseitigen Aufgaben durch den Werkstoff spielt die Funktionalisierung der Oberflächen

von Biomaterialien und Biokomponenten eine immer größere Rolle, um störende Substrateigenschaften zu maskieren und eine Verträglichkeit im lebenden Organismus zu gewährleisten bzw. zu fördern. Bei diesen so genannten Werkstoffverbunden übernimmt der Volumenwerkstoff die mechanischen, das Oberflächenmaterial hingegen die Anforderungen, die die Reaktivität mit dem lebenden System betreffen. Das Friedrich-Baur-Forschungsinstitut für Biomaterialien befasst sich mit der Erforschung und Entwicklung von neuartigen Biomaterialien für verschiedene medizinische Anwendungen und deren Umsetzung in Implantate bzw. Medizinprodukte. Die aktuellen Beispiele zeigen den Fortschritt auf diesem Gebiet, insbesondere im Bereich des Knochenersatzes.

Nanostrukturierte Implantatbeschichtung mit antiinfektiöser Wirkung

Trotz Verbesserungen im hygienischen Bereich und der Operationsbedingungen kommt es auch heute noch bei einer Vielzahl von Implantaten sowohl während als auch nach der Operation zu Infektionen, die oft einen erneuten chirurgischen Eingriff zur Folge haben. Ein möglicher Ansatz um diesen bakteriologischen Angriff abzuschwächen oder gar zu stoppen, ist der Einsatz antiinfektiöser Oberflächenbeschichtungen. Durch solche neuartigen Konzepte kann sowohl ein verbessertes Einwachsverhalten des Implantats, welches zu kürzeren Liegezeiten der Patienten führt, als auch



eine verbesserte Langzeitstabilität durch die bessere Integration in den menschlichen Organismus erreicht werden. Bei dem hier dargestellten Konzept handelt es sich um dünne keramische Schichten, aus denen sich Kupferionen oder andere antibakterielle Metallionen wie z.B. Silber, Zink herauslösen, um das Anheften und das Vermehren von klinisch relevanten Bakterien wie *Staphylococcus epidermidis* oder *Staphylococcus aureus* zu unterbinden (Abb. 2). Ziel ist es, nach der Implantation eine antiinfektiöse, keramische Titanoxid-Oberfläche bereitzustellen, die bei der Operation eingebrachte Bakterien abtötet ohne die Zellen zu schädigen, nach einiger Zeit jedoch durch Auslaugung der Metallionen eine durch das Titanoxid hervorgerufene hohe Biokompatibilität besitzt und somit das Anwachsen von zunächst Bindegewebszellen und anschließend knochenbildenden Zellen fördert.

Abb. 2: Aufnahme einer hochporösen, biokompatiblen Titanoxid-Implantatbeschichtung mittels konfokaler Lasermikroskopie (Kantenlänge: 169 μm).

Abb. 3: Schematische Darstellung eines Systems zur Verklebung von Knochen, Knorpel und/oder Gewebe mittels biomimetischer Nachahmung des Haftmechanismus von Muscheln (Beispiel: Zebramuschel).

Neuartiger Gewebekleber – Nachahmen der Natur (Biomimetik)

Obwohl bei vielen Implantaten und komplizierten Operationstechniken ein hoher Stand erreicht ist, sind auf den ersten Blick unscheinbare Probleme, wie das Verkleben von nassem Gewebe, Knochen und Knorpel unter OP-Bedingungen bisher noch ungelöst. Die Natur hat durch die Evolution diese Probleme schon gelöst, wie sich am Beispiel der Muschel zeigen lässt. Die Muschel produziert einen Kleber, mit dem sie sich unter Wasser oder auf nassem Untergrund festklebt. Dieser Kleber besteht aus einem Protein, der bestimmte Abfolgen von Aminosäuren enthält, die für die Klebewirkung, die bis heute noch nicht bis ins Detail verstanden wird, verantwortlich gemacht werden (Abb. 3).

Gegenstand der Forschung in diesem Gebiet ist es nun, die Klebewirkung nachzuahmen, indem man diese Aminosäureabfolgen oder einzelne Aminosäuren mit langkettigen biologisch abbaubaren Molekülen verknüpft. Auf diese Weise erhält man einen Kleber, der im menschlichen Körper in feuchten Wunden eingesetzt werden kann und nachdem die Wunde verheilt ist, wieder vollkommen vom Körper abgebaut wird.



Knochenersatz nach Maß – Knochenneubildung durch Tissue Engineering

Patienten mit Knochensplitterbrüchen, Knochenkrebs oder der Volkskrankheit Osteoporose kann langfristig mit einer neuen Therapie der Biomedizin geholfen werden. Dabei fließen die Forschungsergebnisse aus Materialwissenschaft, Biologie und Medizin in ein neues Wissenschaftsfeld, dem Tissue Engineering. Hier werden maßgeschneiderte Implantate (Scaffolds) mit körpereigenen Zellen beimpft und später zur Frakturheilung eingesetzt.

Am Friedrich-Baur-Forschungsinstitut für Biomaterialien werden solche maßgeschneiderten Implantate aus künstlichem Knochenersatzmaterial entwickelt, die individuell an den Patienten angepasst sind. Dazu wird eine Computertomographie-Aufnahme des Patienten angefertigt, aus deren Daten der Defekt rekonstruiert werden kann. Computergesteuert werden die keramischen Implantate über Rapid Prototyping Techniken (3D-Drucken, Lasersintern, Abformen von Stereolithographie-Negativmodellen) hergestellt (Abb. 4).

Die fertigen Formteile werden vor der Implantation mit Stammzellen aus dem Knochenmark des Patienten beimpft (Tissue Engineering). Diese entnommenen Zellen sind so genannte mesenchymale Stammzellen (MSC), die unter bestimmten Bedingungen die Eigenschaft besitzen, zu Knochenzellen zu differenzieren. Auf dem künstlichen Knochenersatzmaterial adhären die Zellen und besiedeln den Scaffold (Abb.5). Nach einiger Zeit haben diese MSC's eigenen Knochen in das dreidimensionale, künstliche Biomaterial produziert. Dieses Konstrukt aus künstlichem Material und Gewebezellen kann dann dem Patienten implantiert werden.

Die Rapid Prototyping Techniken ermöglichen damit in Kombination

Abb. 4: Herstellung von patientenindividuellen Implantaten für Knochendefekte über Rapid Prototyping Techniken:

- a) Pulverbett aus künstlichem Knochenersatzmaterial.
- b) Werkzeug zur Verdichtung (Laser, Düse).
- c) Verdichteter Bereich entsprechend der CT-Daten.

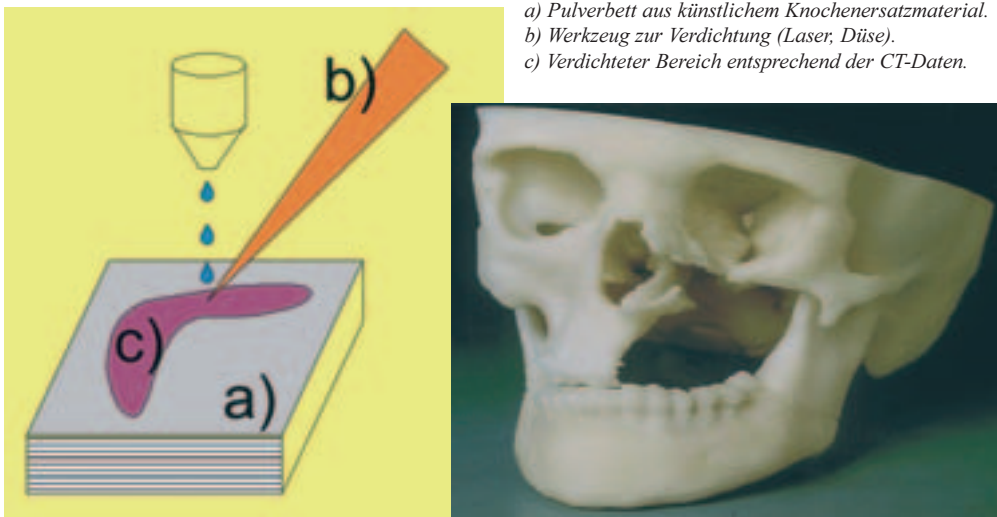


Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Osteoblasten-Zellen auf einem porösen Scaffold aus künstlichem Knochenersatzmaterial für Tissue Engineering.

mit dem Tissue Engineering die Herstellung von Knochenersatz nach Maß.

„Analysenwerkzeug“ Knochenzelle

Zusammen mit Bändern und Muskeln bilden 220 Knochen das Gerüst des menschlichen Körpers. Der Knochen ist ein lebendes Gewebe und wird alle 7 Jahre komplett umgebaut. Täglich bauen sog. Osteoklasten den Skelettknochen ab, während Osteoblasten gleichzeitig Knochen wieder aufbauen. Für die Untersuchung der Bioverträglichkeit neuartiger Materialien werden Osteoblasten verwendet. Diese explantierten Zellen werden im Labor gezüchtet und mit den zu testenden Materialien in Kontakt gebracht. Nach einer gewissen Inkubationszeit werden die Osteoblasten analysiert. Dabei werden Zellbestandteile wie Zellkern (blau) und Zytoskelett (rot) fluoreszierend angefärbt. Die Ergebnisse geben eine Aussage, ob sich die Zellen auf den künstlichen Materialien ähnlich verhalten wie in der ursprünglichen Umgebung des Biosystems. Wie Abbildung 6 zeigt, „fühlen“ sich Osteoblasten auf dem künstlichen Knochenersatzmaterial (Calciumphosphat) sehr wohl.

Die Fortschritte bei den Implantatmaterialien bringen für viele von uns eine Verbesserung der Lebensqualität.

Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der weiter steigenden Lebenserwartung der Menschen von Bedeutung. Neueste Entwicklungen beziehen die Nanotechnik und die Biomimetik bzw. Bionik (Nachahmen der Natur) ein. Eröffnet sich damit ein neues Spannungsfeld zwischen Natur und Technik? ■

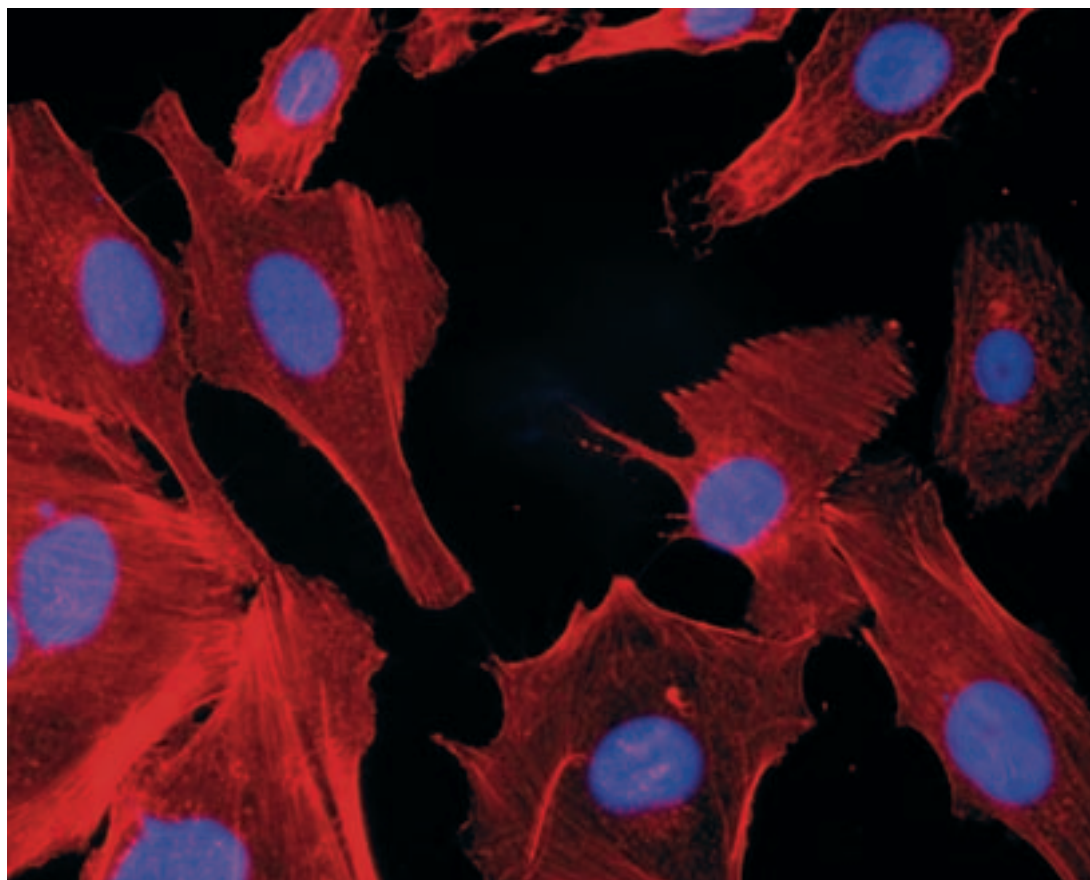
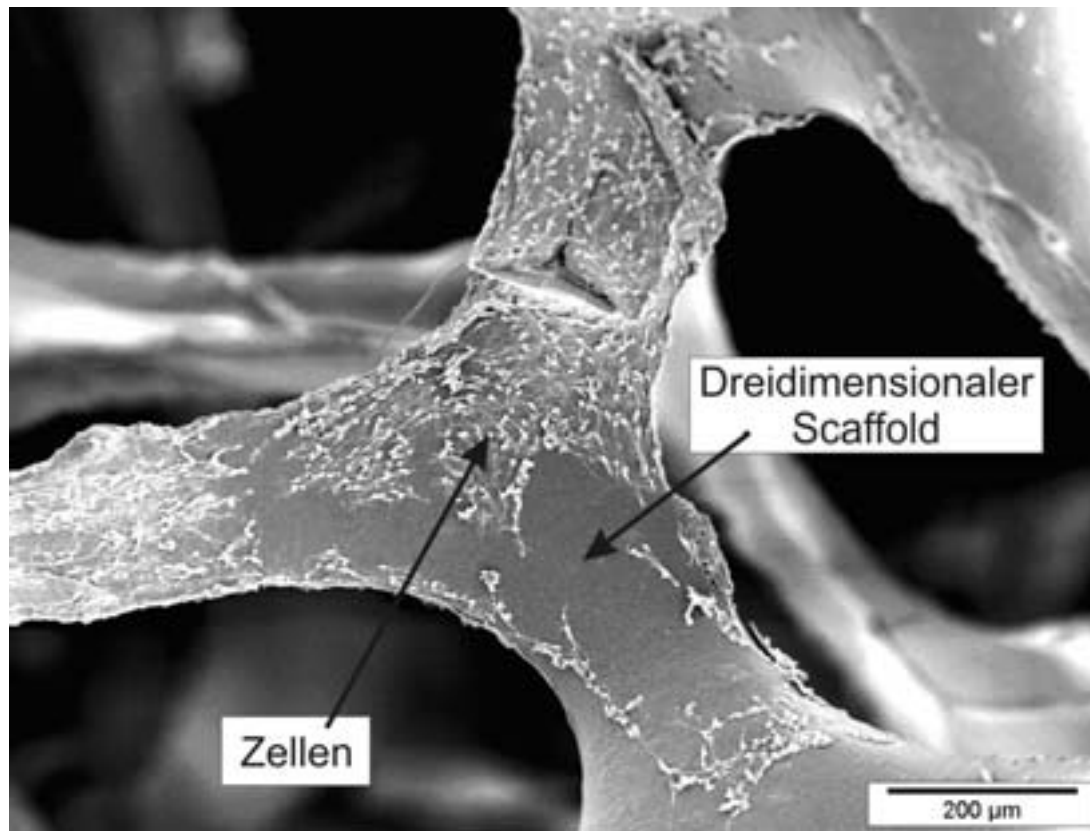


Abb. 6: Wachstum von humanen Osteoblasten (48 h) auf künstlichem Knochenersatzmaterial. Fluoreszenzfärbung von Zellkern (blau) und Zytoskelett (rot).

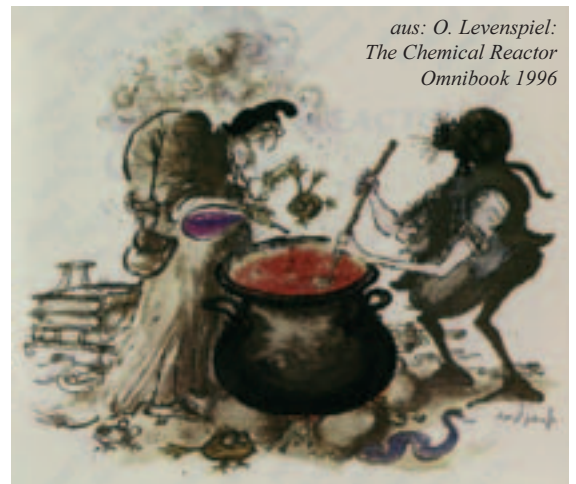


Verfahren und Prozesse – nicht nur vor Gericht



Forschungsapparatur
Chem. Verfahrenstechnik

Die Verfahrenstechnik ist ein Grenzgänger unter den Ingenieurwissenschaften. Sie nutzt ingenieurwissenschaftliche Methoden, um chemische und biologische Prozesse besser zu verstehen und auf einen industriellen Maßstab zu übertragen. Die Optimierung und die Entwicklung neuer chemischer und biotechnologischer Verfahren wird unser zukünftiges Leben entscheidend mitbestimmen; dies gilt für die globale Bereitstellung von Energie und Nahrung, den Umweltschutz aber auch für viele Bereiche des täglichen Lebens wie z.B. die medizinische Versorgung. Dass in diesen Bereichen viele hochwertige Arbeitsplätze gesichert werden und die Biotechnologie sogar als Zugpferd der heutigen industriellen Entwicklung gilt, sind weitere Indikatoren für die Bedeutung der Verfahrenstechnik.



aus: O. Levenspiel:
The Chemical Reactor
Omnibook 1996

Bedeutung chemischer und biologischer Verfahren

Unsere moderne Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft ist auf viele Produkte angewiesen, die nur mit Hilfe chemischer und biologischer Verfahren erzeugt werden können:

- Ohne industriell erzeugte Dünge-, Futter-, Pflanzenschutzmittel und Insektizide ist eine Ernährung der Weltbevölkerung undenkbar.
- Weltweit werden jährlich mehr als 3,5 Mrd. t Erdöl in Raffinerien verarbeitet. Hauptprodukte sind Benzin, Dieselöl, Flugturbinenkraftstoff und Heizöl, die mehrere chemische Prozesse durchlaufen müssen, bevor sie in modernen Motoren, Turbinen und Brennkammern eingesetzt werden können.
- Industriezweige wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Medizintechnik und Informationstechnik benötigen vielfältige metallische, keramische und polymere Werkstoffe.
- Wohl niemand kann sich das tägliche Leben noch ohne Aromastoffe, Bier, Duftstoffe, Farben, Fette, Klebstoffe, Konservierungsmittel, Kosmetika, Papier, Pharmazeutika und

Waschmittel vorstellen; die Liste ließe sich beliebig verlängern.

