

# RWTH AACHEN UNIVERSITY

BERICHTE  
AUS DER  
RHEINISCH-  
WESTFÄLISCHEN  
TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE  
AACHEN

SONDERHEFT 2007

ISSN-NR.  
0179-079X

Highlights  
der Aachener  
Sonder-  
forschungs-  
bereiche

- Großartiger Name.
- Großartiger Service.
- ~~Großangelegter Ingenieuraustausch.~~

Wenn Sie hier an weltweite Einsatzmöglichkeiten denken, sollten Sie sich bei uns melden. Als einer der weltweit führenden Technologiekonzerne bieten wir Ihnen eine Vielzahl von Aufgabenfeldern im Bereich der Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften – und das mit internationalen Einsatz- und Aufstiegsmöglichkeiten: Aufbau strategischer Allianzen in Fernost, Planung von Großanlagen in Brasilien, Entwicklung innovativer Personentransportsysteme in Spanien. Was Sie bei ThyssenKrupp nicht erwartet: Ein alltäglicher Job.

Interessiert? Dann sprechen Sie mit uns: 0211 824-3 69 19.



Wir entwickeln die Zukunft für Sie.

**ThyssenKrupp** 

**Impressum**  
Herausgegeben im Auftrag des  
Rektors:  
Dezernat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
der RWTH Aachen  
Templergraben 55  
52056 Aachen  
Telefon 0241/80-94327  
Telefax 0241/80-92324  
Pressestelle@zhv.rwth-aachen.de  
www.rwth-aachen.de

Redaktion:  
Sabine Busse  
Angelika Hamacher

**Verantwortlich:**  
Toni Wimmer

**Titel:**  
Wissenschaftler des  
Fraunhofer-Instituts  
für Produktionstechnologie  
entwickeln Positioniersysteme  
für Glasfasern in Lichtleit-  
systemen, die in miniaturisierten  
Sensoren, hoch präzisen  
Messgeräten, Lasersystemen,  
Telekommunikationsprodukten  
und in der Medizintechnik  
zum Einsatz kommen.  
Foto: Peter Winandy

**Rücktitel:**  
Aufbau zur Untersuchung  
von Transportprozessen  
in welligen Filmströmungen  
am Lehrstuhl für Wärme-  
und Stoffübertragung.  
Foto: Peter Winandy

**Anzeigen:**  
print'n'press, Aachen  
jh@p-n-p.de

**Art direction:**  
Klaus Endrikat

**DTP:**  
ZAHREndesign,  
Aachen

**Druck:**  
Druckerei Brimberg,  
Aachen

**Fotos:**  
Peter Winandy

Gedruckt auf chlorfrei  
gebleichtem Papier

Das Wissenschaftsmagazin  
„RWTH-Themen“ erscheint ein-  
mal pro Semester. Nachdruck  
einzelner Artikel, auch auszugs-  
weise, nur mit Genehmigung  
der Redaktion. Für den Inhalt  
der Beiträge sind die Autoren  
verantwortlich.

Sonderheft Sommersemester  
2007

# AUS DEM INHALT

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTHTHEMEN

Vorwort des Rektors	4
Interdisziplinäre Zusammenarbeit kennzeichnet Sonderforschungsbereiche	6
Verbrennung im Regelkreis	8
Neue Behandlungsmöglichkeiten chronischer Entzündungen	10
Dem Geheimnis des Orangensafts auf der Spur	14
Textilbewehrter Beton	18
Das Kombikraftwerk der Zukunft	22
Umweltverträgliche Tribosysteme	26
Mikrosystemtechnik	30
Der Tragflügel der nächsten Generation	34
Hochfester Stahl weich wie Butter	36
Mediale Dimensionen kognitiver Prozesse	40
Zukunftstechnologien zur Herstellung komplexer Optikkomponenten	42
Quanteneigenschaften schwerer Teilchen	46
Wie der Boden das Klima beeinflusst	50
Wie werden Produkte und Prozesse optimal entwickelt?	52
Bessere Werkstoffe durch Simulation	54

# Vorwort des Rektors

4

## Neue Sonder- forschungs- bereiche bewilligt

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ermöglicht mit ihren Förderprogrammen der Sonderforschungsbereiche, Transregio und Forschungskollegs interdisziplinäre Grundlagenforschung. Eine Gruppe von Wissenschaftlern kann sich im Rahmen einer solchen Förderung über einen Zeitraum von maximal zwölf Jahren mit einem anspruchsvollen Thema auseinandersetzen. Die ausgewählten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH arbeiten dabei nicht nur mit Kolleginnen und Kollegen der eigenen Einrichtung, sondern auch mit denen in anderen Hochschulen und Wissenschaftseinrichtungen zusammen – wie etwa dem Forschungszentrum Jülich, den Fraunhofer-Instituten oder auch dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

Wir in Aachen wissen, wie wichtig die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist. Sie ist ein Kennzeichen für die Forschungsleistung der RWTH Aachen. Seit vielen Jahren praktizieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese auch in den so genannten Interdisziplinären Foren der RWTH Aachen. Die Themenpalette ist breit gefächert – sie reicht von Umwelt über Werkstoffe, Life Sciences, Mobilität und Verkehr sowie Technik und Gesellschaft. Von den Forschungsprojekten profitieren insbesondere die Studierenden der RWTH Aachen – die anwendungsnahe Lehre ist ein Qualitätssiegel für die Ausbildung an der Aachener Hochschule.

In dieser Ausgabe der „RWTH-Themen“ wollen wir Sie über die vielfältigen interdisziplinären und spannenden Forschungsarbeiten im Rahmen der Sonderforschungsbereiche informieren.

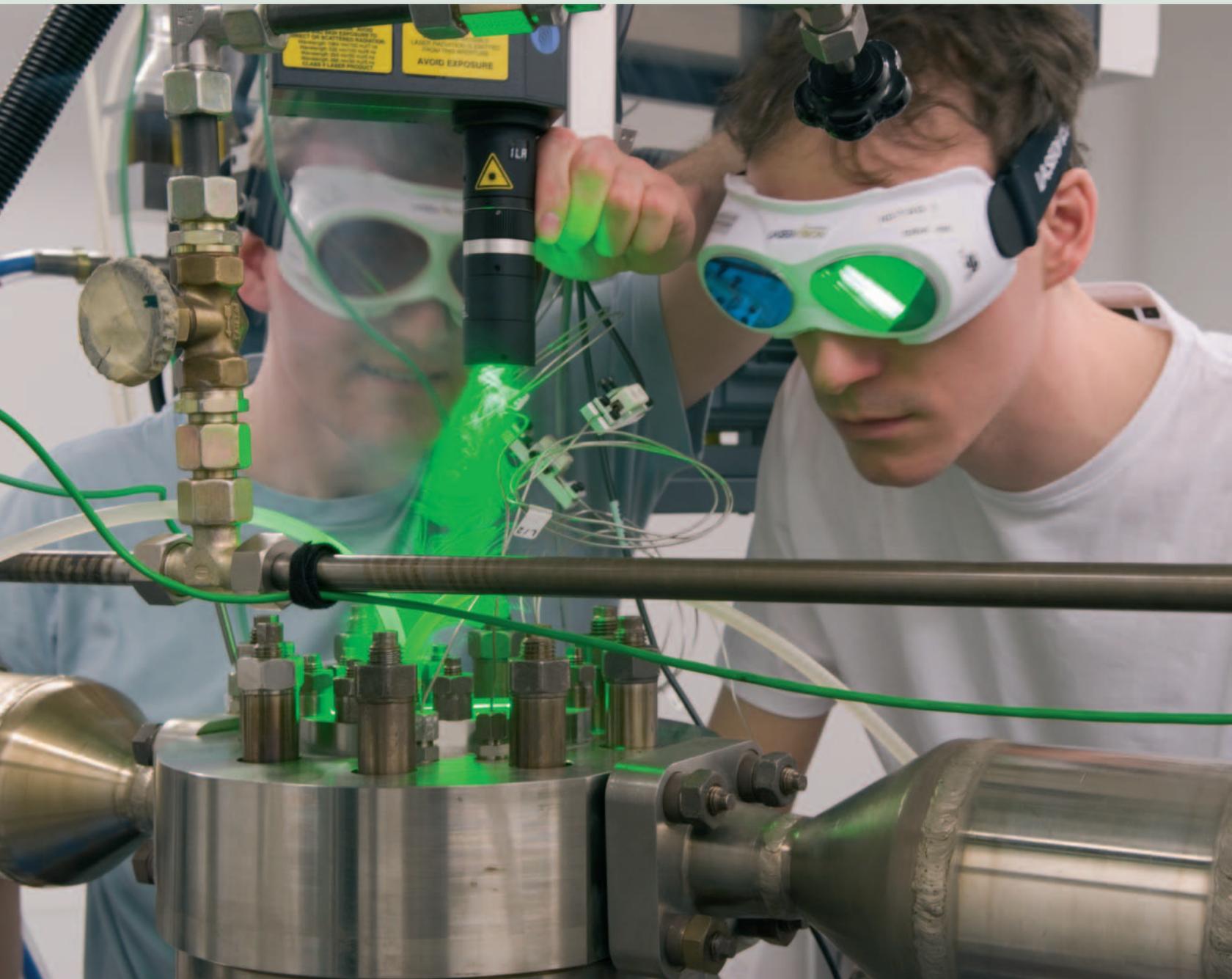
*Univ.-Prof. Dr. Burkhard Rauhut*

# Editorial

Nach Redaktionsschluss gab die Deutsche Forschungsgemeinschaft am 23. Mai 2007 die Bewilligung weiterer Sonderforschungsbereiche (SFB) bekannt. Zum 1. Juli 2007 wird an der RWTH – zusätzlich zu den in dieser Ausgabe der RWTH-THEMEN vorgestellten – der SFB 761 „Stahl – ab initio. Quantenmechanisch geführtes Design neuer Eisenbasis-Werkstoffe“ eingerichtet. In dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Großprojekt kooperieren acht Institute und Lehrstühle der RWTH mit drei Abteilungen des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung in Düsseldorf. Federführend ist hierbei das RWTH-Institut für Eisenhüttenkunde, dessen Leiter Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck Sprecher des SFB ist. Ziel des Großprojekts ist die Entwicklung einer völlig neuen Methode für die Werkstoffentwicklung. Die bisher genutzte „Trial and Error“ Methodik soll durch die gezielte Nutzung der Quantenchemie abgelöst werden. Das Projekt ist zunächst für vier Jahre bewilligt, geplant ist jedoch eine zwölfjährige Finanzierung.

Im SFB/Transregio 37 „Mikro- und Nanosysteme in der Medizin – Rekonstruktion biologischer Funktionen“ arbeiten Forscherinnen und Forscher der Medizin, der Material- sowie Naturwissenschaften zusammen. Mit Hilfe von Nano- und Lasertechnik entwickeln sie innovative Technologien wie Therapieverfahren für die regenerative Medizin. Es werden dabei Lösungen von aktuellen medizinischen Problemen in der Zellbiologie, Laseranwendung, Implantattechnologie und bei der Optimierung von Biomaterialien gesucht. Der SFB/Transregio ist in Hannover, Aachen und Rostock angesiedelt. Sprecher des SFB ist Univ.