- Auch beim Umweltschutz handelt es sich um Prozesse, bei der die Chemie, Biologie und Verfahrenstechnik „stimmen muss“, z.B. bei der Wasseraufbereitung, der Rauchgasreinigung im Kraftwerk oder beim Autoabgaskatalysator.

Zur Verbesserung bestehender und zur Entwicklung neuer Prozesse ist zwar ein Verständnis der biologischen und chemischen Grundlagen erforderlich, allerdings können ressourcen- und umweltschonende Prozesse nur mit Hilfe verfahrenstechnischer Methoden ausgelegt und betrieben werden. Verfahrenstechnik ist somit eine interdisziplinäre Wissenschaft an der „Nahtstelle“ von Chemie bzw. Biologie und den Ingenieurwissenschaften.

Vom Reagenzglas zum industriellen Prozess

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 liegt an folgenden Faktoren:

- Die Produktvielfalt reicht – wie beschrieben – von Massenprodukten bis hin zu Feinchemikalien und Pharmazeutika.
- Die Bedingungen variieren in weiten Bereichen: Drücke bis 3000 bar, Temperaturen von Minusgraden bis 2000 °C und Verweilzeiten von ms bis h sind durchaus notwendig und üblich.
- Es sind spezifische Katalysatoren notwendig, da mehr als 90 % aller chemischen und biologischen Produkte nur mit Hilfe dieser „Hilfsstoffe“ erzeugt werden können. Katalysatoren erfüllen zwei Aufgaben: Sie erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit und lenken die Reaktion in die Richtung der gewünschten Produkte. (Auch die in der Biotechnologie verwendeten Zellen und Organismen sind letztendlich nichts anderes als (Bio)-Katalysatoren.)
- Industrielle Reaktoren sind sehr

unterschiedlich in ihrer Größe und Konstruktion, und unterscheiden sich deutlich von Glaskolben im Forschungslabor. Der Reaktor muss die Energie- und Stoffströme so führen, dass das Produkt mit hoher Ausbeute entsteht. Auch Phasenübergänge, Stofftrennprozesse u.ä. sind zu beachten. Und schließlich spielt auch die Sicherheitstechnik bei explosiven oder toxischen Stoffen eine wichtige Rolle.

Einfache Regeln zur Prozessauslegung kann es bei dieser Vielfalt kaum geben. Nachfolgend soll dies anhand einiger Beispiele industriell ausgereifter Verfahren aber auch neuen Entwicklungen erläutert werden.

Ammoniaksynthese: Ausgangspunkt der systematischen chemischen Verfahrenstechnik

Ammoniak ist die technisch wichtigste Stickstoffverbindung. Weltweit werden mehr als 100 Mio. t/a erzeugt, davon 75 % für Düngemittel. Weitere Anwendungen sind Klebstoffe, Harze und (leider) auch Sprengstoffe. Der Weg zur industriellen Ammoniak-erzeugung wurde von Fritz Haber vor rund 100 Jahren eingeleitet und ist das klassische Beispiel für die Entwicklung eines technisch-chemischen Verfahrens.

Stickstoff und Wasserstoff reagieren zu Ammoniak gemäß der Gleichung $N_2 + 3 H_2 = 2 NH_3$. Zum damaligen Zeitpunkt stellten sich folgende Schwierigkeiten einem technischen Prozess „in den Weg“:

- Nach den Gesetzen der Thermodynamik ist der NH_3 -Anteil erst bei Drücken über 100 bar so groß, dass eine industrielle Herstellung vielversprechend ist. Aber auch dann ist der Umsatz des N_2/H_2 -Gemisches längst nicht vollständig, was zu einem inakzeptablen Ver-

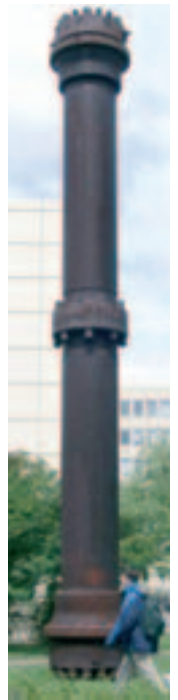
lust des damals aus Kohle (heute meist aus Erdgas) mühsam erzeugten Synthesegases geführt hätte.

- Die Reaktion läuft nur an einem geeigneten Katalysator ab.
- Die Beherrschung von Anlagen mit extrem hohen Drücke war damals nicht Stand der Technik.

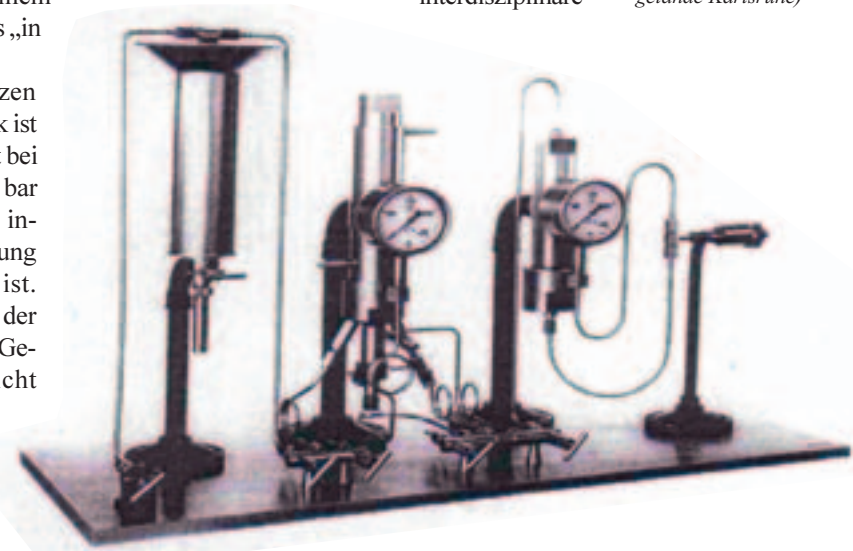
Mit den beiden ersten Problemen hat sich Haber viele Jahre beschäftigt und schließlich in einer Laboranlage grundsätzlich gelöst (Nobelpreis 1918). Neben thermodynamischen Untersuchungen konzipierte er ein kontinuierliches Kreislaufverfahren, d.h. das nicht umgesetzte Synthesegas wird nach der NH_3 -Abtrennung in den Reaktor zurückgeführt. Dieses Konzept trug wesentlich zur erfolgreichen industriellen Durchführung der Synthese bei. 1909 gelang es Haber dann erstmalig, an einem Osmium-Katalysator 80 g NH_3 /h zu produzieren.

Alwin Mittasch, ein BASF-Mitarbeiter, wurde daraufhin mit der Entwicklung eines (kosten)günstigen Katalysators beauftragt. Dazu verwendete er bis zu 30 parallel betriebene Laborreaktoren. 1911 fand er schließlich die „Rezeptur“ eines industriell geeigneten Eisenkatalysators; in weiteren 20.000 (!) Untersuchungen wurde in den folgenden Jahren nur noch eine geringe Verbesserung erreicht.

Für die anschließende technische Realisierung der Synthese war Carl Bosch verantwortlich, Ingenieur und Chemiker, also eine Idealfall für eine interdisziplinäre



Habers erste Laborapparatur zur katalytischen Ammoniak-Synthese (Abb. unten) und einer der ersten Industriereaktoren (Abb. oben, heute Universitäts-gelände Karlsruhe)



Verfahren und Prozesse – nicht nur vor Gericht

Herangehensweise. Durch die hohen Drücke ergab sich das Problem, dass der Wasserstoff mit dem im Stahl enthaltenen Kohlenstoff zu Methan reagierte, und der Stahl brüchig wurde. Bosc löste dieses Problem, indem er kohlenstoffarmen Weichstahl als Futterrohr verwendete und diesen mit einem Mantel aus hartem, den Druck tragenden Stahl umgab. Zusätzlich ließ er in den Mantel Löcher bohren. Dadurch konnte der durch das Weichstahl diffundierende Wasserstoff nicht den harten Stahl angreifen sondern durch die „Bosc-Löcher“ entweichen. (Heute verwendet man wasserstoffbeständige Stähle.) 1931 erhielt Bosc den Nobelpreis für seine Verdienste um die Entwicklung chemischer Hochdruckverfahren. Die ersten Reaktoren lieferten 1913 13 t NH₃ pro Tag. Heutige Reaktoren produzieren rund 1000 t und haben einen Durchmesser von 2 m, eine Länge von 22 m und nehmen etwa 100 t Katalysator auf. Die Historie dieser Synthese zeigt eindrucksvoll, dass zur erfolgreichen Entwicklung industrieller Verfahren naturwissenschaftliche und technische Aspekte zu betrachten sind, was noch heute gilt.

Labor-Bioreaktor
(Firma
BioEngineering)



Insulinherstellung, ein klassischer Prozess der Bioverfahrenstechnik

Es gibt derzeit kaum einen Bereich in der industriellen Produktion der so stark von einem ingenieurwissenschaftlichen Engagement abhängt wie die Biotechnologie. So wie Anfang des letzten Jahrhunderts Haber und Bosc die chemische Industrie revolutionierten, gilt es heute eine Vielzahl von biologischen Prozessen in industrielle – oft pharmazeutische – Verfahren umzusetzen. Die Insulinherstellung wird oft als biotechnologisches Pendant zur Ammoniak-synthese bezeichnet. Insulin ist ein relativ kleines Protein, das große Bedeutung in der Regulierung des Blutzuckerspiegels hat. Menschen mit Diabetes Typ I können selbst kein Insulin mehr herstellen,

weil die Insulin-produzierenden Zellen ihrer Bauchspeicheldrüse zerstört wurden. Noch vor 100 Jahren hatten solche Diabetiker eine relativ geringe Lebenserwartung. Anfang des letzten Jahrhunderts erkannte man dann, dass einige Säugetiere, insbesondere Schweine und Rinder, ein Insulin produzieren, das sich nur in ein bis zwei Aminosäuren von menschlichem Insulin unterscheidet. Eine erste Industrie entstand; man isolierte das Insulin aus den Bauchspeicheldrüsen von frisch geschlachteten Rindern und Schweinen. Eine mühsame und schmutzige Arbeit, die jedoch das Leben vieler Diabetiker erheblich verbesserte. Immer wieder gab es Probleme, z.B. mit verschmutzten Präparaten oder mit Immunreaktionen gegen das eben doch nicht perfekt dem menschlichen gleichende Insulin. Zwar wurde versucht Verfahren zur Humanisierung von tierischem Insulin, also zum Austausch der „falschen“ Aminosäuren zu konzipieren, der große Durchbruch kam aber erst Ende der 80iger Jahre durch die molekulare Biotechnologie.

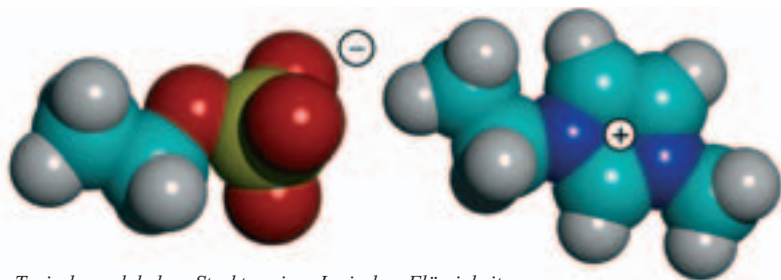
1973 zeigten Boyler und Cohen, dass es möglich ist, ein Gene, d.h. den für die Produktion eines bestimmten Proteins verantwortlichen DNA-Abschnitt, von einem Lebewesen auf ein anderes zu übertragen. Der genetische Code ist universell und ein Bakterium, das neben seinen eigenen auch noch ein menschliches Gen besitzt, wird auch dieses menschliche Protein produzieren. Die Firma Hoechst etablierte daraufhin ein Verfahren zur Produktion von menschlichen Insulin im großen Maßstab in Bakterien. Zum ersten Mal stand Diabetikern damit ein unbegrenzter Vorrat an menschlichem Insulin zur Verfügung. Gleichzeitig war der Grundstein gelegt für

eine neue Industrie, die Produktion therapeutischer menschlicher Proteine im Bioreaktor. Heutzutage wird Insulin in den verschiedensten Darreichungsformen von einer Reihe von Herstellern produziert. Für Diabetiker bedeutet das, dass sie ein weitgehend „normales“ Leben führen können. Dennoch wird die Entwicklung hier nicht stehenbleiben und in Zukunft wird es durch Biotechnologie vielleicht gelingen, z. B. zerstörte körpereigene Zellen durch funktionsfähige biotechnologisch produzierte zu ersetzen (Tissue Engineering).

Ionische Flüssigkeiten: Neue Lösungsmittel für vielfältige chemische Aufgaben?

Ein Beispiel für eine aktuelle chemisch-verfahrenstechnische Herausforderung ist der Einsatz Ionischer Flüssigkeiten (IL). Diese bestehen ausschließlich aus Ionen, sind aber im Gegensatz zu klassischen Salzen wie Kochsalz unter 100 °C flüssig. Dies erlaubt die Substitution konventioneller organischer Lösungsmittel und gänzlich neuartige Anwendungen. Durch die Wahl des Ionenpaares kann die Löslichkeit z.B. für organische Verbindungen und Katalysatoren in weiten Grenzen eingestellt werden. Da ILs keinen Dampfdruck haben, hat dies ökologische und sicherheitstechnische Vorteile, da im Gegensatz zu üblichen Lösungsmitteln keine Verluste auftreten.

Derzeitige Forschungsschwerpunkte sind die Synthese neuer ILs, die Untersuchung ihrer Eigenschaften sowie deren Anwendungen in vielfältigen Prozessen von der Synthese hoch-octaniger Ottokraftstoffe bis hin zu pharmazeutischen Produkten. ILs



Typische molekulare Struktur einer Ionischen Flüssigkeit
(rot: S, grau: H, hellblau: C, dunkelblau: N)

werden dabei v.a. im Bereich der homogenen Katalyse untersucht, da sich die oft schwierige Abtrennung des Katalysators vom Produkt vereinfacht, wenn dieser nur in der IL löslich ist.

Auch an der FAN werden am Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik (in Kooperation mit der Universität Erlangen) ILs untersucht. Dies betrifft die Entwicklung kostengünstiger Synthesen, aber auch die Nutzung von ILs für die Extraktion (Kraftstoffschwefelung) und die Zweiphasenkatalyse.

DNA: ein biotechnisches Produkt der Zukunft?

Die systematische verfahrenstechnische Prozessentwicklung steht in der Biotechnologie noch am Anfang. Während in der chemischen Industrie kein Mensch das Reagenzglas (bzw. viele, viele Reagenzgläser) ernsthaft als geeignete Produktionsstätte in Erwägung ziehen würde, sind in der biopharmazeutischen Industrie entsprechende Rollflaschenbatterien durchaus noch üblich, wenn auch inzwischen Bioreaktoren von mehreren 10.000 L keine Seltenheit mehr sind. Die zu geringen Produktionskapazitäten und -effizienzen stellen allerdings nach wie vor ein Problem dar, dass in seiner Bedeutung eher noch zunehmen wird, weil sich die Zahl der potentiellen Medikamente wesentlich schneller erhöht als besagte Kapazität. Die Entwicklung effizienter Bioproduktionsprozesse stellt aus diesem Grunde einen Forschungsschwerpunkt in der FAN am Lehrstuhl für Bioprozesstechnik dar. Derzeit interessieren wir uns neben medizinisch relevanten Proteinen besonders für DNA und RNA.

Viele Krankheiten haben ihre Ursache in einem genetischen Defekt. Mit konventionellen Mitteln lassen sich die Auswirkungen solcher Krankheiten zwar oft lindern, eine wirkliche Heilung wäre aber nur auf genetischer Ebene möglich. Ebenso ist eine erfolgreiche Impfung bei manchen Krankheiten durch einen DNA-Impfstoff

leichter zu erreichen als auf konventionelle Weise. Das Problem wie man die hierzu benötigte DNA hochrein in großen Mengen herstellt ist bislang allerdings ungelöst. Wir bearbeiten Fragen zur möglichst effizienten DNA-Produktion im Bioreaktor, aber auch Fragen zu ihrer Aufreinigung. Damit die DNA wirksam werden kann muss sie dann wiederum in die entsprechenden Zellen eingeschleust werden. In der Medizin werden derzeit zu diesem Zweck vor allem Viren verwendet. Das führt immer wieder zu Problemen, z.B. zu Immunreaktionen. Wir versuchen hier sicherere Alternativen in Form von DNA transportierenden Biokonjugaten zu entwickeln.

Chemische und Biologische Verfahrenstechnik an der Universität Bayreuth

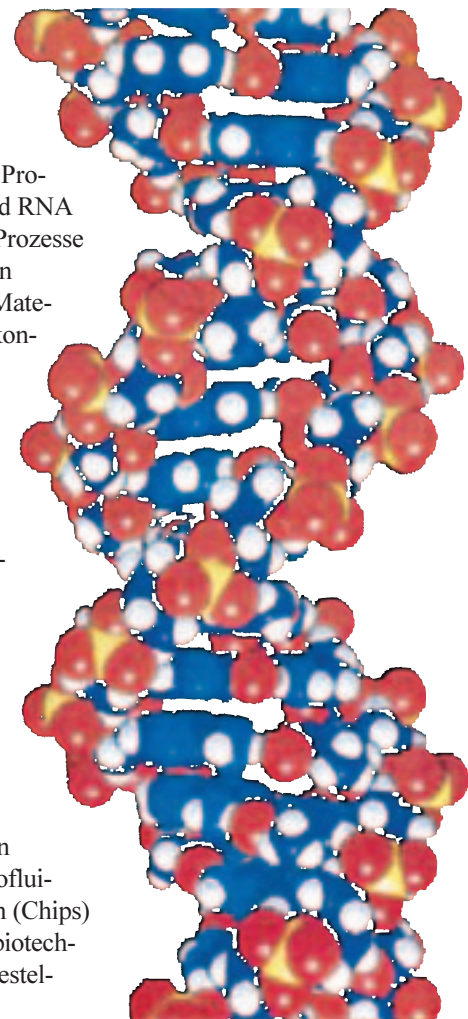
An der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften (FAN) werden an den Lehrstühlen für Bioprozesstechnik und für Chemische Verfahrenstechnik Prozesse und Katalysatoren unter industrienahen Bedingungen mit modernsten Methoden untersucht, um so das „Geschehen“ am Katalysator aber auch in einem Industriereaktor experimentell bzw. durch Computersimulation zu verfolgen und zu verstehen. Das Lehrangebot umfasst Vorlesungen, Übungen und Praktika zu thermischen Trennverfahren, chemischer und biologischer Verfahrenstechnik, Reaktions- und Prozesstechnik, Katalyse und zu analytischen Methoden. Eine Trennung in rein chemische bzw. biologische Verfahren wird – auch im Hinblick auf ein breites Berufsfeld – nicht vorgenommen. Nach dem Abschluss zum Dipl.-Ing. besteht die Möglichkeit der Promotion zum Dr.-Ingenieur; dies gilt auch für Naturwissenschaftler anderer Diplommstudiengänge wie z.B. der Chemie und Biologie.