-Prof. Dr. Axel Haverich von der MH Hannover, die Beteiligung der RWTH-Institute koordiniert der Lehrstuhl für Textilchemie und Makromolekulare Chemie unter Leitung von Univ.-Prof. Dr. Martin Möller.

*Die Redaktion, 24. Mai 2007*



*Im Forschungsbereich Motorische Einspritzung am Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung werden Gemischbildungsvorgänge in Verbrennungsmotoren experimentell und numerisch untersucht. Bei der Justa-*

*ge eines Laserlichtschnittes zur Vermessung des vom Einspritzstrahl eines Diesel-Mehrlochinjektors induzierten Gasgeschwindigkeitsfeldes ist eine hohe Präzision erforderlich. Foto: Peter Winandy*

# Interdisziplinäre Zusammenarbeit Sonderforschungsbereiche

Nach gut einem Jahrzehnt seit der letzten Vorstellung der Sonderforschungsbereiche in einer Ausgabe der „RWTH-Themen“ ist die erneute Berichterstattung quasi überfällig. In der Forschungslandschaft der Bundesrepublik Deutschland hat sich in dieser Zeit sehr viel getan und dies hat natürlich bereits eingereichte wie auch neu zu beantragende Sonderforschungsbereiche beeinflusst. Bevor ich hierauf näher eingehe, lassen Sie mich zunächst eine Übersicht der zurzeit an unserer Hochschule laufenden Sonderforschungsbereiche geben. Hierzu dient Bild 1, das im inneren Kreis die Sonderforschungsbereiche aufzeigt, die vollumfänglich an der RWTH Aachen als Sprecherhochschule eingerichtet sind. An der äußeren Peripherie des Kreises sind die so genannten Transregio aufgeführt, an denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH Aachen beteiligt sind. Die Sprecherhochschule ist in Klammern unter der Kurzbezeichnung angegeben. Es wird deutlich, dass sich die Transregionalität nicht nur auf Städte in der näheren Umgebung stützt, sondern auch den Norden und Süden mit einbezieht. Dabei sind Disziplinen der Natur-, Geistes- und Geowissenschaften ebenso wie die der Ingenieurwissenschaften vertreten. Ein Transregio entsteht immer dann, wenn die Kompetenz zur Bearbeitung eines fachübergreifenden Forschungsthemas nicht an einem einzelnen Hochschul-Standort konzentriert ist, sondern wenn die Know-how - sowie auch apparativen Ressourcen mehrerer Universitäten gebündelt werden.