Im Bereich der Forschung seien beispielhaft folgende Themen genannt (Näheres auf der jeweiligen Homepage der beiden Lehrstühle):



Syntheseapparatur zur Herstellung Ionischer Flüssigkeiten

- Tiefentschwefelung von Erdölfractionen
- Erdölnunabhängige Wege zu Kraft- und Chemierohstoffen.
- Hydrierprozesse der Geruchsstoff- und Waschmittelindustrie
- Ionische Flüssigkeiten (s.o.)
- Grundlagenuntersuchungen zu mehrphasigen Prozessen
- Katalysatordesaktivierung und -regeneration
- Prozessen zur Produktion von Proteinen, DNA und RNA
- Zellbasierende Prozesse
- Entwicklung von stimulierbaren Materialien und Biokonjugaten
- Chromatographische Trennverfahren (Aufarbeitung biotechnologischer Hochwertprodukte)
- Biodelivery (Drug-/Gene-Delivery)
- Tissue Engineering
- Massenspektrometrie an Biomakromolekülen
- Mikro- und nanofluidische Verfahren (Chips) für analytische biotechnologische Fragestellungen





Prof. Dr.-Ing. habil. am Lehrstuhl

Der Lehrstuhl Metallische Werkstoffe lässt sich in mehrere Arbeitsgruppen unterteilen:

- Entwicklung und Charakterisierung neuer Hochtemperaturwerkstoffe
- Lasermaterialbearbeitung
- Prüfung künstlicher Gelenke
- Modellierung und Simulation der Mikrostruktur metallischer Legierungen
- Enge Zusammenarbeit mit der Neuen Materialien Bayreuth GmbH

Von der Geräteinfrastruktur lässt sich folgende Einteilung vornehmen:

- Werkstoffprüflabor
- Strukturanalyse mit thermischer und chemischer Analyse und Elektronenmikroskopie (SEM und TEM)
- Geräte zur Legierungsherstellung und zur Wärmebehandlung
- Metallographie
- Lasermaterialbearbeitungslabor

Eine ständig aktualisierte Liste mit den wichtigsten technischen Daten aller Geräte finden Sie auf den Internetseiten des Lehrstuhls unter dem Link „Ausstattung“.

Übergreifend zu diesen Einteilungen nach Arbeitsgebieten und Infrastruktur wird eine Reihe von Projekten bearbeitet. Diese reichen von der Grundlagenforschung bis zur industrienahen Forschung.

Von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekte sind eher grundlagenorientiert. Hier werden zur Zeit zwei Projekte bearbeitet in denen neue Legierungen entwickelt werden. Einmal die „Innere Oxidation in Nickel“ welches dann zu so genannten Nickel-ODS-Legierungen führt und zum zweiten die Entwicklung von „Platinbasisuperlegierung“. Beide Legierungen sind angedacht für den Einsatz bei sehr hohen Temperaturen (Nickel-ODS bis ca. 1300°C, Platinbasis bis ca. 1400°C) bei gleichzeitig hoher mechanischer Belastung (bis 100 MPa, dies entspricht einem Gewicht von 1 Tonne aufgehängt an eine Fläche von 1 cm²).

Ein industrienahes Projekt wird zum Beispiel von der Arbeitsgemeinschaft der Eisen- und Metallverarbeitenden Industrie (AVIF) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) finanziert. Hierbei wird in Zusammenarbeit mit allen führenden Automobilherstellern das Fügen von Stahl mit

Aluminium mittels Laserstrahl erforscht und weiterentwickelt.

Eine Arbeitsgruppe beschäftigt sich intensiv mit der Werkstoffprüfung der Materialien, die in künstlichen Gelenken verwendet wird. Die Bedingungen in künstlichen Gelenken werden möglichst realitätsnah nachgestellt um die Verschleißfestigkeit und Lebensdauer ermitteln zu können.

Des Weiteren werden durch zahlreiche Kontakte zu Unternehmen Projekte durchgeführt. Dabei kann es sich von einfachen Schadensfallanalysen bis zu einem von mehreren Unternehmen finanzierten Gemeinschaftsprojekt handeln.

Kurzlebenslauf Prof. Dr.

Jahrgang 1960, geboren in Heidenheim, Baden-Württemberg.

Abitur 1978, Max-Planck-Gymnasium (in Heidenheim), Physikpreis des Jahrgangs. Studium zum Diplomphysiker in Tübingen. Abschluss des Studiums 1987 mit der Note „sehr gut“ und einer Diplomarbeit bei Prof. Friedrich Lenz „Optimierung elektronenoptischer Systeme“. Während seines Studiums verbrachte Herr Glatzel ein Auslandsstudienjahr in USA an der Oregon State University.

Promotion am Institut für Metallforschung der Technischen Universität Berlin bei Frau Prof. Feller-Kniepmeier über einkristalline Nickelbasislegierungen 1990 „mit Auszeichnung“.

Post-doc für 1 Jahr als Feodor-Lynen Stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung bei Prof. Nix an der Stanford University in Kalifornien, USA.

[Lehrstuhl-Website:
<http://www.uni-bayreuth.de/departments/metalle/>]

Uwe Glatzel

Metallische Werkstoffe

Beispielhaft werden drei Projekte: Laserstrahlschweißlötungen, Nickel-ODS-Legierungen und Platinbasissuperlegierungen eingehender vorgestellt.

1. Laser-Schweiss-Lötverbindungen, Thermisches Fügen von Stahl mit Aluminium

Eine der vordringlichsten Entwicklungsziele im Automobilbau stellt die Reduzierung des Flottenverbrauchs der Fahrzeuge dar. Einen Lösungsweg stellen neue Leichtbaukonzepte dar, die zum Ziel haben, Werkstoffe noch differenzierter hinsichtlich Ihres Beanspruchungskollektivs einzusetzen. Dies führt zwangsläufig zu einer Multi-Materialbauweise. Die Fahrzeugrohkarosserie weist dabei das größte Gewichtsreduzierungs-potenzial

auf. Demzufolge existieren auch hier große Bestrebungen die vorherrschende Stahlbauweise durch eine Stahl-Aluminium-Hybridbauweise zu substituieren.

*Rohkarosserie
Mercedes E Klasse mit
Aluminium Blechteilen
(Quelle:
DaimlerChrysler)*



Dies führt zu besondere Anforderungen an die Füge-technik. Stand der Technik für die Verbindung von Stahl-Aluminium im Fahrzeugkarosseriebau sind heute Kleben und/oder mechanische Fügeverfahren. Aber auch thermische Fügeverfahren wie das Löt- oder Schweißen weisen ein großes Potenzial, besonders im Hinblick auf die Integration in bestehende Fertigungs-linien, auf.

Im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie geförderten Projektes soll die Technologie des thermischen Fügens für Stahl-Aluminium-Mischverbindungen weiter entwickelt werden.

Als Fügeverfahren kommt ein neu entwickelter Laser-Schweiß-Löt-Prozess zur Anwendung. Hierbei macht man sich die stark unterschiedlichen Schmelzpunkte der beiden Fügepartner zunutze. Im Prozess wird nur das Aluminium geschmolzen und das verzinkte Stahlblech durch das Schweißgut lediglich benetzt (gelötet). Auf diese Weise können

*Abbildung unten:
Stoffschlüssige
Stahl-Aluminium
Verbindung mit
Mikrohärteein-
drücken, herge-
stellt mittels
Laser-Schweißlöt-
Prozess (Zusatz-
werkstoff: ZnAl2).*



Ing. habil. Uwe Glatzel

Habilitation 1994 ebenfalls an der TU-Berlin über innere Spannungen in Nickelbasissuperlegierungen.

1995: Heisenberg-Stipendiat und Gerhard-Hess-Preis der DFG (10 Preise werden pro Jahr verteilt über alle Fachrichtungen hinweg). Der Preis war dotiert mit 750.000 DM für Personal und Verbrauchsmaterialien.

1996 erhielt er den Ruf auf die Professur für Metallische Werkstoffe an der Universität Jena, die er bis März 2003 innehielt. Das WS 02/03 als Forschungssemester in Johannesburg, Südafrika.

Seit 1. April 2003 Inhaber des Lehrstuhls für Metallische Werkstoffe an dieser Universität. Herr Glatzel war bisher mit insgesamt 3 Teilprojekten in 2 verschiedenen Sonderforschungsbereichen beteiligt, ist Mitautor von ca. 60 internationalen Veröffentlichungen und Mitinhaber eines Patents. ■

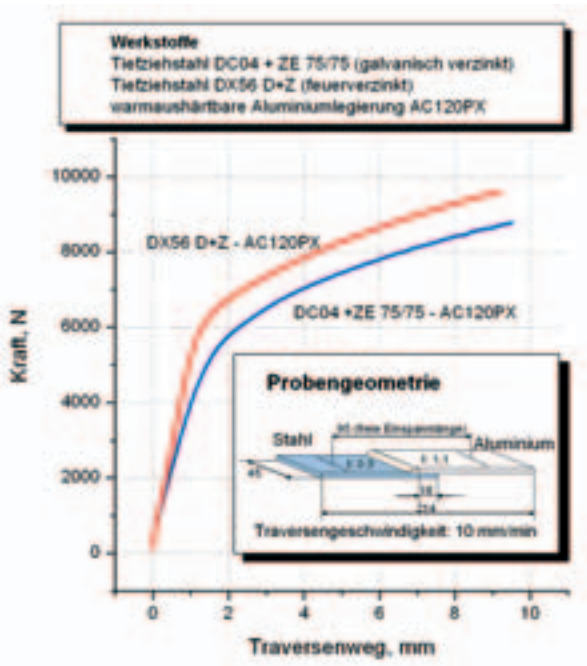
die sonst unvermeidbaren intermetallischen Phasen auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Die stoffschlüssige Verbindung weist dabei die gleiche Festigkeit einer Verbindung aus zwei Aluminiumblechen auf.

3. Entwicklung von Hochtemperaturwerkstoffen - Platinbasissuperlegierungen

In einem weiteren DFG Projekt wird die Entwicklung von Platinbasissuperlegierungen vorangetrieben. Forschungsziel ist eine Legierung, die Ausscheidungsteilchen der verfestigten Phase Pt₃Al enthält. Diese Teilchen erschweren die Verformung und können somit die Festigkeit auch bei hohen Temperaturen erhöhen. Platin als Basismetall schmilzt bei 1769°C deutlich höher als Nickel mit 1455°C.

Die in den nachfolgenden Bildern dargestellte Mikrostruktur ist vergleichbar einem 3dimensionalen Kopfsteinpflaster. Wir finden harte, würfelförmige Ausscheidungen eingebettet in einer weichen Matrix. Diese Struktur setzt sich im gesamten Bauteil in alle 3 Raumrichtungen fort. Die Schaufel einer Flugturbine, welche aus diesem Material hergestellt wird (siehe Abb. 7 auf S. 21), hat im gleichen Maßstab eine Ausdehnung von ca. 50 x 30 x 100 m³.

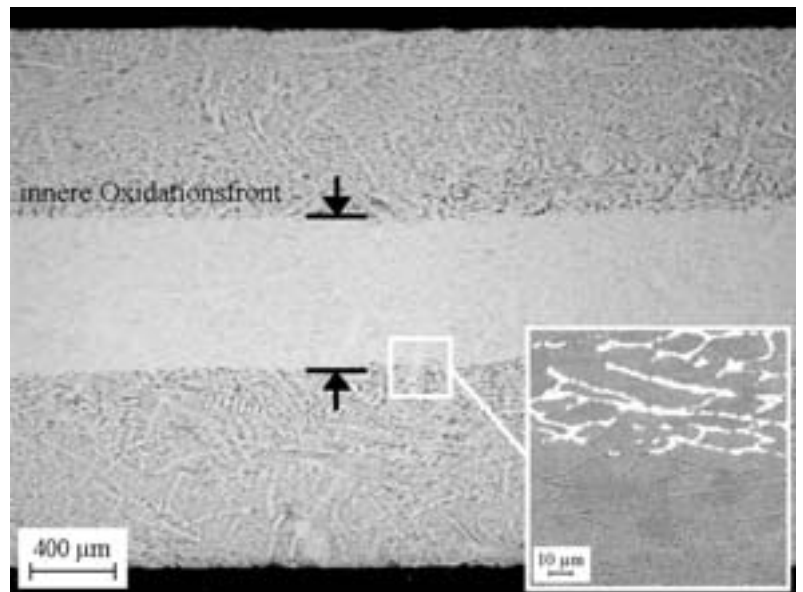
So gewinnt man mit den Platinbasissuperlegierungen einen Werkstoff, der unter gleichzeitiger mechanischer Belastung bei höheren Temperaturen eingesetzt werden kann als konventionelle Superlegierungen auf Nickelbasis. Damit lässt sich die Effektivität von Flugtriebwerken steigern, das heißt bei gleichem Spritverbrauch ergibt sich eine höhere Schubkraft und ein verbessertes Abgasverhalten. ■



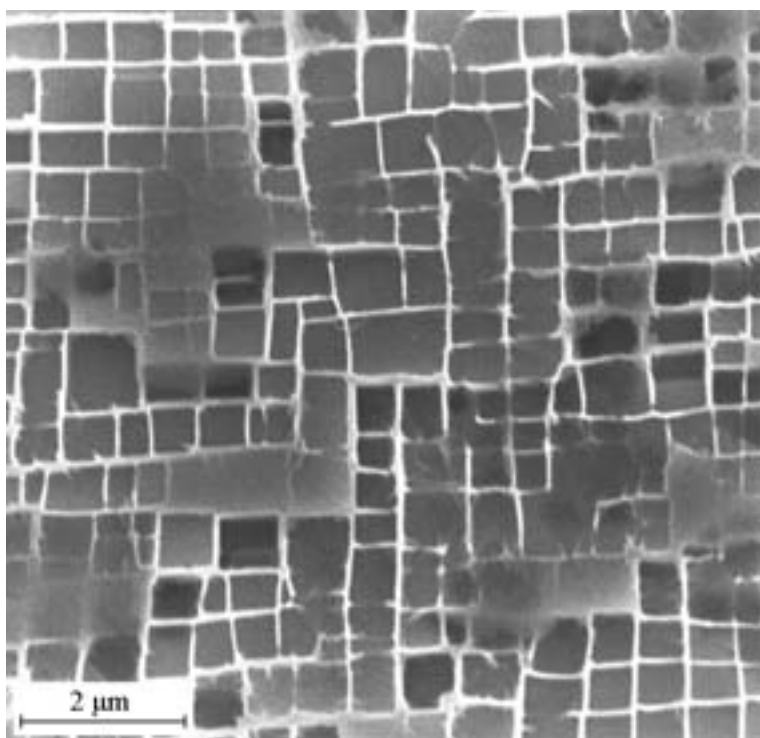
Kraft-Weg-Verlauf einer Stahl-Aluminium-Mischverbindung in der Fügegeometrie Kehlnaht am Überlapp-Scherzuganordnung (Zusatzwerkstoff: ZnAl2).

2. Entwicklung von Hochtemperaturwerkstoffen - Nickel ODS Legierungen

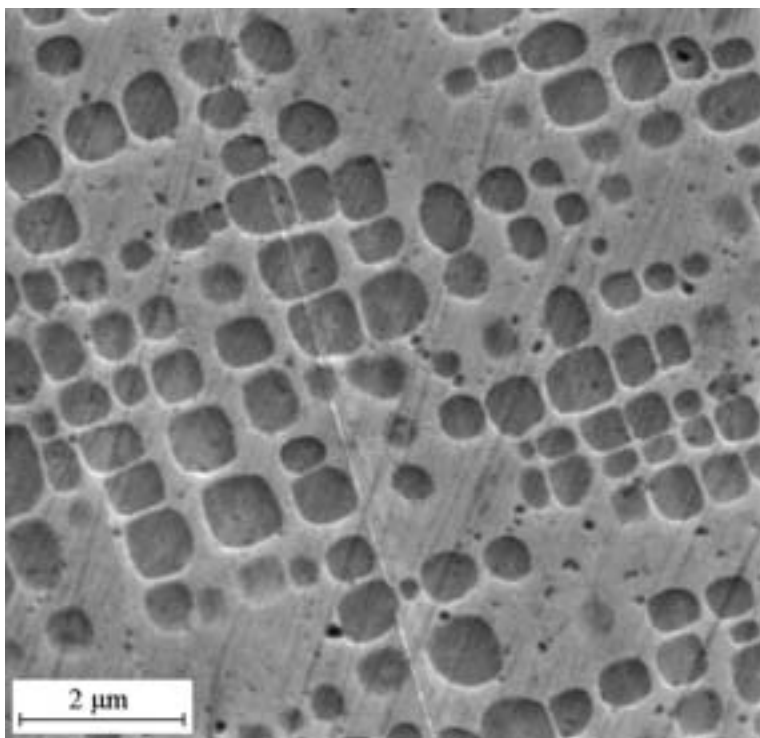
Im Rahmen eines Projektes gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wird die Innere Oxidation in Nickellegierungen untersucht. Granulate aus Nickel werden hierbei in einer Vakuuminduktionsschmelzanlage oder einer Lichtbogenschmelzanlage mit geringen Anteilen an sauerstoffaffinen Metallen verschmolzen. Anschließend werden die erschmolzenen Legierungen unter reduziertem Sauerstoffpartialdruck einer selektiven Oxidationsbehandlung unterzogen. Hierbei entstehen etwa 100nm große, fein verteilte Oxidteilchen im Material, die die Verformung der umgebenden metallischen Matrix erschweren.



Nickel-ODS-Legierung. Die innere Oxidation schreitet vom Probenrand in das Probeninnere voran, der helle Bereich im Zentrum der Probe ist noch nicht oxidiert.



Gefüge einer Nickelbasislegierung, state-of-the-art Material für Flugturbinenschaufeln.



Im Vergleich dazu das Gefüge einer Neuentwickelten Platinbasissuperlegierung.