Damit soll die Brücke wieder zu den in Aachen angesiedelten Sonderforschungsbereichen geschlagen werden. Ich möchte an dieser Stelle nicht inhaltlich auf die Themen der aktuell neun Sonderforschungsbereiche eingehen, da dies in den Einzelbeiträgen geschieht und einen Einblick in die Interdisziplinarität und die zugrunde liegenden Forschungsarbeiten

geben wird. Lassen Sie mich vielmehr auf die Frage eingehen, was Ziel eines Sonderforschungsbereichs ist und was seine Attraktivität auszeichnet. Das Erstgenannte ist wohl am besten dadurch zu beschreiben, dass sich eine Gruppe Forscherinnen und Forscher zusammenfindet, die interdisziplinär an einem in der Regel sehr innovativen und gesellschaftlich relevanten Thema zusammenarbeitet. Es soll durch diesen Zusammenschluss in der Summe ein Mehrwert entstehen, der durch eine Förderung der Einzelaktivitäten zum Beispiel im Normalverfahren der Deutschen Forschungsgemeinschaft nicht möglich wäre. Der zweite Aspekt kann am besten mit Ausführungen des ehemaligen Präsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft Prof. Dr. Ernst-Ludwig Winnacker zum Thema charakterisiert werden, die er mit „Forschen unter idealen Bedingungen“ überschreibt.

Wie kann man sich diese idealen Bedingungen vorstellen? Ein Sonderforschungsbereich wird konzeptionell auf eine etwa zwölfjährige Forschungsperiode ausgelegt. Im drei- beziehungsweise vierjährigen Turnus finden Begutachtungen statt, bei denen sich die Forschergruppe dem kritischen Urteil auswärtiger Gutachterinnen und Gutachter stellen muss. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können also langfristig interdisziplinär zusammenarbeiten und die verfolgte Thematik nachhaltig vorantreiben. Die Ressourcen der Hochschule und die der beteiligten Institutionen werden gebündelt und stärken den Sonderforschungsbereich. Durch die bearbeitete Thematik wird das Profil der Hochschule mit geprägt und Studierende sowie der wissenschaftliche Nachwuchs finden exzellente Bedingungen vor.

Diese Erläuterungen geben einen ersten Einblick in die Attraktivität dieses sehr wichtigen Förderinstruments der Deutschen Forschungsgemeinschaft und machen auf der anderen Seite aber auch klar, dass der Korb zur Einrichtung eines Sonderforschungsbereichs sehr hoch hängt. Bevor exzellente und hochmotivierte Forscherinnen und Forscher an die Ausarbeitung eines Antrags denken können, müssen sie bereits gemeinsame Vorarbeiten und Veröffentlichungen in renommierten und begutachteten Fachzeitschriften auf dem Wissenschaftsgebiet nachweisen. Damit exzellente ausgewiesene Kolleginnen und Kollegen sich trotz hoher Hürden weiterhin aktiv um die Beantragung und Einrichtung von Sonderforschungsbereichen bemühen, hat das Rektorat der RWTH Aachen verschiedene Maßnahmen zur Förderung beschlossen. Hierzu gehören unter anderem eine Beratung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch „SFB-Erfahrene“, eine teilweise Freistellung von Lehrbelastungen sowie eine zusätzliche finanzielle Förderung bei erfolgreicher Beantragung. Bereits nach positivem Beratungsgespräch bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft wird die jeweilige Initiative für einen Sonderforschungsbereich mit einer zusätzlichen Wissenschaftlerstelle unterstützt. Des Weiteren werden Sonderforschungsbereiche hinsichtlich ihrer Grundausstattung und durch strukturelle Maßnahmen untermauert.

In Aachen können wir der Zukunft positiv entgegen sehen, da ein großes Potenzial an Hilfestellungen erarbeitet und bereitgestellt wird, das die Aachener Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zur persönlichen Entwicklung und gleichzeitig zum Nutzen der Hochschule verfolgen mögen.

Lassen Sie mich noch auf ein Aachener Spezifikum eingehen, das viel zum Erfolg der RWTH Aachen im Hinblick auf die Einrichtung von Sonderforschungsbereichen beiträgt.

Ich denke hier an die exzellent funktionierende Geschäftsführung der RWTH-Sonderforschungsbereiche unter Leitung von Dr.-Ing. Peter von den Brincken. Sie ist dezentral und in erster Linie zur organisatorischen und strukturellen Beratung und Betreuung der Aachener Neu-Initiativen bis hin zur Antragstellung und Begutachtung eingerichtet worden. Außerdem werden von dort aus auch die Fortsetzungsanträge und deren Begutachtungen unterstützt sowie die wesentlichen administrativen beziehungsweise finanziellen Belange der Aachener Sonderforschungsbereiche in einem kleinen aber effektiven Team geregelt. Die Idee hierbei ist, dass ein Geschäftsführer gleichzeitig für mehrere Sonderforschungsbereiche zuständig ist und dabei Synergieeffekte nutzt. Die Wahl erfolgt über die Mitgliederversammlung eines jeden Sonderforschungsbereichs, ein Sprecher der Sonderforschungsbereiche nimmt die Aufsicht über die Geschäftsführung wahr. Gerade in Zeiten zunehmender Bürokratie muss die Geschäftsführung in Aachen als beispielhaft und zukunftsweisend herausgestellt werden.

[www.sfb.rwth-aachen.de](http://www.sfb.rwth-aachen.de)

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff ist Vorsitzender des Sprecherrates der Aachener Sonderforschungsbereiche und Leiter des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen.

# kennzeichnet

Bündelung von Kompetenzen  
auch über Aachen hinaus

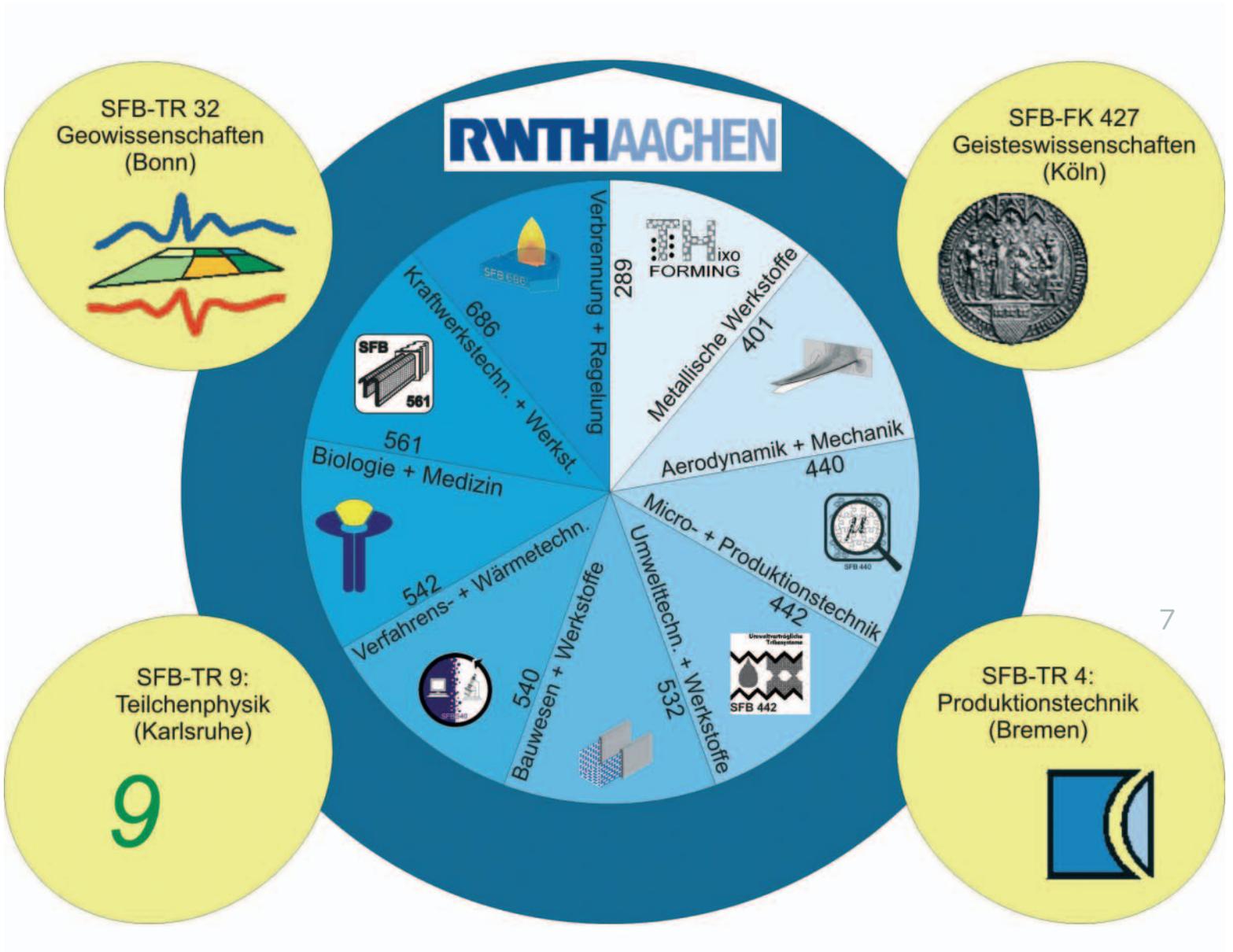


Bild 1: Sonderforschungsbereiche der RWTH Aachen sowie Transregio mit Beteiligung der RWTH Aachen.  
Quelle: von den Brinken