Lehrangebot

Das Lehrangebot des Lehrstuhls Metallische Werkstoffe beinhaltet neben zahlreichen Vorlesungen im Studiengang Materialwissenschaft der FAN auch Veranstaltungen für die Lehrerausbildung zum Berufsschullehrer Metalltechnik, sowie die Betreuung von Auszubildenden der Werkstoffprüfung mit der Fachrichtung Metalltechnik.

Vorlesungen im Studiengang Materialwissenschaft werden in praktisch allen Semestern durchgeführt und sind oft von Praktika begleitet. Im Vertiefungsfach Metalle (7 Semesterwochenstunden im 8. Fachsemester) wird versucht die Studenten an ein Diplomarbeitsthema heran zu führen. Vom Lehrstuhl werden in der Regel mehrere Exkursion (zum Teil mehrtägig) pro Jahr zu führenden Industrieunternehmen durchgeführt.

Unterstützt von der Industrie- und Handelskammer werden Fortbildungsveranstaltungen für Berufsschullehrer und Ausbilder der Metallberufe am Lehrstuhl durchgeführt.



Die Leitwarte –
Kontrollstation und
Anlaufstelle für
Störungsmeldungen

„Die Unterstützung von Forschung und Lehre in allen Fachbereichen, als auch die Verantwortung für sämtliche Infrastruktureinrichtungen der Universität“ so lassen sich die Aufgaben der Zentralen Technik zusammengefaßt beschreiben. Unter ihrem dem Dach finden sich die technische Leitung, die Betriebstechnik, die Haustechnik bzw. Technische Dienste, die wissenschaftlichen Werkstätten, die Abteilung für Gefahrstoffe und Umweltschutz, das Gebäudemanagement sowie der Sicherheitsingenieur und das Außenreferat A7. Alle diese Einrichtungen sorgen sich gemeinsam um einen störungsfreien Betrieb aller Lehr- und Forschungseinrichtungen. Zu vermitteln, was die einzelnen Abteilungen leisten, wie sie zusammenarbeiten und wo auch die Mithilfe der Mitarbeiter und Studenten der Universität wünschenswert wäre, dazu dient die folgende kurze Reise durch die Zentrale Technik der Universität Bayreuth.

Verantwortlich für die Leitung der Zentralen Technik zeichnet Dr. Willy Thurn. Der technische Physiker sorgt sich nicht nur um die Angelegenheiten seiner einzelnen Abteilungen, sondern auch um den Energiehaushalt der Universität. Eine Aufgabe, die durch Sparbeschlüsse der Landesregierung, der oft zitierten Quadratur des Kreises sehr nahe kommt.

Die Abteilung Betriebstechnik ist für die Wartung und Reparatur der technischen Geräte in den einzelnen Gebäuden zuständig. Auf den Schultern von 26 Betriebstechnikern liegt die Verantwortung für die Kommunikationstechnik, die Wasser- und

Die Aufgabe der Zentralen Technik ist die umfassende, fürsorgliche, technische Betreuung der gesamten Universität. Meist laufen die Arbeiten unbemerkt und im Hintergrund ab. Trotz steigender Zahlen von Studenten und Gebäuden, sorgen gleichbleibend wenige Mitarbeiter dafür, dass der gesamte Lehr- und Forschungsbetrieb reibungslos funktioniert. Was die Zentrale Technik tatsächlich alles leistet soll im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Stromversorgung, sowie die Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage. Eine Leitwarte steuert den Betrieb mit Hilfe eines zentralen Leitsystems und kümmert sich um Störungsmeldungen, die telefonisch oder auch per e-mail abgegeben werden können.

Die Techniker haben es bei ihrer Arbeit mit immer komplexeren und teureren Geräten zu tun. Darüber hinaus besteht speziell im Bereich der Betriebstechnik ein grobes Mißverhältnis zwischen Arbeitsaufwand und Anzahl der vorhandenen Mitarbeiter. Obwohl die Universität stetig wächst und damit auch der Arbeitsaufwand steigt, blieb die Anzahl der Mitarbeiter der Zentralen Technik gleich. Zusätzlich muss aufgrund von Haushaltsperren (und nicht aufgrund mangelnder Planung) gespart werden, da bildet die Zentrale Technik keine Ausnahme. Sicherheitsrelevante Arbeiten haben oberste Priorität. Kürzer treten muss man beispielsweise bei Wartungsarbeiten.

Fleißige

Das führt schon einmal zu Unzufriedenheit, wenn zum Beispiel eine verstopfte Toilette erst nach 4 Tagen repariert werden kann, weil ein geplatztes Wasserrohr eben dringlicher zu richten ist.

Die Abteilung Technische Dienste betreut unter anderem die Haustechnik (inkl. Veranstaltungsservice), die Außenanlagen, den Fuhrpark, die Entsorgung und zentrale Beschaffung von Verbrauchsmaterialien, die Schließanlage, die Gebäudereinigung und die Bewachung. Sämtliche Grünanlagen, Straßen, Gehwege, Parkplätze und Sportplätze auf dem Campus, sowie den Außenliegenschaften wie BITÖK, GSP, Hugo-Rödel-Straße, IMA, Münzgasse und



Inspektion einer VE-Anlage

Zentrale Technik – Helfer im Hintergrund

Einstellung der Lüftungsparameter mit dem Laptop



Parsifalstraße müssen je nach Jahreszeit gepflegt, gereinigt, gemäht, geräumt oder gestreut werden. Der Fuhrpark besteht zur Zeit aus 22 Fahrzeugen mit amtlichen polizeilichem Kennzeichen sowie einer Vielzahl an sonstigen Fahrzeugen wie Einachsschleppern, Rasenmähern, mobilen Hebebühnen und Gabelstaplern. All diese Fahrzeuge werden ebenso wie Motorsensen, elektrische Heckenscheren, Hochdruckreiniger, Stromerzeuger, bis hin zu Fahrrädern für ausländische Gaststudenten, von zwei Mann der Kfz-Werkstatt gewartet und repariert. Unter die Rubrik Veranstaltungsservice fällt die Betreuung von ca. 400 Veranstaltungen, Vorträgen und externen Seminaren im Jahr.

Unterstützung der Forschung und Lehre heißt für die wissenschaftlichen Werkstätten die Konstruktion, Entwicklung, Fertigung und Reparatur von Geräten und Versuchseinrichtungen aller Art und nahezu jeglicher Komplexität. Alles was für die Aus-

führung und Weiterentwicklung von Forschungsprojekten kommerziell nicht erworben werden kann, wird hier entwickelt und gefertigt. Die Werkstätten sind zentral organisiert, liegen jedoch immer in der Nähe der wissenschaftlichen Bereiche. Ihre Aufgabenstellung beinhaltet auch die Beratung bei der Geräte- und Materialauswahl und die Lagerhaltung der erforderlichen Rohmaterialien und Bauteile. Die Werkstätten betreuen alle experimentell arbeitenden universitären Einrichtungen und Sonderforschungsbereiche, sowie das Bayerische Geoinstitut, das Institut für Materialforschung (IMA) und das Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK). Die Mitarbeiter der Werkstätten stehen den Mitarbeitern der Lehrstühle bzw. Sonderforschungsbereiche mit Rat und Tat zur Seite, um möglichst für jedes Problem die entsprechende Lösung zu finden. Wesentliches Merkmal der Werkstätten ist dabei ein nahezu lückenloses Ineinandergreifen der einzelnen Fachbereiche Elektronik,

Mechanik, Glasbläserei, Optik, Schreinerei und Medientechnik.

Nicht jedes messtechnische Problem läßt sich mit Hilfe von gekaufter Elektronik lösen, hier beginnt das Aufgabengebiet der Elektronikwerkstatt. Es reicht von der einfachen Reparatur von Laborgeräten bis hin zur Entwicklung und zum Bau von kompletten Meßsystemen. Dabei wird sowohl die Hardware als auch die Software eigens nach den Erfordernissen der Forschungseinrichtungen entwickelt. Die Aufzeichnung von Meßdaten unter allen erdenklichen klimatischen Bedingungen und die Steuerung von Meßplätzen über das Internet sind zwei Beispiele der vielfältigen Entwicklungsarbeit.

Von fast mikroskopisch kleinen justierbaren Probenhalterungen bis hin zu tonnenschweren Versuchsaufbauten erstreckt sich der Einsatzbereich der vier Mechanikwerkstätten. Ob für Messungen bei niedrigsten Temperaturen bis hin zu ex-

Meß- und Datenerfassungsgeräte, die von der Elektronikwerkstatt individuell nach den Bedürfnissen der Forschungseinrichtungen entwickelt und gebaut wurden.



Zentrale Technik – Fleißige Helfer im Hintergrund



Außendienst für Meßgeräte der Elektronikwerkstatt am Waldstein nahe Bayreuth; Einsatzgebiete für weitere elektronische "Außendienstmitarbeiter" findet man von Südamerika bis Australien mittlerweile fast in aller Welt

Glasbearbeitung an der Drehbank (unten links) und von Hand (unten rechts)

tremer Hitze, hier wird mit modernsten Materialien nach den Anforderungen der Forscher entwickelt und gebaut. Dazu stehen computergesteuerte Fräs-, Dreh- und Erodiermaschinen zur Verfügung, die zusammen mit der Erfahrung der Mitarbeiter nahezu jedes mechanische Problem lösen helfen. Die Werkstatt für den Glasapparatebau ist für Forschungsvorhaben speziell in der Chemie oder Biologie eine besonders wichtige Einrichtung.

Was man nicht in Katalogen findet, wird hier konstruiert und aus Normteilen zusammengebaut, aus Bor-Silikat-Glas, Quarz oder Verbundstoffen. Darüber hinaus werden alle Arten von Reparaturen oder Glasbeschichtungen durchgeführt.

Die kleinste Abteilung ist die Optik. Hier werden dünnen Schichten auf Glas- und Keramikbauteilen oder anderen Oberflächen zunächst entwickelt bzw. simuliert und dann auf zwei hochkomplexen Anlagen hergestellt.

Die Bedampfungs- und Sputtertechnik findet einen weit verbreiteten Einsatz quer durch die verschiedensten Fachgebiete der Universität. Die Größe dieser Abteilung läßt dabei nicht auf die wissenschaftliche Bedeutung schließen, was durch die Beteiligung der Werkstatt an einem Patent und Anfragen namhafter Forschungseinrichtungen eindrucksvoll unterstrichen wird.

Für Konstruktion, Bau und Reparatur von wissenschaftlichen Geräten und Spezialmöbeln aus Holz und holzartigen Werkstoffen gibt es eine Schreinerwerkstatt. Dort werden auch Holzbeschichtungen und Aufzuarbeiten durchgeführt. Es gibt in der wissenschaftlichen Arbeit noch viele Bereiche, in denen Holzaufbauten anderen Materialien deutlich überlegen sind.

Eine kleine Abteilung ist für die Betreuung der Medientechnik zuständig. Das bedeutet zunächst die Instandhaltung, Wartung und Reparatur von Projektions- und Wiedergabegeräten. Bei hohem Besuch oder besonders interessanten Vorträgen werden Licht- und Tongeräte betreut, bei Bedarf wird die Veranstaltung aufgezeichnet oder vom Rechenzentrum Live ins Internet übertragen

bzw. per Kabel anderen Universitäten interaktiv zur Verfügung gestellt. Für die spätere Bearbeitung des Materials, sind spezielle Video- und Audioschnittplätzen vorhanden.

Die Abteilung Gefahrstoffe und Umweltschutz ist der richtige Ansprechpartner bei Angelegenheiten der biologischen Sicherheit und der Gentechnik, des Strahlenschutzes (Umgang mit radioaktiven Stoffen und Röntgeneinrichtungen und Laseranlagen) sowie des Gefahrstoffschutzes, insbesondere der Entsorgung von überwachungsbedürftigen Stoffen. Eine Aufgabe ist die Beratung in Fragen der Einhaltung einschlägiger Vorschriften. Verantwortlich für die Einhaltung von Vorschriften ist in der Regel der Lehrstuhl, bzw. der Nutzer selbst. Der Gesetzgeber bringt jedoch in immer kürzer werdenden Abständen neue Vorschriften auf den Weg. Hier immer den richtigen Durchblick zu bewahren und für den Anwender Licht in den Dschungel der Regularien zu bringen, das ist die Kunst, die in diesem Bereich gefragt ist.

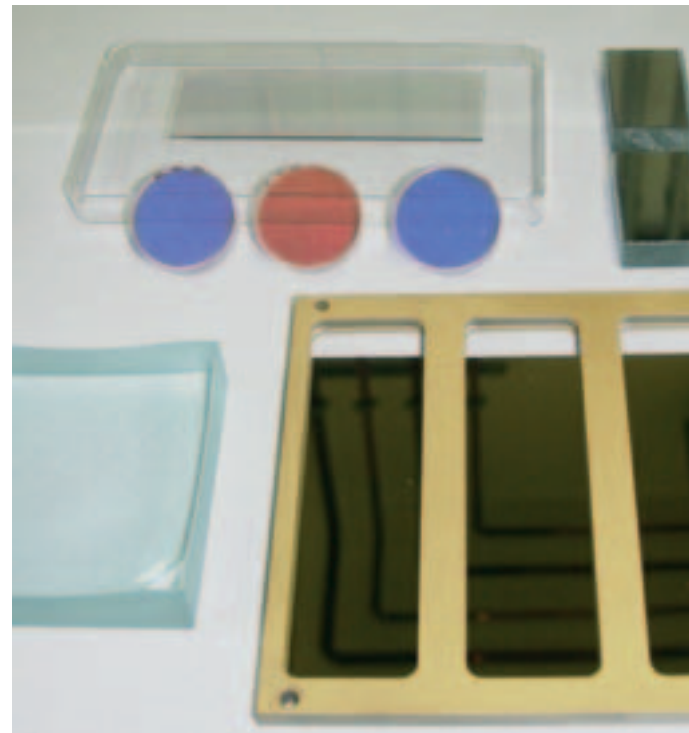
Wie erstelle ich einen Antrag zum Betrieb einer gentechnischen Anlage. Welche Vorschriften habe ich zu beachten, welche Anforderungen





Die Abteilung Optik beim Einstellen der Bedampfungsparameter

Muster beschichteter Oberflächen



müssen die Laboratorien erfüllen, welche Formblätter erleichtern mir die Pflicht zu Arbeitsaufzeichnungen, wie dokumentiere ich meine Unterweisung, was muss ich tun, wenn mein Projekt ausläuft; was ist bei behördlichen Besichtigungen zu beachten, meine Mitarbeiter müssen in einer fremden Firma mit radioaktiven Stoffen umgehen, welche Genehmigungen benötige ich; welche Fachkunde brauchen meine Mitarbeiter, wenn sie die Verantwortung über eine technische Röntgenanlage übertragen bekommen sollen, wie stelle ich einen Antrag zum Umgang mit radioaktiven Stoffen und was muss ich dabei beachten. Bei solchen oder ähnlichen Fragen hilft die Abteilung Gefahrstoffe und Umweltschutz. Falls erforderlich werden auch Anträge mit dem Anwender individuell erarbeitet. Dabei ist der Leitgedanke stets der, den Forderungen des Anwenders nach kreativen und unbürokratischen Lösungen einerseits und den gesetzlichen Vorgaben andererseits ausreichend gerecht zu werden. Dem Anwender kommen dabei die langjährige Erfahrung der Mitarbeiter aber auch deren Verhandlungsgeschick mit den Behörden zu gute.

Auch zu Fragen der Entsorgung von Sonderabfällen erhalten Sie Beratung, Informationen und praktische Tipps zu einschlägigen Vorschriften, die sich auf den Umgang mit Gefahrstoffen sowie die ordnungsgemäße Sammlung, Behandlung und Abgabe von chemischen und radioaktiven Abfällen beziehen. Daneben wird von der Abteilung auch die Entsorgung aller Sonderabfälle der Universität organisiert und durchgeführt. Diese Sonderabfälle fallen insbesondere in den experimentellen Forschungslaboratorien der Universität an. Die Handhabung dieser mannigfaltiger Sonderabfälle verlangt von den Mitarbeitern der Abteilung einen breiten Sachverstand und hohes Maß an Verantwortung.

Um die gesetzlichen Vorgaben an die besonderen Gegebenheiten einer Universität anzupassen, werden von der Abteilung Gefahrstoffe und Umweltschutz Richtlinien, Anweisungen entwickelt und praktische Ratschläge gegeben. Sie dienen den Mitgliedern der Universität als Verhaltens- und Handlungsregeln, die ihnen den Alltag erleichtern helfen.

Bei behördlichen Begehungen unterstützt die Abteilung die Mitglieder der Universität z. B. bei der Er-

langung der beantragten Genehmigung – ein Service, der von immer mehr Mitgliedern der Universität geschätzt wird.

Umfangreichen Informationen der Abteilung erhalten Sie auf unserer Internetseite.

Die Gruppe Gebäudemanagement betreut alle Gebäude der Universität Bayreuth in baulicher Hinsicht und arbeitet bei größeren Baumaßnahmen eng mit dem staatlichen Hochbauamt zusammen. Die Planung und Durchführung aller kleineren Bau- und Umbaumaßnahmen, Gebäude- und Schönheitsreparaturen wird von hier aus organisiert.

Zentrale Technik – Fleißige Helfer im Hintergrund



Der Gefahrgut-beauftragte der Universität beim Prüfen von zu entsorgenden Stoffen im Gebäude FAN

Der Zentralen Technik organisatorisch angegliedert ist der Sicherheitsingenieur (Fachkraft für Arbeitssicherheit), der die Universität in allen Sicherheitsfragen betreut. Er ist Ansprechpartner in Fragen des Arbeits- und Unfallschutzes und Koordinator des arbeitsmedizinischen Bereichs (Termine für Vorsorgeuntersuchungen, Impfungen etc.). Wichtig ist die Zusammenarbeit mit den Aufsichtsbehörden, wie dem Gewerbeaufsichtsamt oder unserem Unfallversicherungsträger, der Bayerischen Landesunfallkasse. Mit den ca. 60 Sicherheitsbeauftragten an den Lehrstühlen und Institutionen ist dadurch ein tragfähiges Netz im Bezug auf Fortbildung und Information in Sicherheitsfragen und bei den erforderlichen Mitarbeiterunterweisungen vorhanden.