# Verbrennung im

Die Bereitstellung von Energie spielt für den häuslichen Bedarf, für Prozesswärme und für den Transport von Menschen eine wichtige Rolle. Voraussetzung dafür ist auf absehbare Zeit nach wie vor die Verfügbarkeit und effektive technische Nutzung fossiler Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Selbst alternative Konzepte zur Energiewandlung, wie zum Beispiel die Brennstoffzelle, benötigen weiterhin diese Energieträger, da der benötigte Wasserstoff zu großen Teilen zunächst aus fossilen Brennstoffen hergestellt wird. Gerade für den Transport erscheint die Verwendung flüssiger Kohlenwasserstoffe wegen ihrer großen Energiedichte unverzichtbar.

Im Sonderforschungsbereich 686 „Modellbasierte Regelung der homogenisierten Niedertemperatur-Verbrennung“ geht es um das Aufschlüsseln der Wirkkette, die von Strömung und Mischung über die Zündung zur Verbrennung in Gasturbinen und Motoren führt. Seit dem 1. Juli 2006 betreiben acht Hochschulinstitute Grundlagenforschung zu Verbrennungsvorgängen in Gasturbinen und Motoren. Beteiligt sind die RWTH-Institute für Technische Verbrennung, Regelungstechnik, Aerodynamik, Wärme- und Stoffübertragung, Technische Thermodynamik, Dampf- und Gasturbinen, Verbrennungskraftmaschinen sowie das Institut für Physikalische Chemie I der Universität Bielefeld. Die Zielsetzung, die dabei verfolgt wird, ist die Verringerung des Rohstoffverbrauchs und der bei diesen Verbrennungsvorgängen entstehenden Emissionen wie Stickoxide, Ruß und Kohlendioxid. Die genannten Ziele können sowohl in Gasturbinen als auch in Verbrennungsmotoren durch eine Homogenisierung des Verbrennungsprozesses erreicht werden. Ein homogener Verbrennungsprozess zeichnet sich dadurch aus, dass vor Beginn des eigentlichen Verbrennungsvorgangs eine sehr gute Durchmischung von Brennstoff und Luft erreicht worden ist, in der der Brennstoff idealerweise gleichverteilt im Brennraum von Gasturbine oder Verbrennungsmotor vorliegt.



Durch diese hohe Ladungsverdünnung liegen die Verbrennungstemperaturen unter der für die Stickoxidbildung relevanten Temperatur, die Homogenität des mageren Gemisches unterbindet die Bildung von Ruß. Insbesondere können durch die thermodynamisch günstige Verteilung von Brennstoff und Luft hohe Wirkungsgrade erzielt werden, die den Brennstoffverbrauch wesentlich verringern können.

Bei stationär betriebenen Gasturbinen stellen sich bei einer homogenisierten Niedertemperaturverbrennung jedoch unerwünschte selbsterregte thermoakustische Instabilitäten ein, die sich in hohen Druckschwankungen äußern. Dieser auch als Brennkammerbrummen bezeichnete Effekt vermindert die Lebensdauer einer Gasturbine erheblich. Ebenso kann die homogenisierte Niedertemperaturverbrennung in Otto- und Diesel-

Motoren zu Verbrennungsinstabilitäten führen, die sich hier in Form von räumlich und zeitlich zufällig verteilten Selbstzündungen äußern. Ein Phänomen, das in vergleichbarer Form schon vom Ottomotor seit langer Zeit bekannt ist und als Klopfen bezeichnet wird.

Die homogenisierte Verbrennung erfordert also die Beherrschung, das heißt Stabilisierung instabiler Verbrennungsvorgänge. Die Stabilisierung instabiler technischer Prozesse gehört zu den typischen, wenn auch anspruchsvolleren Aufgaben der Regelungstechnik. Beispiele instabiler Prozesse, die durch Regelung stabilisiert werden, finden sich unter anderem in der Flugdynamik moderner Kampffjets, die in Hinblick auf möglichst agile Manövereigenschaften instabil ausgelegt werden und erst durch eine Regelung flugfähig werden. Weniger spektakulär – wenngleich aus re-

gelungstechnischer Sicht durchaus vergleichbar – ist die magnetische Lagerung des Transrapid: Das auf der elektromagnetischen Anziehung beruhende und damit vom Prinzip her instabile „Magnetpolster“ zwischen Fahrzeug und Fahrbahn wird von einer stabilisierenden Abstandsregelung erzeugt. Mit diesen beiden Beispielen aus völlig anderen technischen Anwendungsbereichen hat die Aufgabe der Verbrennungsregelung gemein, dass die zu regelnden Prozesse schwierig und die Regelungsaufgaben entsprechend anspruchsvoll sind. Dies betrifft die einzuhaltenden zeitlichen Randbedingungen wie auch die erforderlichen Mess- und Stelleingriffe. Vor allem sind jedoch intelligente Regelungsgesetze gefordert, die in der Lage sind, auch zeitlich veränderliches und nichtlineares Prozessverhalten zu berücksichtigen. Besonders der letztgenannte Aspekt gibt Anlass, so ge-