Arbeitsplatzbegehungen werden regelmäßig mit dem Personalrat und der Betriebsärztin, Frau Dr. Pietschmann, durchgeführt. Durch jährliche Ersthelferkurse kann die Universität auch in diesem Bereich auf einen positiven Stand verweisen. Durch

die Schaffung der Info-Punkte auf dem Campusgelände der Universität ist die Grundlage für eine reibungslose Funktion der Rettungskette gelegt. Wichtig für Sie: Im Campusbereich besteht seit einiger Zeit die Möglichkeit bei einem Herzstillstand bei der Leitwarte der Zentralen Technik (2117) einen Defibrillator anzufordern. Weitere Informationen über die lebensrettende Funktion des Geräts, sowie die Download-Möglichkeit aller Unfallverhütungsvorschriften können Sie auf der Homepage des Sicherheitsingenieurs finden.

Das Außenreferat A7 der Zentralen Universitätsverwaltung stellt die Schnittstelle zwischen Verwaltung und Zentraler Technik dar und besorgt die hier anfallenden Verwaltungsaufgaben. Hier wären u.a. der Vollzug des Arbeitssicherheitsgesetzes, der Unfallverhütungsbestimmungen und aller sonstigen arbeitssicherheitsrechtlichen Vorschriften zu nennen, sowie die Bewirtschaftung der Kosten für Betrieb und Unterhaltung der Gebäude. Die Nutzung der Dienstfahrzeuge wird ebenfalls hier geregelt.

Wir hoffen, Sie konnten sich überzeugen, vor welchen Anstrengungen die Mitarbeiter der Zentralen Technik täglich stehen. Sicher können wir nicht alle Probleme lösen und manchmal lassen sich Verzögerungen beim Abstellen von Mängeln nicht vermeiden. Unter den gegebenen Umständen, unter Personal- und Mittelknappheit, mühen

sich jedoch fleißige und motivierte, hilfreiche Geister darum, ihren Beitrag zu leisten, dass die Universität Bayreuth erfolgreich in der Ausbildungs- und Forschungslandschaft bestehen kann und für ein angemessenes äußeres Erscheinungsbild – und hier würden wir uns über Ihre Unterstützung freuen, denn speziell in den Bereichen achtlos weggeworfener Müll und Schäden durch wildes Parken besteht noch ausreichend die Möglichkeit, dass jeder seinen Beitrag für ein gepflegteres Universitätsgelände leistet.

Weitere Informationen und den jeweils richtigen Ansprechpartner zur Lösung fast aller Probleme finden Sie auch auf unseren Internetseiten. ■

Der Defibrillator rettet bei Herzstillstand Leben - schnelles Handeln vorausgesetzt



apl. Prof. Dr. Erich Nestler, Lehrbeauftragter am LS Evang. Theol. II (Prof. Ritter)
 Dr. Günther Neubauer, Rechenzentrum
 Dieter Tröger, Rechenzentrum
 Dr. Bernhard L. Winkler, Rechenzentrum

„Heimseher“ oder „Fernhörer“?

„Religion am Donnerstag“ als Internet-Angebot

Wenn ein Internet-User eine Vorlesung über das Web verfolgt, ist er dann ein „Heimseher“ oder ein „Fernhörer“? Wenn sich eine Studierendengruppe an einer anderen Hochschule nach dem Vortrag live in die Diskussion „einbeamen“ lässt, handelt es sich dann um eine „Video-konferenz“ oder um eine „Hörsaal-übertragung“?

Solche Fragen stellen sich gegenwärtig im Vollzug virtueller Lehre an der Universität Bayreuth im Rahmen der Ringvorlesungen der Facheinheit Religion“. Sie sind ein Zeichen dafür, dass hier Formen der Kommunikation erprobt werden, die zwar bekannten technikbasierten Interaktionsformen wie Telefonieren, Radiohören und Fernsehen ähneln, jedoch gleichzeitig auch neu und ungewohnt sind.

Ein gutes Beispiel für Vernetzung und Clusterbildung im Hochschulbereich ist ein von apl. Professor Dr. Erich Nestler (Religionspädagogik) und dem Multimediateam des Rechenzentrums betriebenes Projekt, dessen Arbeitsergebnisse allen an Internet-basierten und digitalisierten Vorlesungen interessierten Hochschullehrern der Universität Bayreuth als Grundlage für eigene Vorhaben dienen können. Das nachfolgend beschriebene Verfahren hat sich bei verschiedenen Veranstaltungen (Internetübertragungen der Weihnachtsvorlesungen, den Besuch der Bundesministerin Buhmann und das Geburtstagskolloquium zu Ehren des ehemaligen Universitätspräsidenten Professor Büttner) bewährt und wurde nach einer mehrjährigen Erprobungsphase in das Dienstangebot des Rechenzentrums gehörend eingestuft. Die Fotos in diesem Beitrag stammen von Jasmin Nestler und Dieter Tröger.

In the Beginning

Im Sommersemester 2001 begannen apl. Prof. Dr. Erich Nestler, Lehrbeauftragter am Lehrstuhl Evangelische Theologie II (Religionspädagogik) und Dr. Günther Neubauer, (Rechenzentrum), mit wöchentlichen Live-Übertragungen von Vorlesungen der Reihe „Religion am Donnerstag“ an der UBT. Dies wurde möglich durch die intensive Zusammenarbeit der Facheinheit Religion mit dem Multimedia-Team des Rechenzentrums der Universität Bayreuth. Ausgestattet mit einer Videokamera der gehobenen Hobbyklasse und einem Funkmikrofon begannen die ersten

Versuche. Ein alter PC wurde zum „Sende-Rechner“ umfunktioniert. Jeden Donnerstag gegen 17 Uhr konnte man zwei Männer ein Wägelchen, das mit den nötigen Gerätschaften beladen war, vom Rechenzentrum zum Gebäude der Kulturwissenschaftlichen Fakultät schieben sehen. Im Hörsaal 27 wurde aufgebaut, die Verbindung zum Server getestet und dann strömten schon die ersten Hörerinnen und Hörer zu Professor Küglers Vorlesung. Noch während des laufenden Semesters wurde der alte PC durch einen modernen Laptop ersetzt.



Dr. Bernhard Winkler baut die linke Seitenkamera auf



Real-Screen mit Prof. Werner Ritter



Dieter Träger bedient die Seitenkameras des Hörsaals



Dr Winkler überprüft den Powerpoint-Vorspann



Das Funkmikrofon ist gewöhnungsbedürftig



Die Seitenkameras werden in einem Depot gelagert

„Heimseher“ oder „Fernhörer“?

Umzug

Der Hörsaal 27 erwies sich bald als zu klein für den großen Ansturm an ZuhörerInnen und für das Wintersemester 2001/02 zog „Religion am Donnerstag“ zu den Naturwissenschaftlern in den Hörsaal 18 um. „Ars Moriendi. Vom Umgang mit Sterben und Tod“ hieß das neue Thema. In dem Regieraum des Hörsaals wurde als Nachfolger des Laptop ein noch leistungsfähigerer PC permanent installiert und eine semiprofessionelle Kamera stand zur Verfügung, mit der aufgrund des Standortes im Regieraum allerdings immer noch nur der Vortragende nicht jedoch die in der an den Vortrag anschließenden Diskussionsphase aktiven Zuhörer aufgenommen werden konnten. Ebenso kam ein Audiomischpult hinzu, über das die Mikrophone des Sprechers, des Moderators und der Diskutanten geregelt werden konnten.

„Heimseher“ und „Fernhörer“

Ein kameratechnisch großer Sprung nach vorne bestand seit dem Wintersemester 2002/2003 in der Verfügbarkeit der beiden im Hörsaal 18 eingebauten Seitenkameras. Zusammen mit der bereits vorhandenen Kamera und der Powerpoint-Präsentation des Dozenten konnte nun an einem professionellen Videopult, bedient von Dr. Bernhard Winkler, zwischen vier Bildquellen geschnitten werden. Ebenso wurde das Audiomischpult erweitert, so dass es den „Heimsehern“ per Telefon möglich wurde, sich an der Diskussion zu beteiligen, womit sie aus der Rolle der passiv konsumierenden „Fernhörer“ herausgeholt und zu aktiven Teilnehmern der Lehrveranstaltung aufgewertet wurden. Weiter aufgewertet wurden die Heimarbeitsplätze durch die Möglichkeit, dass die Fragesteller per Internet-Videokonferenz während des Fragestellens auch im Hörsaal gesehen werden können. Dabei macht es keinen Unterschied, ob sich der In-

ternetteilnehmer nun im heimischen Wohnzimmer befindet, oder in einem Hörsaal einer anderen Hochschule eine ganze Gruppe von Zuschauern anwesend ist.

Regelmäßige Zuhörer waren z.B. Studierende von Prof. Dr. Wolfgang Stegemann von der Augustana-Hochschule, der theologischen Hochschule der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Bayern.

Aufwand

Der umfangreichere Technikeinsatz hat jedoch auch seinen Preis. Konnte anfangs eine einzige Person übertragen, so benötigen jetzt Audiomisch- und Videoschnittpult je eine Arbeitskraft. Aber auch für den Vortragenden erhöht die Übertragung den Arbeitsaufwand bei der Vorbereitung. Für in der Vorlesung verwendete Bild- und Tondokumente muss jeweils sichergestellt werden, dass mit der Übertragung dieser Werke keine Copyrightansprüche verletzt werden. Eine Verwendung von Musikstücken in der Übertragung ist auch hinsichtlich möglicher GEMA-Ansprüche zu überprüfen.

Multimedia

Neben der Live-Übertragung wurden die Vorlesungen nun gleichzeitig auf Super-VHS-Kassette aufgezeichnet. Von dieser Kassette wurden nicht nur eine gegenüber der Live-Sendung qualitativ besser digitalisierte Konserve im Internet zum jederzeitigen Ansehen abgelegt, sondern auch Video-CDs ins Angebot aufgenommen. Einen weiteren Qualitätssprung brachte das Wintersemester 2003/04. Seit diesem Zeitpunkt werden die Archivfassungen der Vorlesungen neben dem Realformat für das Streaming in MPEG-2-Qualität zum Herunterladen angeboten. Die Video-CDs wurden von DVDs abgelöst. Dadurch nahm zwar der Zeitaufwand bei der Herstellung der Archivfassungen zu, aber auch Bild- und Tonqualität sind seither deutlich

„Religion am Donnerstag“ als Internet-Angebot

besser. Möglich wurde dieser Schritt zur höheren Qualität durch die Aufstellung eines speziellen Multimedia-Servers (<http://mms.uni-bayreuth.de>).

Hochschuldidaktischer Versuch

Im Wintersemester 2002/03 sammelte apl. Prof. Dr. Erich Nestler erste Erfahrungen mit der Verwendung der aufgezeichneten Arsmoriendi-Vorlesung in einer Präsenzveranstaltung, einer „virtuellen Vorlesung“ mit Übung. Als fruchtbare Unterrichtsmethode erwies sich dabei eine kombinierte Arbeitsform: Im Anschluss an das gemeinsame Betrachten kleiner Videoabschnitte – mit einer Länge von 15 bis 20 Minuten – wurde in einem dem Lehrveranstaltungstyp Seminar entlehnten Arbeitsstil gearbeitet. Auf diese Weise konnte in Plenumsdiskussion, Gruppen- oder Einzelarbeit vertiefend an den Inhalten der Vorlesungsvideos gearbeitet werden. Für diesen Unterrichtsstil gab es zwei Gründe. Zum einen bestand die Lerngruppe nur aus fünf Studierenden und dem Dozenten. Zum anderen sind Motivation und Aufmerksamkeit der Lernenden mit der Videofassung einer Vorlesung schwieriger zu gewährleisten als in einer Präsenzveranstaltung. Dies funktioniert jedoch gut, wenn die Aufmerksamkeit durch die Anwendung unterschiedlicher Lern- und Kommunikationsformen, in die thematisch ausgewählte Videosequenzen eingebunden sind, immer wieder neu angeregt wird.

Didaktische Schlussfolgerungen

Die nicht repräsentativen Lehr- und Lernerfahrungen eines Semesters deuten an, dass eine Lehrveranstaltung, in die ein virtuelles Medium eingebaut wird, spannend gestaltet werden kann. Es würde jedoch schwierig sein, die Aufmerksamkeit Studierender mit der alleinigen Verwendung der Videoaufzeichnungen von Vorlesungen in einem Kurs zu

gewährleisten. Aus diesem Grund würden isolierte virtuelle Vorlesungen sicher zu keinem Schwinden der Teilnehmerzahlen in regulären Präsenzveranstaltungen führen. Jedoch erscheinen Videoaufzeichnungen von geeigneten Themen mit darauf abgestimmtem zusätzlichem Lehrmaterial für ganzjährig im Berufsleben stehende im Rahmen der Weiterbildungsaufgabe, die das neue Hochschulgesetz den Universitäten aufgibt, durchaus sinnvoll. Sinnvolles zusätzliches Lehrmaterial wären kurze Inhaltsbeschreibungen der Videos, Verständnisfragen und interaktiv bearbeitbare, programmierte Klausuren, die über eine Webseite bearbeitbar sind.

Verlässlichkeit der Technik

Hinsichtlich der technischen Hilfsmittel – Laptop, Abspiel-Software und Beamer etc. – ist es empfehlenswert, die gleichen Geräte zu verwenden, um ein zügiges Aufbau vor der Lehrveranstaltung und einen flüssigen Unterricht gewährleisten zu können. Ebenfalls als wichtig erwies sich die Nutzung des gleichen Raumes über das gesamte Semester hinweg, damit aufgrund einer konstanten Netzwerkkonfiguration das Lehrmedium zuverlässig aus dem Internet bzw. dem Intranet der Hochschule abgerufen werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass

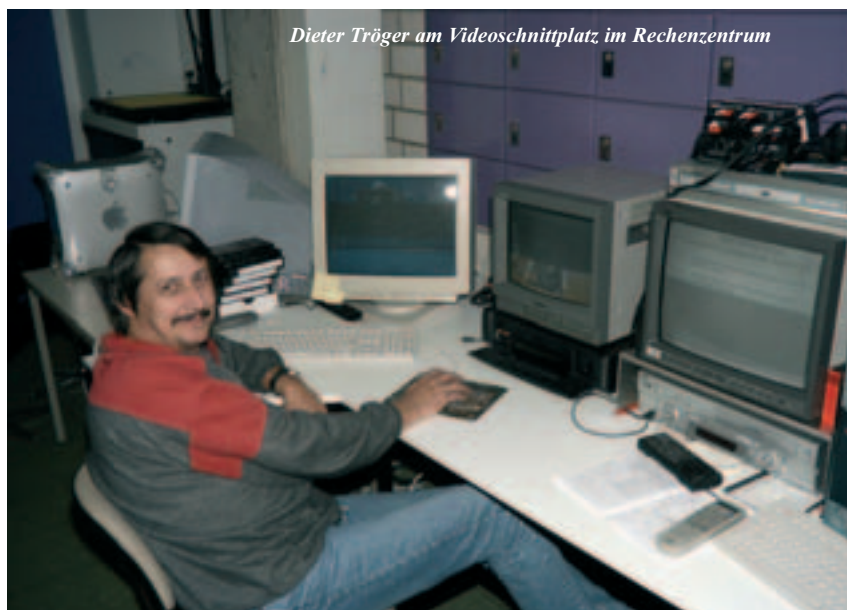
das in einer Sitzung benötigte Video von einer CD-ROM, einer DVD oder - noch besser - direkt von der Festplatte des Laptops abgerufen wird. Didaktisch fantasievoll konzipierter akademischer Unterricht und Verlässlichkeit der technischen Umgebung tragen gleichermaßen zum Gelingen einer sowohl die Studierenden als auch die Lehrenden befriedigenden Lehrveranstaltung bei. ■

Internetadresse:

<http://www.reli-im-netz.uni-bayreuth.de/live.htm>



Günther Neubauer am Audiomischpult



Dieter Tröger am Videoschnittplatz im Rechenzentrum

Prof. Dr. Jürgen E. Müller



Wissenschaftlicher Werdegang

Jürgen E. Müller wurde 1950 in Berchtesgaden geboren und studierte an den Universitäten Konstanz und Bristol Anglistik, Romanistik, Germanistik und Soziologie (Lehramt und M.A.). Im Anschluss an sein Studium war er an der Fachgruppe Soziologie der Universität Konstanz als Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprojekt „Analyse unmittelbarer Kommunikation als Zugang zum Problem der Konstitution sozialwissenschaftlicher Daten“ tätig (Leitung: Thomas Luckmann und Peter Gross.) Darauf folgte 1978 eine Anstellung als Assistent am

Romanischen Institut der Ruhr-Universität Bochum, an der er 1980 mit seiner Schrift „Literaturwissenschaftliche Rezeptionstheorien und empirische Rezeptionsforschung“ promovierte. 1982 legte er in Tübingen die zweite Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien ab und war in der Folge ein Jahr als Studienassessor tätig. Parallel zur Tätigkeit als Gymnasiallehrer nahm er erst eine Teilzeit-Stelle und nach dem definitiven Wechsel an die Universität eine Vollzeit-Stelle eines Wissenschaftlichen Angestellten am Lehrstuhl Romanistik I der Universität Mannheim wahr (1984-1988). Schwerpunkte der Lehre und Forschung an der Universität Mannheim lagen in den Bereichen der modernen französischen Literatur

und der Medien. Nach einer kurzen Phase der Lehrtätigkeit an der Universität Salzburg erhielt er 1989 einen Ruf als „Universitär Hoofddocent“ an das Institut für Theater- und Medienwissenschaft der Universität van Amsterdam, wo er bis zum Ende des Jahres 2002 lehrte und forschte. In dieser Zeit verfasste er seine Habilitationsschrift mit dem Titel „Intermedialität: Formen moderner kultureller Kommunikation“, die im Jahre 1996 an der Universität Mannheim eingereicht wurde. In den letzten Jahren wurde er als Gast- und Vertretungsprofessor an folgende Universitäten eingeladen: Université de Montréal, Universität Passau, Universität Wien und Universität Salzburg.

Akademische Aktivitäten in Lehre und Forschung

Jürgen E. Müller wurde in den vergangenen Jahren zum Vorsitzenden bzw. Vorstandsmitglied verschiedener wissenschaftlicher Vereinigungen und Sektionen gewählt, z.B. zum Vorsitzenden der Deutschen Gesellschaft für Semiotik (1993-1999), zum Gründungsmitglied des internationalen Forschungszentrums CRI (Centre de Recherche sur l'Intermedialité, Université de Montréal) und zum Mitglied der Salzburger Forschergruppe SIGMA. Seit 1990 ist er Herausgeber der wissenschaftlichen Reihe Film und Medien in der Diskussion (Münster, Nodus).

Er organisierte die internationalen wissenschaftliche Kongresse an der Universität van Amsterdam „Towards a Pragmatics of the Audiovisual“ (1992), „Culture – Sign- Space“ (1996), initiierte und leitete zahlreiche medienwissenschaftliche Sektionen auf internationalen Tagungen, z.B. auf dem Kongress der „WORD & IMAGE Studies“ in Dublin (1996) und war langjähriger Leiter der Sektion „Audiovisions and History“ der International Summer School „New Methods in History“ (Salzburg/Bergen).