## Modellbasierte Regelung der homogenisierten Niedertemperatur- verbrennung

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTHTHEMEN

nannte Modellbasierte Prädiktive Regelungen für die Verbrennungsregelung in Betracht zu ziehen, die sich dadurch auszeichnen, dass ein Modell für das dynamische Verhalten des Prozesses nicht nur in der Entwurfsphase, sondern explizit auch im laufenden Betrieb der Regelung benutzt wird. Mit einer solchen tiefgehenden Kenntnis über den zu regelnden Prozess kann eine Modellbasierte Regelung weit schwierigere Aufgaben lösen als eine konventionelle Regelung, die sich auf nur wenigen Einstellparametern abstützt.

Grundvoraussetzung jeder Modellbasierten Regelung ist natürlich die Verfügbarkeit eines geeigneten Modells, das heißt im vorliegenden Fall einer mathematischen Beschreibung der dynamischen Verbrennungsvorgänge, die die Auswirkungen gewählter Stelleingriffe auf den Verbrennungsvorgang vorher-

*Wissenschaftler des Instituts für Technische Verbrennung und des Instituts für Regelungstechnik erarbeiten am Prüfstand neue Algorithmen zur Regelung der Niedertemperatur-Verbrennung im Dieselmotor.  
Foto: Peter Winandy*

sagbar und damit online optimierbar macht. Die Grundlage einer solchen Modellierung von Verbrennungsvorgängen bildet die Verbrennungskinetik, die den zeitlichen Ablauf chemischer Reaktionen aufschlüsselt. An der chemischen Umwandlung der Ausgangsstoffe eines Verbrennungsvorgangs, also Brennstoff und Luft, hin zu den Endstoffen eines Verbrennungsvorgangs, Kohlendioxid, Wasser, Ruß und Stickstoffoxide, sind in realen technischen Anwendungen wie der Verbrennung in Gasturbinen oder Motoren in der Regel über mehrere hundert verschiedene chemische Komponenten und

Reaktionen beteiligt. Die Reaktionskinetik aller an solch komplexen chemischen Vorgängen beteiligten Reaktionen wird in so genannten Reaktionsmechanismen zusammengefasst. Mit deren Hilfe können Verbrennungsvorgänge qualitativ und auch quantitativ beschrieben werden, wodurch sich zum Beispiel der Brennstoffverbrauch oder die Schadstoffemissionen berechnen lassen. Reaktionsmechanismen, die in ausreichender Genauigkeit die Verbrennung von Diesel- oder Ottokraftstoff bei hohen Verbrennungstemperaturen beschreiben können, sind heute schon hinlänglich bekannt. Für die im Sonderforschungsbereich angestrebte Niedertemperatur-Verbrennung ist dies jedoch nicht der Fall, so dass eine Übertragung der Reaktionsmechanismen für Diesel- oder Ottokraftstoff aus dem Hochtemperaturbereich hin zum Niedertemperaturbereich erforderlich ist. Dies kann sowohl mit Hilfe theoretischer als auch mit Hilfe experimenteller Methoden erfolgen. Insbesondere die experimentellen Untersuchungen erfordern als geeignete wissenschaftliche Methoden so genannte Laserspektroskopische Verfahren und in-situ-Massenspektrometrie, wie sie am Lehrstuhl für Physikalische Chemie I in Bielefeld angewandt werden. In einem gemeinsamen Projekt mit dem RWTH-Institut für Technische Verbrennung werden die Konsequenzen eines verbesserten Niedertemperaturreaktionsmechanismus auf die Modellierung von Verbrennungsinstabilitäten in einem homogenen Rührreaktor theoretisch und experimentell überprüft. Der homogene Rührreaktor stellt dabei eine Versuchsanordnung dar, die es erlaubt, Verbrennungsinstabilitäten isoliert von der in technischen Anwendungen vorliegenden Wirkkette aus Strömung, Mischung, Zündung und Verbrennung zu betrachten.