Sein Fachgebiet umfasst die audiovisuellen Medien in ihrer ganzen Breite, d.h. vom ‚frühen‘ Medium Film, über Rundfunk und Fernsehen bis zu den sogenannten ‚Neuen Medien‘. Als Leitfaden der Lehre und Forschung dient die Frage nach den (sozialen, ästhetischen, kognitiven und emotionalen) Funk-

tionen der audiovisuellen Medien und deren spezifischer ‚Gattungen‘. Die Annäherung an die einzelnen Medien und an deren Formate geschieht auf einer kulturwissenschaftlichen und semiologischen Basis. Es gilt Antworten auf die Fragen zu finden: Was ‚tun‘ uns die Medien und wie gehen wir mit diesen um? Dabei zielt das Interesse der Medienwissenschaft sowohl auf eine theoretische Reflexion als auch eine historische Re-Konstruktion dieser Prozesse. Besonderes Augenmerk wird in diesem Zusammenhang auf die Prozesse medialer Beziehungen gelegt, die sich auf den Ebenen der medialen ‚Apparate‘ (bzw. ‚Dispositive‘), der medialen Produktionen sowie deren ästhetischer und gattungsspezifischer Verfahren manifestieren. Anders gesagt: Medien und deren Produkte werden nicht als isolierte Einheiten, sondern als inter-mediale und prozesshafte Geflechte analysiert. Diese Forschungsachse justiert sowohl theoretische als auch historische Perspektiven, z.B. zum Verhältnis von frühem Fernsehen und Film oder von digitalen Medien und dem Theater, wie es sich etwa in den neuen Formen der „Internet Performances“ herausbildet.

Aktuelle Projekte und Forschungsinteressen

An der Universität Bayreuth leitet Jürgen E. Müller das neu eingerichtete Medienlabor, welches für Lehre und Forschung die räumlichen und technischen Möglichkeiten zur Produktion und Analyse audiovisueller Produkte bereit stellt. Er ist zudem Leiter des Universitäts-

projektes Campus-TV, das als „Fernsehen von Studenten“ regelmäßig Informationen zur Hochschulregion im Regionalsender TV Oberfranken ausstrahlt.

Gemeinsam mit Kollegen des CRI (Centre de recherche sur l'intermedialité) an der Université de Montréal und an der Sorbonne arbeitet J.E. Müller derzeit an einem Forschungsprojekt zu einer intermedialen und vernetzten Geschichte der audiovisuellen Medien. In diesem Projekt werden die historischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Medien und deren Einfluss auf den Funktionswandel einzelner Medien und Gattungen in spezifischen sozialen und historischen Kontexten untersucht. Im Zentrum dieses Projekts steht somit die Re-Konstruktion intermedialer Prozesse und deren Auswirkungen auf unseren Medien-Alltag.

Der Zusammenhang von Geschichte und Medien steht für Jürgen E. Müller auch in einem weiteren Forschungsprojekt zentral. Mit Kollegen der Forschergruppe SIGMA (Salzburg/Paris) forscht er zur Frage der Re-Präsentation von Geschichtsbildern (im wörtlichen und übertragenen Sinne) in audiovisuellen Medien, insbesondere in Film und Fernsehen. Die letztgenannten Medien haben entscheidenden Anteil am Zustandekommen von Geschichte(n) in unseren westlichen Gesellschaften und an der Ausformung kultureller Identitäten. In diesem Projekt wird vor dem theoretischen Hintergrund von Semio-Historie und New Historicism untersucht, in welcher Form und mit welchen möglichen oder realisierten Funktionen Geschichtsbilder in unseren zeitgenössischen audiovisuellen Medien zirkulieren. ■

Reflexion durch Produktion

Ob in der Wissenschaft, dem Berufsleben oder der Freizeit - Medien sind allgegenwärtig. Kaum jemand kommt ohne sie aus. Sei es Fernsehen, Film, Radio oder Internet. Doch um die Entstehungsprozesse und Wirkungsweisen weiß der normale Rezipient kaum bescheid. Die aufgenommenen Zeichen und Codes werden heute von der breiten Allgemeinheit kaum mehr hinterfragt. Aus diesem Grund will die Medienwissenschaft in Bayreuth vor allem eine aktive Medienkompetenz vermitteln.

Das eigens konzipierte Medienlabor bietet den Studenten des Studiengangs „Theater & Medien“ die Möglichkeit die Produktionsprozesse der verschiedenen Medienbranchen nachzuvollziehen und anzuwenden. Wie entsteht eine Nachricht, eine Fernsehsendung, ein Hörspiel, ein Kurzfilm? Der Weg von der Idee zum medialen Produkt muss bekannt sein, will man die audio-visuellen Medien wissenschaftlich betrachten.

Die Ausstattung umfasst alle nötigen Geräte für zeitgemäße Medienarbeit: angefangen beim linearen Schnittsystem im BetaSp-Format, mit entsprechenden professionellen Kameras, Blue- und Green-Screen-Anwendungen, über Avid-Schnittplätze für den nonlinearen Schnitt, bis hin zu einem Tonstudio für Audio-Produktionen.

Für die Studenten steht somit ein Pool an Technologien zu Verfügung, die es jedem Einzelnen ermöglicht selbstständig auf seinem individuellen Level zu arbeiten, bzw. sich in alternativen Arbeitsweisen zu erproben und zu spezialisieren. So wird

theoretisches Wissen anschaulich und nachvollziehbar.

Doch was heißt das konkret? Was entsteht im Medienlabor?

Zum Einen werden in Präsentationen zu regulären Seminaren stets kleinere Werkstücke eingebunden. - Wie unterscheidet sich etwa die Berichterstattung deutscher, französischer und amerikanischer Medien? - Diese Frage lässt sich am einfachsten im direkten Vergleich beantworten. Zusammenschnitte einzelner Nachrichten-Beiträge, zeigen den Seminarteilnehmern zum Beispiel den Umgang der Medien mit verschiedenen politischen Themen. Aber auch Umfragen lassen sich realisieren und auf professionelle und aktuelle Weise zu bestimmten Seminarthemen präsentieren. Grundlagenwissen zu Produktions- und Montageverfahren, der einzelnen Genres im Filmbereich oder der TV-Formate, wird durch die direkte Anwendung erfahrbar. Dabei liegt ein Hauptaugenmerk auf der Aufdeckung der Konstruktion der Gattungen und der mitschwingenden Wirkungsoptionen zwischen Produzent und Rezipient.

Andererseits gibt es aber auch die Option selbstständig an eigenen Projekten zu arbeiten. So entstehen zum Beispiel Kurzfilme, Dokumentationen, Hörspiele & Audiocollagen und eben auch Fernsehberichte für Campus-TV.

Am Projekt „Campus-TV“, dass übrigens seit dem 3. Dezember 2003 über den Äther geht, zeigt sich schnell was nötig ist um einen auch noch so kurzen Beitrag zu gestalten. Schaut man im Fernsehen einen konventionellen Fernsehbericht von ca. 1:30min ist dem Zuschauer in der Regel nicht bewusst was dahintersteckt. Von der Idee zum realisierten Produkt ist es ein gar nicht so kurzer Weg, der konzeptionelles Denken, Organisation und Planung verlangt. Allein das für einen derartigen Bericht notwendige Rohmaterial übersteigt schnell das 10 bis 20fache der geplanten Sendelänge.

Das Bild- und Tonmaterial muss dann von den Redakteuren gemeinsam mit dem Cutter gesichtet und digitalisiert werden, um dann an einem der Avid-Systeme für die Sendung geschnitten zu werden.

Von der ersten Redaktionskonferenz, über die Studioaufzeichnung, bis hin zur Abnahme der fertigen Beiträge lässt sich Fernsehen hinter den Kulissen hautnah erleben. Doch auch bei CampusTV kommt die mediale Reflexion nicht zu kurz. Denn was liegt näher als das Verhalten der Zuschauer zu analysieren und damit die Wirkungen der einzelnen Programmbestandteile Offenzulegen. In der Rubrik Media&Culture nimmt das Medium dann sogar Bezug zu sich selbst. - Wer weiß heute schon noch, wie das Fernsehen ursprünglich aussah, wie es verwendet worden ist und wie es sich entwickelt hat? Die Unterschiede der Apparaturen, der Dispositive, und ihre Auswirkungen auf die jeweilige historische Produktions- und Rezeptionsweise treten ebenfalls zu Tage. Wiederum vereint: technisches Basiswissen aus den Seminaren und konkrete Anwendung in den Übungen und Projekten.

Vorraussetzung für die Praxisorientierung im Studium sind Kooperationen innerhalb und außerhalb der Universität, so zum Beispiel mit Medienprofis diverser Radio-, Fern-

sehstationen und Produktionsgesellschaften. Diese spezielle Zusammenarbeit dient vor allem der Sicherung des Know-hows. Denn sowohl das technische Wissen, als auch die Kenntnisse über bestimmte Abläufe auf Organisations- und Administrationsseite sollen dem aktuellen Stand entsprechen.

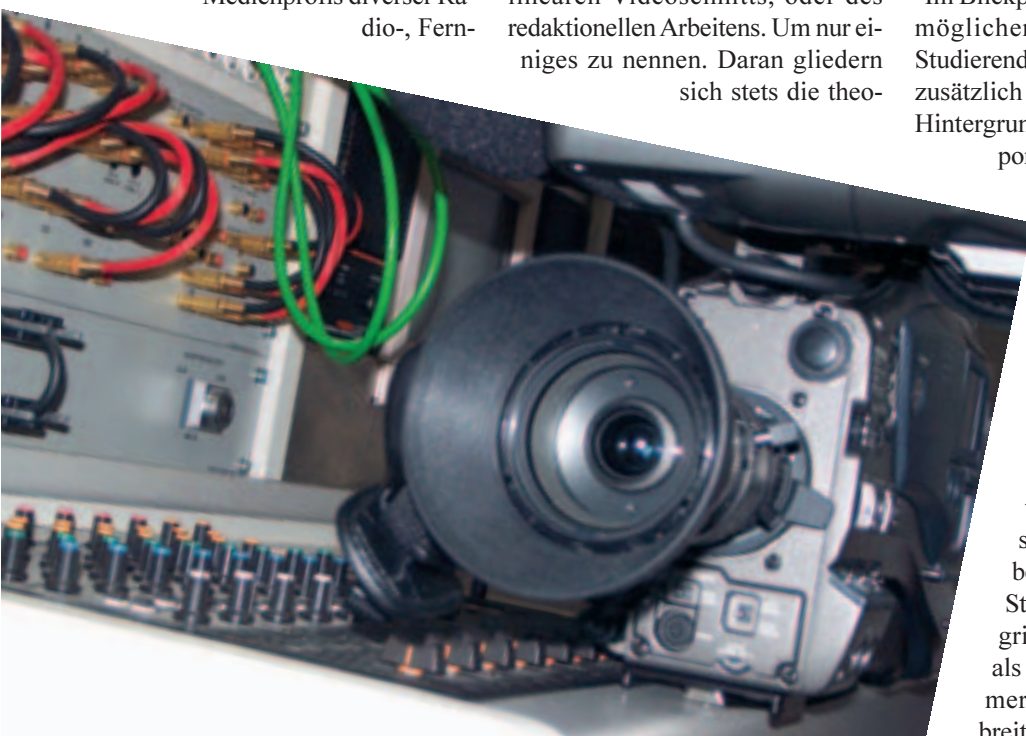
Die Studierenden werden in die Techniken der modernen A/V-Produktion eingeführt. Und das obgleich im Bereich der Kameraarbeit, der Tontechnik, des digitalen bzw. nonlinearen oder analogen bzw. linearen Videoschnitts, oder des redaktionellen Arbeitens. Um nur einiges zu nennen. Daran gliedern sich stets die theo-

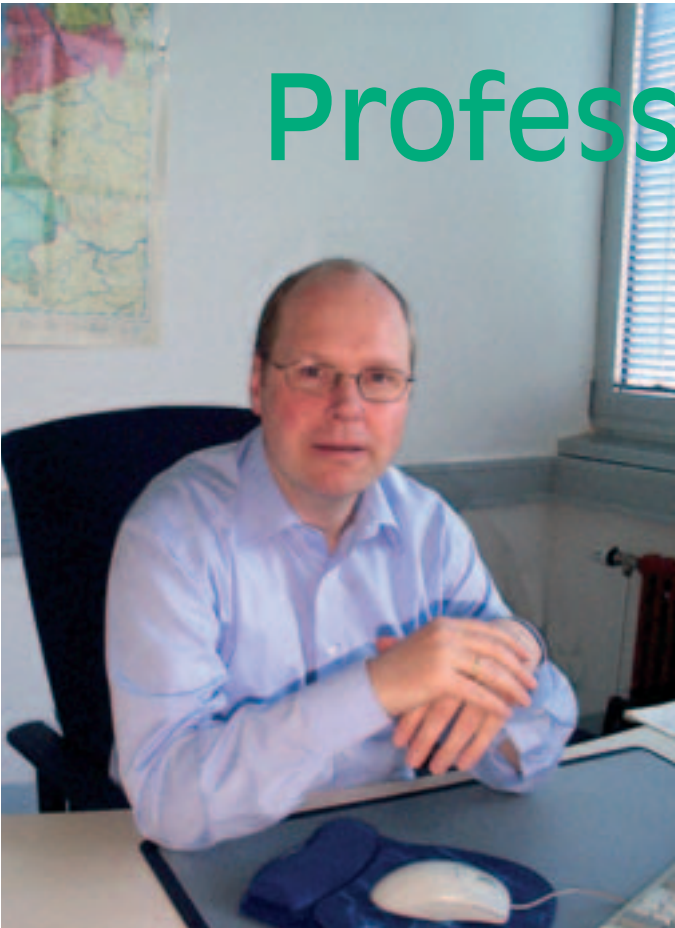
retische Reflexion und die eigenständige, dennoch betreute Realisation diverser themenbezogener Projekte.

Die Verbindung von theoretischer Reflexion und praktischer Realisation gewährleistet somit die Praxisnähe der medienwissenschaftlichen Studiengänge der Universität Bayreuth.

Im Blickpunkt stehen aber auch die möglichen Berufsfelder für die Studierenden. Das Medienlabor soll zusätzlich zum wissenschaftlichen Hintergrund die praktischen Komponenten für Tätigkeiten im

gesamten Medienmarkt bieten. Sei es nun für Produzenten, Dramaturgen, Redakteure, Cutter und andere. Aber auch in den Bereichen der Medien-/Multimediakunst sollen Perspektiven aufgezeigt und praktisch erprobt werden. Als spezielle Ausbildung für bestimmte Berufe kann das Studium natürlich nicht begriffen werden. Wohl aber als solide Basis für eine immer notwendiger werdende breite Medienkompetenz. ■





Professor Martin Leschke

hin zu der Analyse von Verfassungen und internationalen Abkommen und Organisationen (z. B. Regeln der Welthandelsorganisation). Neben diesem Forschungsgebiet beschäftigt sich Professor Leschke vor allem mit Fragen der Geldpolitik und der Wirtschaftspolitik, insbesondere in Europa.

„Die Institutionen bestimmen die wirtschaftliche Entwicklung“

Martin Leschke wurde am 2. März des Jahres 1962 in Oberhausen geboren, er ist verheiratet und hat drei Kinder. An das Studium der Volkswirtschaftslehre an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster schlossen sich 1992 die Promotion und 1994 ein einjähriger Forschungsaufenthalt (gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, kurz: DFG) an der George Mason University in Fairfax, VA (USA) an. Nach der Habilitation Ende 1998 vertrat er im Wintersemester 2001/2002 den Lehrstuhl für Wirtschaftspolitik an der Universität Kassel. Seit März 2002 lehrt er an der Universität Bayreuth Volkswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Institutionenökonomie. Sein Hauptforschungsgebiet, die Institutionenökonomie, erstreckt sich von der Untersuchung von Langzeitverträgen über die Wirkung verschiedener formeller Regeln (wie sie in Gesetzeswerken kodifiziert sind) und informeller Regeln (Sitten, Gebräuche und Regeln der Moral) bis

Bis in die späten 1980er Jahre und sogar noch zu Beginn der 1990er Jahre war die Standardantwort vieler Ökonomen auf die Frage „Was ist zu tun, um Wohlstand und Wachstum eines Landes zu erhöhen?“: Ergreift Maßnahmen zur Erhöhung der Sparquote, das erhöht die Investitionen und führt zu Wachstum und Wohlstand! Diese Standardformel übersieht nahezu alles, was die Wirtschaftswissenschaft an grundlegenden Erkenntnissen bereits zusammengetragen hat. Sie fordert entgegen aller ökonomischen Vernunft die Bürger vorwiegend armer Staaten auch noch auf, ihre äußerst knappen Mittel in ein Fass ohne Boden – nämlich in das marode Wirtschaftssystem – zu schütten. Welch eine verhängnisvolle Politikempfehlung, die in der Regel dazu führt, dass die Reichen in den armen Ländern reicher und die Armen noch ärmer wurden.

Bereits der schottische Moralphilosoph Adam Smith (1723–1790), der als der Begründer der Wirtschaftswissenschaft zählt, hat darauf hinge-

wiesen, dass es für Wachstum und Wohlstand einer freiheitlichen Wettbewerbswirtschaft bedarf, die auf unparteiischen, allgemeinen Regeln fußt und eines Staates, der sich um die Infrastruktur- und die Bildungsinvestitionen kümmert. Die Weisheit der klassischen Ökonomen geriet dann im Zuge der Mathematisierung der ökonomischen Wissenschaft zunehmend in Vergessenheit. Gegenströmungen, zu denen die Deutsche Historische Schule (Gustav Schmoller) und der ältere amerikanische Institutionalismus (J.R. Commons) zu rechnen sind, fehlte es an argumentativer Schlagkraft, um die Dominanz der institutionenentleerten Wirtschaftstheorie der Neoklassik und des Keynesianismus' zu brechen. Erst mit dem Ordoliberalismus in Deutschland und der Neuen Institutionenökonomik wurde und wird seit den 1960er Jahren der Mainstreamökonomik Paroli geboten.

Bereits vor und während des zweiten Weltkriegs hat eine Gruppe von (ordoliberalen) Ökonomen und Juristen unter der intellektuellen Führung von Walter Eucken die institutionellen Grundpfeiler eines Wettbewerbssystems dargelegt, das zugleich effizient, gerecht und sozial sein soll. Konkret verpflichtet die Gruppe um Eucken den Staat darauf, sich bei seiner (Wirtschafts-) Politik an bestimmten Prinzipien zu orientieren, die der Etablierung bzw. Beibehaltung einer funktionsfähigen Wettbewerbsordnung dienen. Als wichtigste konstituierende Prinzipien nennt Eucken die Währungsstabilität (Vermeidung von Kosten der Inflation), die Offenheit von Märkten für neue Anbieter und Nachfrager

(Stärkung des Wettbewerbs und Vermeidung von Marktmacht), die Gewährung von Privateigentum (Gewährung von privaten Verfügungsrechten, um Investitionsanreize zu schaffen) und von Vertragsfreiheit (Tauschakte zum wechselseitigen Vorteil ermöglichen), die Etablierung von Haftungsgrundsätzen (Vermeidung des Überwälzens von Risiken auf Dritte) sowie die Schaffung von Erwartungssicherheit durch eine vorhersehbare, an den genannten Prinzipien ausgerichtete Wirtschaftspolitik.

Die wissenschaftlichen Analysen zur Entwicklung von Volkswirtschaften in der Geschichte des Nobelpreisträgers Douglass North und auch die neueren Ausführungen von Hernando de Soto in seinem jüngst erschienen Buch „Freiheit für das Kapital“ belegen in überzeugender Art und Weise die Wichtigkeit grundlegender institutioneller Bedingungen für das Prosperieren von Wirtschaftsräumen. Allein die Etablierung eines allgemein akzeptierten ausdifferenzierten Systems von Eigentumsrechten würde den volkswirtschaftlichen Wert vorhandenen Besitzes in unterentwickelten Ländern und den Umfang allseitig vorteilhafter Tauschakte astronomisch in die Höhe schnellen lassen. Wenn das aber so ist, warum wird ein adäquates Regelsystem dann nicht eingeführt?

Die Ökonomen (und Nobelpreisträger) Friedrich von Hayek, James Buchanan und Douglass North haben nachdrücklich darauf hingewiesen, dass zwei zentrale Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit ein erfolgreiches Regelsystem für den Markt etabliert werden und Bestand haben kann: Erstens müssen die Individuen einer Gesellschaft überwiegend ein Gespür für die Vorteilhaftigkeit von Wettbewerbslösungen, also von Freiheit und Markt entwickeln bzw. entwickelt haben. Zweitens muss der Staat selbst in der Lage sein, ein Rechtssystem allgemeiner, abstrakter Regeln gegen Angriffe privater und staatlicher Gruppierungen zu ver-

teidigen; denn das beste formale Rechtssystem ist nichts Wert, wenn es durch Übertritte und Korruption ausgehöhlt wird. Letztere Aufgabe wird der Staat nur dann zufrieden stellend lösen können, wenn er durch eine Verfassung gebunden ist, die den Politikern Anreize gibt, stets nach besseren Wegen zur Verwirklichung des Gemeinwohls zu suchen, anstatt eine Klientelpolitik zu betreiben.

Aus dem Gesagten folgt sicherlich unmittelbar, dass eine Entwicklungspolitik nur dann nachhaltig erfolgreich sein kann, wenn sie (a) an den grundlegenden Institutionen anknüpft, (b) die Menschen vor Ort behutsam in die „Geheimnisse“ des Wohlstands der entwickelten Staaten einweihet und (c) nach Wegen der Umsetzung mit den Betroffenen sucht, die die Frage einschließen, wie sich die privaten und staatlichen Gruppen glaubhaft an die zu schaffende Ordnung binden können (Lösung des Glaubwürdigkeitsproblems).

Aber auch die Probleme der entwickelten Staaten wie Deutschland, Frankreich und anderer sind vielfach institutioneller Natur. Die derzeitige Wachstumsschwäche und hohe Arbeitslosigkeit vieler OECD-Staaten ist vorwiegend auf institutionelle Defizite zurückzuführen. Zwar sind in den entwickelten Staaten die grundlegenden Eigentumsrechtsstrukturen und auch die Verfassungen vergleichsweise intelligent konzipiert, dafür lassen die institutionellen Strukturen in den Sozialversicherungs- und Steuersystemen sowie auf den Gesundheits- und Arbeitsmärkten deutliche Defizite erkennen. So wurden in Deutschland durch die Gewährung weit reichender Abschreibungsmöglichkeiten diejenigen westdeutschen Unternehmen noch belohnt, die marode ostdeutsche Betriebe aufkauften und dann nicht investierten. Produktive Mehrarbeit wurde und wird in Deutschland durch steigende Steuersätze (Einkommensprogression) sanktioniert. Der Faktor Arbeit wird durch permanent

steigende Abgabenlasten immer teurer bei stagnierenden bzw. leicht sinkenden realen Nettolöhnen. Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren wird im Gesundheitswesen bisher kaum genutzt.

Die Kluft zwischen dem, was politisch bisher umgesetzt wurde, und dem, was institutionenökonomisch notwendig erscheint, ist in Deutschland trotz einiger begonnener Reformen im Gesundheits-, Sozial- und Steuersystem sowie auf dem Arbeitsmarkt nach wie vor groß. Als Daumenregel lässt sich sagen: Solange die Staatsquote, die zur Zeit in Deutschland knapp 50 % beträgt, nicht nachhaltig deutlich unter 40 % zurückgeführt wird, bestehen noch weit reichende Möglichkeiten, leistungsstaatliche Aufgaben zu privatisieren, d.h. funktionsfähige Märkte entstehen zu lassen.

Diese Ausführungen belegen, dass die Welt voller Herausforderungen für den Institutionenökonom steckt. Viele grundlegende wirtschaftliche Probleme in den unterentwickelten und in den entwickelten Staaten sind institutioneller Natur. Oft erscheinen die institutionellen Lösungen für den Fachmann oder die Fachfrau banal. Die Schwierigkeit liegt aber eben darin, dass Institutionen von Menschen getragen und akzeptiert werden müssen. Und diese Akzeptanz setzt ein gewisses Grundverständnis für die Funktionsweise von Regelsystemen voraus. Deshalb reicht es nicht aus, wenn Politiker kurz von Spezialisten „gebrüht“ werden. Vielmehr bedarf es neben der Politikerberatung vor allem auch einer Politikberatung verstanden als einer Aufklärung der Bürger über die grundlegenden Wirkungen von Institutionen. Nur wenn auch diese Art der Bildung erfolgreich betrieben wird, werden wir in Zukunft unsere vielfältigen Knappheitsprobleme effizient(er) und gerecht(er) lösen können. ■

Angewandte Informatik III

Robotik und Eingebettete Systeme



Professor Dr.
Dominik Henrich,
Inhaber des Lehr-
stuhl Angewandte
Informatik III -
Robotik und Eingebettete Systeme

Akademischer Werdegang

Prof. Dr. Dominik HENRICH wurde 1965 in Ulm an der Donau geboren und absolvierte 1991 das Informatik-Diplom an der Universität Karlsruhe. Im Rahmen eines Stipendium von 1992 bis 1994 im Graduiertenkolleg der Deutschen Forschungsgemeinschaft legte er seine Promotion ab. Von 1996 bis 1999 baute Prof. Henrich die Forschungsgruppe für Parallelverarbeitung und Robotik am Institut für Prozessrechenstechnik, Automation und Robotik auf und war Lehrbeauftragter an der Fakultät für Informatik der Universität Karlsruhe. In 1998 erhielt er ein STA Fellowship am Electrotechnical Laboratory des Ministry of International Trade and Industry (MITI), Japan. Von 1999 bis 2003 leitete er als Professor die Forschungsgruppe Eingebettete Systeme und Robotik im Fachbereich Informatik der Universität Kaiserslautern. Seit August 2003 hat er den Lehrstuhl für Angewandte Informatik III (Robotik und Eingebettete Systeme) an der Universität Bayreuth inne.

Fachgebiet

Der Lehrstuhl für Angewandte Informatik III befasst sich mit informationsverarbeitenden Systemen, deren wesentliche Eigenschaft ist, Teil eines umfassenderen Gesamtsystems zu sein. Es sind also die speziellen Anforderungen und Einflussfaktoren des Gesamtsystems an das eingebettete System zu berücksichtigen. Dieses Teilgebiet der Informatik wird beispielhaft vor

Industrieroboter haben vielfältige Einsatzgebiete, von welchen der Lehrstuhl für Angewandte Informatik III unter anderem die Teilgebiete der robotergestützten Handhabung flexibler Materialien, der Sicherheitsstrategien für die Mensch-Roboter-Kooperation und die Robotergestützte Chirurgie an der Schädelbasis behandelt. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in diese Teilgebiete, welche Teil der Forschung und Lehre des Lehrstuhl sind.

allem für Robotik-Anwendungen betrachtet. An einen Roboter als informationsverarbeitendes Teilsystem seiner Arbeitsumgebung werden Anforderungen gestellt, wie zum Beispiel die Fähigkeit der Umwelterfassung, der Umweltbeeinflussung, der Echtzeitverarbeitung, der Fehlertoleranz, der Robustheit und/oder der Autonomie. Es werden für diese Systeme insbesondere Entwurf, Modellierung, Implementierung, Programmierung, Test, Wartung und Anwendung betrachtet. Die Lehre des Lehrstuhles beinhaltet für den Bachelor Studiengang die Vor-

lesungen Betriebssysteme, Computergrafik und Eingebettete Systeme bzw. für den Masterstudiengang die Vorlesungen Grundlagen der Robotik und Sensordatenverarbeitung. Des weiteren werden für interessierte Studenten ein Robotik-Praktikum und Seminare mit wechselnden Themen aus der Informatik angeboten.

Spezielles Forschungsinteresse

Die Forschungsinteressen von Prof. Dominik Henrich liegen in dem Umgang mit industriellen Robotern

Abbildung 1: Handhabung deformierbarer Materialien



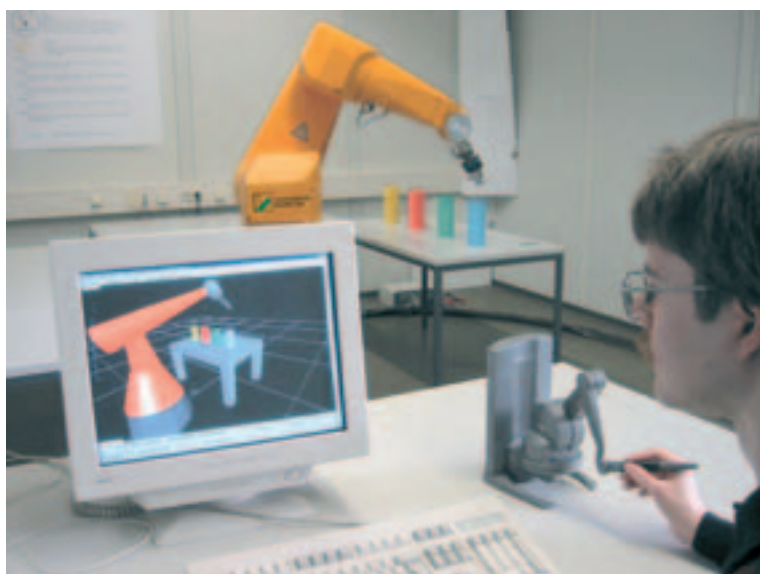


Abbildung 2: Virtuelle Roboterprogrammierung

in den verschiedensten Anwendungsgebieten, welche von Roboterbasierter Manipulation nicht-starrer Objekte über Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kooperation bis hin zur Medizinrobotik reichen. Im Folgenden werden drei Forschungsprojekte zu diesen Themen näher vorgestellt.

Roboterbasierte Manipulation deformierbarer linearer Objekte

Das RODEO-Projekt untersucht die Programmierung von Robotern zur Manipulation von deformierbaren linearen Werkstücken (Abb. 1). Dies sind nicht-starre Objekte wie z.B. Kabel, Schläuche oder Stahlfedern. Dazu wird ein System zusammen mit einer Methode angestrebt, welches sich in zwei Phasen aufteilen. In der Programmierphase wird aus einer Benutzerdemonstration am Rechner (Abb. 2) automatisch ein Roboterprogramm generiert, welches in der Ausführungsphase durch einen Industrieroboter mit seinen spezifischen Sensoren ausgeführt wird. Jede der zwei Phasen teilt sich wiederum in drei Schritte auf. Diese Schritte sind in der off-line Phase darin motiviert, dass die kontinuierliche Benutzereingabe zunächst bzgl. der Werkstück-Zustände und dann bzgl. der Ausführungszeit

in einzelne Schritte unterteilt wird. In der on-line Phase wird wiederum das Roboterprogramm zunächst bzgl. der Werkstück-Zustände (erwarteten Signalverläufen der Sensoren) und dann bzgl. der Zeit (Roboterbewegungen) in eine kontinuierliche und damit ausführbare Form gebracht. Erste Ergebnisse sind die Erkennung, ob und wie ein deformierbares Werkstück ein Hindernis berührt hat,

Bewegungen zur gezielten Deformation von Werkstücken, sowie Bewegungen zur Dämpfung von Schwingungen in Werkstücken.

Sicherheitsstrategien für die Mensch-Roboter-Kooperation

In dem SIMERO-Projekt werden Strategien für die sichere Mensch-Roboter-Kooperation untersucht. Bislang ist es aus Sicherheitsgründen nicht möglich, dass ein herkömmlicher Industrieroboter und ein Mensch gleichzeitig im selben Arbeitsraum arbeiten. Der Grund dafür ist, dass der Roboter den Menschen nicht wahrnehmen und auf seine Anwesenheit reagieren kann. Allerdings ist eine strikte Abschottung des Roboters von der Umwelt bei vielen Aufgaben nicht wünschenswert, denn Industrieroboter und Menschen haben unterschiedliche Stärken. Industrieroboter sind schnell, stark und positionsgenau. Menschen dagegen sind unerreicht geschickt bei komplizierten Montagevorgängen. Um diese Stärken optimal zu kombinieren, ist eine enge Zu-

Abbildung 3: Mensch Roboter Kooperation



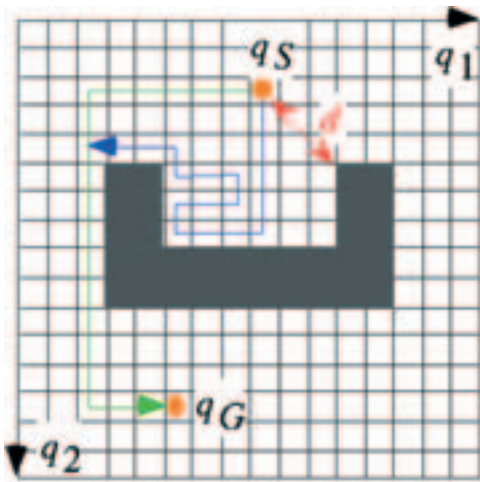


Abbildung 4: Pfadplanung

sammenarbeit zweckmäßig (Abb. 3). Dazu überwachen mehrere Videokameras den gemeinsamen Arbeitsraum aus unterschiedlichen Richtungen. Jede Kamera nimmt ein Referenzbild des Arbeitsraumes ohne dynamische Objekte auf. Erscheint nun zu einem späteren Zeitpunkt ein Objekt im Blickfeld der Kamera, so wird dieses Objekt durch einen Vergleich mit dem Referenzbild, auf welchem dieses Objekt noch nicht zu sehen war, gefunden. Dadurch, dass mehrere Kameras den Arbeitsraum überwachen, ist es möglich die ungefähre Position und das Volumen des Objektes zu bestimmen. So können dynamischen Hindernisse (inkl. Mensch) detektiert werden. Diese Informationen über das Objekt werden nun an das Robotersteuerungsprogramm übergeben. Basierend auf dieser Hindernisdetektion wird eine Kollisionserkennung, eine Kollisionsvermeidung und eine kollisionsfreie Bahnplanung (Abb. 4) in Echtzeit entwickelt.

Roboterassistierte Navigation zum Fräsen an der lateralen Schädelbasis

Das Ziel des Projekts RONAF ist die Entwicklung und Untersuchung eines Systems zur Navigation am menschlichen Schädelknochen, welches einen Roboter bei operativen Eingriffen interaktiv steuern und überwachen kann (Abb. 5). Dabei kommen lokale und globale Navigationsverfahren zum Einsatz. Zur globalen Navigation wird der Eingriff vor der eigentlichen Operation anhand der Aufnahme einer dreidimensionalen Computer- oder Magnetresonanztomographie geplant und der Roboter inkl. Instrument mithilfe dieser Planung bewegt. Dabei umfasst die Planung insbesondere die Ermittlung einer guten Position und Ausrichtung des Fräsloches für den Fräsvorgang, z.B. für implantierbare Hörgeräte (Abb. 6). Während der Operation wird durch die Auswertung verschiedener Sensordaten, wie Kraft, Drehmoment, Tem-

peratur und Ultraschall, sichergestellt, dass zu schonenden Strukturen umfahren werden. Diese Eingriffe erfordern von dem Operateur extreme Präzision mit erlaubten Abweichungen unter einem Millimeter. Gleichzeitig muss der Fräser mit hohem Kraftaufwand über eine längere Zeitdauer geführt werden, um größere Knochenmengen abzutragen. Diese Arbeit ist für einen menschlichen Operateur ermüdend und soll vom Roboter durchgeführt werden. Der Operateur überwacht dabei den Eingriff der Roboters und kann diesen zu jedem Zeitpunkt unterbrechen.



Abbildung 6: In realen Schädel gefrästes Implantatlager mit eingelegtem Implantat

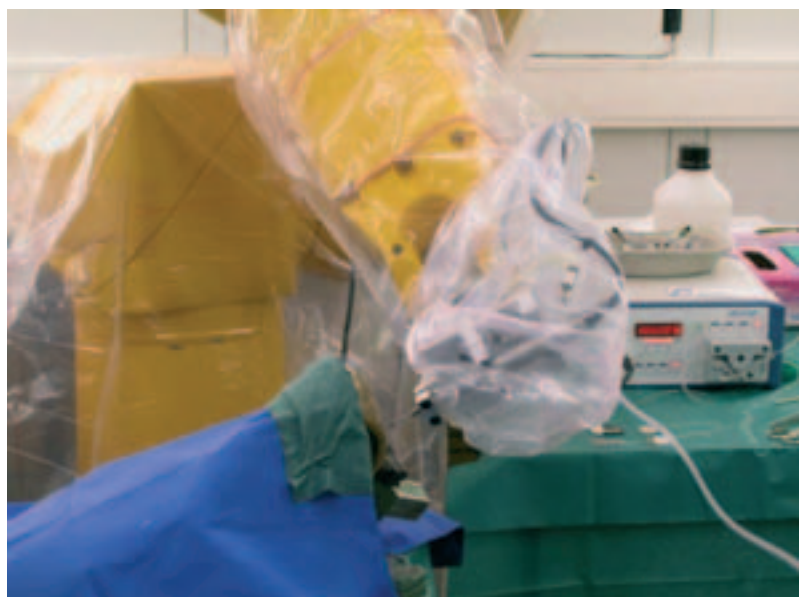


Abbildung 5: Chirurgierobotik

Kontakt
 Prof. Dr. Dominik Henrich
 Lehrstuhl für Angewandte Informatik III
 (Robotik und Eingebettete Systeme)
 Universität Bayreuth
 95440 Bayreuth
 Gebäude: Geschwister-Scholl-Platz 3
 95445 Bayreuth
 Tel.: 0921-55-5160
 Fax.: 0921-55-5162
<http://ai3.inf.uni-bayreuth.de/>
 e-mail: dominik.henrich@uni-bayreuth.de

Religion und Phantasie

Negativ besetzt

In der Glaubens- und Theologiegeschichte des Christentums wurde die Bedeutung der Phantasie entweder übersehen und ausgespart oder heruntergespielt und in Zweifel gezogen, mitunter auch zum Schreckgespenst gemacht. Selten wurde sie positiv gewürdigt; immerhin finden sich Ansätze dazu bei Martin Luther („Gott als ein glühender Backofen voller Liebe“), Friedrich Schleiermacher und Vertretern der Liberalen Theologie am Anfang des 20. Jahrhunderts. Danach ist es um die Phantasie im Haus der Theologie still geworden. Seither hat sie, v. a. in Folge einer Negativsemantik bei Ludwig Feuerbach und Sigmund Freud sowie einer Vorverurteilung durch die Dialektische Theologie allenfalls ein Schattendasein geführt. Evangelisch-protestantische Religion und mehr noch ihre akademische Theologie sind ja seit langem traditionell Wort-Religion mit stark kognitiven Akzenten, dazu hochgradig vernunft- und geschichtsbetont. Andere Erscheinungsweisen des Glaubens und der Religion wie Gestalthaftigkeit, Körperliches und Symbolik, Ästhetik, Inspiration und Phantasie sind darüber oft verblasst oder in Vergessenheit geraten. Dabei ist Wort kein notwendiger Gegensatz zur Phantasie, auch nicht zur Gestalt, zum Symbol oder zur Ästhetik. Immerhin erfuhr Phantasie im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts eine positive theologische Würdigung in Dorothee Sölles „Phantasie und Gehorsam“ (1968; 19767) und in Hans-Günter Heimbrocks „Phantasie und christlicher Glaube“ (1977). Während letztere Arbeit nicht die verdiente Aufmerksamkeit fand, blieb Sölles Phantasieverständnis merk-

würdig einseitig, denn sie reduzierte Phantasie theologisch im Sinne einer „Vorbildchristologie“. Damit aber ist die Phantasie des Glaubens nicht nur deutlich unterfordert, sondern auch unterbestimmt.

Zwei Verständnisse

Geht man der Sache semantisch auf den Grund, dann ist der Begriff Phantasie keineswegs – wie man immer wieder annimmt – nur negativ besetzt. Jedenfalls kennt das Deutsche Wörterbuch der Gebrüder Grimm im siebten Band (1889) zwei Gebrauchsweisen des Wortes, die sich so bis heute erhalten haben. Danach meint Phantasie zum einen Vorstellung/Vorstellungsvermögen, Einbildung/Einbildungskraft, Erfindung/Erfindungskraft, Einfallsreichtum etc., zum anderen aber auch Trugbild im Sinne einer nicht der Wirklichkeit entsprechenden Vorstellung und damit Verstiegtheit, Überspanntheit, Unglaubwürdigkeit und Unwirklichkeit – „das ist ja nur Phantasie!“, sagen wir dann. Diese negative Bedeutung bekommt das Wort, welches seit dem 14. Jahrhundert im Deutschen beheimatet ist, mit dem 15./16. Jahrhundert, während sein Verständnis als menschliche Fähigkeit zum imaginativ-imaginierenden und inspirierenden Überschreiten des Gegebenen im Sinne (re)produktiver Einbildungskraft in der Geistesgeschichte bereits seit Philostrat (um 200 n. Chr.) nachweisbar ist. In ihrer gestaltenden und integrierenden Kraft wird die Phantasie aber erst recht eigentlich in der Neuzeit, vor allem im 18. Jahrhundert, erkannt. So hat Immanuel Kant (1724-1804) die „produktive“ bzw. „dichtende“ Einbildungskraft

neben der bloß reproduzierenden betont und sie zur Quelle aller synthetischen Leistungen der Vernunft erklärt. Dagegen spricht ihr der englische Empirismus von Francis Bacon bis zu John Locke jede prinzipielle Funktion ab und setzt sie mit dem „Irrealen“ gleich, da sich die Phantasie gegenüber der Realität selbständigen würde. So ist sie, wie der Theologe Ernst Rolffs schon 1938 in „Die Phantasie in der Religion“ bemerkte, einerseits eine „umstrittene Größe“, andererseits ist „ihre Macht im Leben des Menschen und der Menschheit“ (S. 11) nicht zu übersehen.

Mittlerweile liegt uns seit den 80er Jahren Dietmar Kampers eindrucksvolle „Geschichte der Einbildungskraft“ (1981) vor, und Barbara Rantsch-Trill (1996) hat in einem Durchgang durch die Geistesgeschichte die Bedeutung der Phantasie für „Welterkenntnis und Welterschaffung“ (so der Untertitel) aufgezeigt. Heute wird ihre Wichtigkeit zudem in pädagogischen Zusammenhängen entdeckt, so etwa wenn Gerda und Rüdiger Maschwitz „Phantasie Reisen zum Sinn des Lebens“ (1998) anbieten, obgleich solche Phantasie Reisen häufig nicht mehr als kurze Intermezzi und episodenhafte Ausbrüche aus der bleiernen Monotonie des Alltags sind. Letztlich bleibt dann trotz aller Phantasie alles beim alten und stabilisiert den Status quo. Ist das Phantasie?

Protestantischer Nachholbedarf

So ist es heute an der Zeit, dass Religion und Theologie sich wieder auf ihre Phantasie besinnen. Wer

Religion und Phantasie

weiß, dass die Geschichte der protestantischen Theologie im 20. Jahrhundert als eine Option für den „Realismus“ im Sinne eines modernistisch-positivistischen Wirklichkeitsverständnisses geschrieben werden muß, dem kann die hohe Relevanz der Phantasie als Einbildungs- und Veränderungskraft des Glaubens aufgehen. Im Unterschied zum Katholizismus, in dem sowohl das Phantasievoll-Ästhetische als auch das Phantasievoll-Fiktionale zumindest teilweise Platz behalten hatten, zeigt sich hier für die karge protestantische Rationalität und sprichwörtliche Nüchternheit ein enormer Nachholbedarf. Ihrer ambivalenten Bedeutung in Geschichte und Gegenwart durchaus eingedenk, kommt es heute vor allem darauf an, der produktiven, konstruktiven und inspirierenden Bedeutung der Phantasie im religiösen Kontext gewahr zu werden und in diesem Sinne von der Einbildungs-Kraft des Glaubens zu sprechen. Gerade in jüngster Zeit, am Ausgang des 20. Jahrhunderts, findet sich im Umkreis der Debatten über Mythos, Ästhetik, Fiktionalität und Wirklichkeit eine breiter gestreute positive Rezeption von Phantasie. Da schreibt Dieter Wellershoff in seiner Arbeit „Wahrnehmung und Phantasie“ (1987, S. 28): „Vielleicht sind diese Imaginationen das Gegenteil seiner tatsächlichen Erfahrung, vielleicht werden versteckte, ungelebte Möglichkeiten ausgeführt, vielleicht sind es Wunschbilder, Schreckbilder, vielleicht sind es Verschiebungen, Umkehrungen, Radikalisierungen, auf jeden Fall wird die unmittelbare Erfahrung fiktiv vervielfacht und erweitert. Durch die imaginäre Kombinatorik wird mehr daraus, Neues und anderes. Nur deshalb sind wir nicht in uns selbst gefangen, sondern können andere Menschen und Situationen verstehen und vielleicht auch neue Erfahrungen erfinden. Der Traum, könnte man sagen, macht der Praxis Vorschläge, hält für und gegen sie den Spielraum möglicher Veränderung offen.“

Möglichkeitsinn und Ein-Bildung

Dies hat den Praktischen Theologen Albrecht Grözinger dazu animiert, der Kraft der Imagination neu gewahr zu werden: „Wer imaginiert, gibt sich mit der vorhandenen Wirklichkeit nicht zufrieden.“ Und: „Im Spielraum möglicher Veränderungen kann sich die Wirklichkeit selbst verändern. Wo aber Veränderungen möglich sind, kommt Freiheit ins Spiel.“ (A. Grözinger, *Praktische Theologie als Kunst der Wahrnehmung*, 1995, S. 89) Neben Grözinger hat vor allem der Praktische Theologe Hans-Günter Heimbrock (*Religionspädagogik und Phänomenologie*, 1998, S. 217-233) darauf hingewiesen, dass der Mensch neben einem „Wirklichkeitssinn“ auch einen „Möglichkeitssinn“ (Robert Musil) brauche, um kreativ, hoffnungsvoll und zukunftsorientiert leben zu können. Der „fiktive, spielerische und traumhafte Zugang, der probeweise und in irdischer Vorläufigkeit die Zwänge des Alltags suspendiert“, könne nämlich, so Heimbrock, im Horizont des Glaubens als Widerspruch „gegen die Überanpassung an die distanzlos hereinbrechende Wirklichkeit“ verstanden werden. Im aktuellen Zusammenhang von „virtuellen Räumen“, wie sie uns im Computerspiel und in Film-Welten begegnen, fragt Heimbrock deswegen nach praktisch-theologischen und religionsdidaktischen Konsequenzen für religiöse Bildung. Erkenntnisleitend werden ihm dabei die beiden Leitbegriffe „Wahrnehmung“ und „Ein-Bildung“. Gerade die „Ein-Bildung“, die sich Bilder und Vorstellungen über das Vorhandene hinaus ein-bildet, internalisiert, gehört für ihn – neben realitätsbezogener Sachbildung und humaner Sozialbildung – konstitutiv zur Bildung des Subjekts dazu. Gerade die Stärkung des Einbildungssinnes fördere nämlich die „nicht bloß bestätigende“, sondern v. a. die kritische Aneignung von

Welt und sei essentieller Bestandteil eines „nicht affirmativen Bildungsbegriffs“. Religion von Phantasie her als Ein-Bildung verstanden, muss nicht zwangsläufig verstiegene „Illusion“ (s. Freud) in einem imaginären Wolken-Kuckucksheim oder mit Entfremdung einhergehende „Projektion“ (s. Feuerbach) sein; sie kann vielmehr Gott und die Wirklichkeit anders und neu sehen lassen, indem sie uns entsprechende Bilder zuspiziert und ein-bildet, die mehr zeigen als „das, was der Fall ist“. Phantasien im christlichen Kontext sind „inspirierte“, das heißt nicht selbst produzierte Zukunftsvisionen und -projektionen, in denen verdankte Eingebung und produktiver Eigenanteil schwer zu trennen sind. Phantasien übersteigen in einer gegliückten Antizipation (Vorwegnahme) des Möglichen für einen Moment die faktisch gegebene Wirklichkeit in Richtung dessen, was sein könnte, und lassen das Bisherige „alt aussehen“. Realität lässt sich ja nur verändern, indem vorher Überschreitungspotentiale phantasiert worden sind. Wirklichkeit als „Inbegriff des Möglichen“ (Jan M. Bochénski) verstanden, braucht also Phantasien als Vor- und Vorausentwürfe dynamisch sich verändernder Wirklichkeit, denn das Wirkliche ist „nur ein Sonderfall des Möglichen“ (Friedrich Dürrenmatt, *Justiz*. Roman, Zürich 1985, S. 87).

Gestaltungskraft

Religiöse Phantasie haben wir uns aber dabei nicht nur voll Poesie und also poetisch, sondern poetisch vorzustellen, d. h. sie hat wirklichkeits-schaffende Gestaltungskraft. Ein poetisches Verständnis religiöser Phantasie geht entschieden über ein poetisches hinaus, denn Wirklichkeit wird hier nicht nur sprachlich erschlossen, sondern geschaffen und gestaltet.

Als ein sprechendes Beispiel jüngeren Datums für biblisch-christlich inspirierte Phantasie muss man sich noch einmal jene Rede des schwarzen

Baptistenpfarrers Martin Luther King aus dem Jahr 1963 vor Augen führen, die die Welt der Rassentrennung und Apartheitsideologie zu transzendieren und zu überspielen vermochte. Sie ist ein Paradebeispiel für die andringende und eindringliche Innovationskraft biblisch gespeister Phantasie: „Ich rufe Ihnen heute zu, meine Freunde, daß, obwohl in Zukunft genauso wie heute (große) Schwierigkeiten auf uns warten werden, ich immer noch einen Traum habe. Es ist dies ein Traum, der tief im Amerikanischen Traum verwurzelt ist. Ich habe einen Traum, daß diese Nation eines Tages aufstehen und die wahre Bedeutung ihres Grundbekenntnisses in die Wirklichkeit umsetzen wird: `Wir halten es für eine selbstverständliche Wahrheit, daß alle Menschen gleich sind` (aus der Unabhängigkeitserklärung 1776). Ich habe einen Traum, daß eines Tages auch auf den roten Hügeln von Georgia die Söhne früherer Sklaven und die Söhne früherer Sklaveneigner es fertig bringen werden, gemeinsam am Tisch der Brüderlichkeit zu sitzen. Ich habe einen Traum, daß eines Tages sogar der Staat Mississippi, ein Staat, der in der Hitze der Ungerechtigkeit, in der Hitze der Unterdrückung zerrinnt, sich wandelt zu einer Oase von Frieden und Gerechtigkeit. Ich habe einen Traum, daß meine vier kleinen Kinder eines Tages in einer Nation leben werden, in der sie nicht nach ihrer Hautfarbe beurteilt werden, sondern nach ihrem Charakter. Das ist mein Traum an diesem Tag.

Ich habe einen Traum, daß eines Tages drunten in Alabama – mit all seinen gemeinen Rassisten, mit seinem Gouverneur, dessen Mund von Worten wie Rassentrennung und Zerstörung trieft (bezogen auf George Wallace, demokratischer Gouverneur von Alabama von 1963 bis 1967, dessen Wahlspruch lautete `Rassentrennung heute, morgen, für immer`) – daß eines Tages genau dort in Alabama kleine schwarze Jungen und Mädchen in der Lage sein

werden, kleinen weißen Jungen und Mädchen als Schwestern und Brüdern die Hände zu reichen. Das ist mein Traum an diesem Tag. Ich habe einen Traum, daß eines Tages jedes Tal gehoben werde und jeder Hügel und Berg gesenkt. Was uneben ist, wird zur Ebene werden, und das Hügelige zum Flachland`, und `die Herrlichkeit des Herrn soll offenbar werden, und alles Fleisch soll sie gemeinsam schauen` (nach Is. 40,4-5). Das ist unsere Hoffnung. Das ist die Zuversicht, mit der ich in den Süden zurückkehre. Mit dieser Zuversicht werden wir in der Lage sein, aus dem Berg der Hoffnungslosigkeit einen Stein der Hoffnung zu schlagen. Mit dieser Zuversicht werden wir in der Lage sein, die schrillen Missklänge in unserer Nation in eine wunderbare Symphonie der Brüderlichkeit zu verwandeln. Mit dieser Zuversicht werden wir in der Lage sein, zusammen zu arbeiten, zusammen zu beten, zusammen zu kämpfen, zusammen uns ins Gefängnis werfen zu lassen, zusammen für Freiheit aufzustehen, weil wir wissen, daß wir eines Tages frei sein werden.“ Nicht zuletzt diese Rede hat M. L. King den Tod, der westlichen Welt aber ein Mehr an Freiheit gebracht – Folgen christlicher Imagination und Phantasie, die unsere begrenzten und fixierten Alltags-Wirklichkeiten durchbrechen und aufheben.

Recht gesehen ist solche Phantasie, die zwar der Sache, nicht dem Wort nach in der Bibel vorkommt – sie wird ja erst im Mittelalter einge-deutscht – , ein legitimes Kind des alttestamentlich-christlichen Glaubens und eine legitime Erscheinungsform desselben. Dafür lassen sich mindestens drei Gründe anführen: Erstens finden sich Gestalten und Spuren solcher verwandelnder Phantasie zuhauf in den biblischen Schriften und in der späteren theologischen Tradition, wie überhaupt die Bibel in wesentlichen Teilen viel mehr als poetisches und poetisches denn an historischen Tatsachen interessiertes Buch verstanden sein will. Unsere historisch-kritischen

Lese- und Rezeptionsgewohnheiten haben nicht nur zu einem historischen Erkenntniszugewinn geführt, sondern auch zu einer Engführung, der die ästhetischen Dimensionen der biblischen Tradition abhanden gekommen sind. Zweitens eröffnet Gott im Verständnis des christlichen Glaubens einen offenen Wirklichkeits- und Möglichkeitshorizont, weil Gott der ist, der „das Nichtseiende ins Sein“ ruft (Röm 4,17). Religiöse Phantasie erinnert uns daran, dass Gottes Wirklichkeit nicht einfach mit der empirisch vorfindlichen Wirklichkeit identisch ist. Theologisch leben wir mit und unter der Phantasie im „Möglichkeitshorizont Gottes“ (Albrecht Grözinger), wie verstellt uns der auch immer in der Gegenwart sein mag. Und drittens verdankt sich die neuzeitlich so wichtig gewordene schöpferisch-produktive Kraft der Phantasie insoweit dem christlichen Glauben, als dieser sich den Menschen als Ebenbild Gottes, des Schöpfers, selbst mit schöpferischen Fähigkeiten, also der Phantasie begabt vorstellt. Wo aber Gott als phantasievoll vorgestellt wird, erscheinen auch Menschen als mit Phantasie begabt. (Praktisch-)theologisch kommt es dementsprechend heute darauf an, Menschen in diese Wirklichkeit des „Möglichkeitshorizontes Gottes“ hinein zu sehen und zu imaginieren. Ohne Phantasie nämlich bliebe in der Welt alles beim alten, wäre die Welt alt und langweilig, „the same procedure as every time“. Doch wer will das schon?

Ausblick

Heute wird uns wieder deutlich, dass die Phantasie ein wichtiges Moment und eine notwendige Gestalt christlicher Religion ist. Wir können ihre Spuren in biblischen Texten entdecken, ihrer Bedeutung in und für Dogmatik und Ethik gewahr werden, und wir lernen, sie produktiv in religiöse Lern- und Bildungsprozesse einzubringen (vgl. hgg. von Werner H. Ritter, *Religion und Phantasie*, Göttingen 2000). ■