Die verbesserte Reaktionskinetik wird als Teilmodellierung in die mathematischen Modelle integriert, die den gesamten Verbrennungsprozess beziehungsweise die gesamte Wirkkette der Verbrennung in Gasturbinen und Motoren beschreiben. Ziel ist es

schließlich, die gesamte physikalische Modellbildung erheblich zu vereinfachen, ohne dabei die für die Regelung relevanten Informationen über den Verbrennungsprozess zu verlieren. Die vereinfachten Modelle sollen dann abstrahiert und online ausführbar in die Regelung einfließen.

Bei aller Grundlagenforschung soll die Anwendung nicht aus dem Blickfeld geraten, an der sich die Wissenschaftler letztlich messen lassen wollen: Mit der auf dem Grundlagenwissen der Verbrennungskinetik abgestützten Modellbasierten Regelung sollen homogenisierte Brennverfahren in Gasturbinen und Verbrennungsmotoren möglich und exemplarisch umgesetzt werden. Im Bereich der motorischen Verbrennung sind für diese neuartigen Brennverfahren bereits Begriffe wie HCCEI, kurz für Homogeneous Charge Compression Ignition, oder CAI für Controlled Auto Ignition international eingeführt worden, wobei der dazu zu erbringende Forschungsbedarf gerade für die – im Begriff CAI namentlich genannte – Verbrennungsregelung nachdrücklich unterstrichen wird.

[www.sfb686.rwth-aachen.de](http://www.sfb686.rwth-aachen.de)

### Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Dr.-Ing. E.h. Norbert Peters ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 686 „Modellbasierte Regelung der homogenisierten Niedertemperaturverbrennung“ und Leiter des Instituts für Technische Verbrennung. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel ist stellvertretender Sprecher des Sonderforschungsbereichs „Modellbasierte Regelung der homogenisierten Niedertemperaturverbrennung“ und Leiter des Instituts für Regelungstechnik.

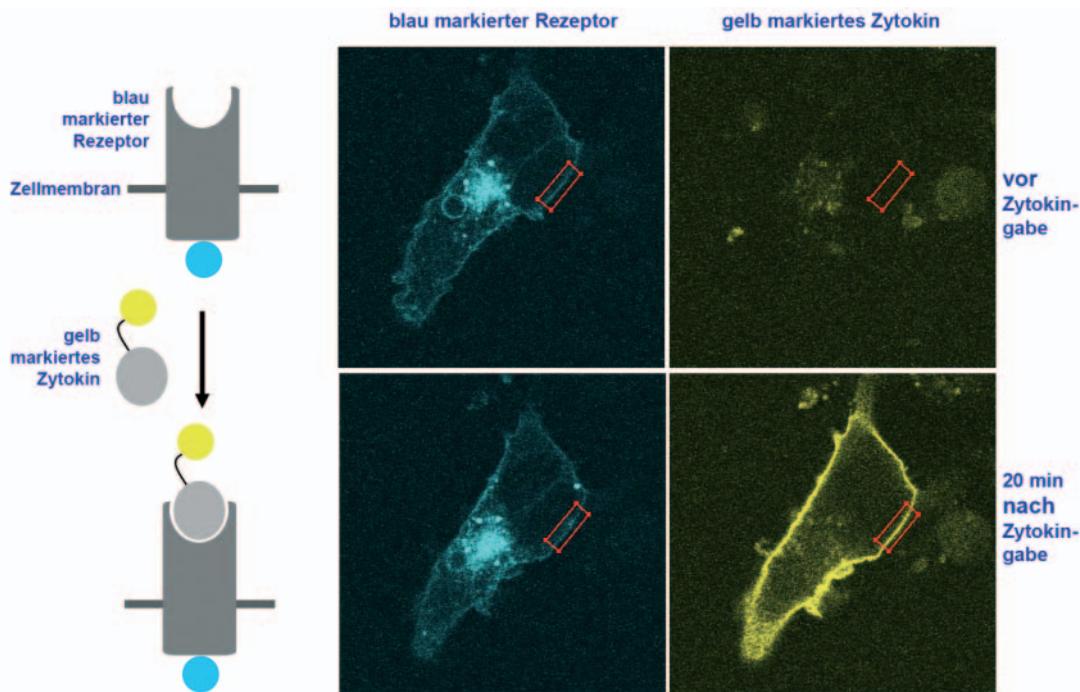
# Neue Behandlungsmöglichkeiten Eine Herausforderung für

# FE

Eine Entzündung stellt eine sinnvolle und wichtige Antwort des Organismus auf eine Verletzung oder Infektion dar. Normalerweise existiert im Rahmen dieser Antwort ein hochgradig ausbalanciertes System von zunächst pro- und später antientzündlichen Vorgängen, das bei ungestörtem Verlauf zur Heilung und zum Abklingen der Entzündung führt. Schleichen sich jedoch Störungen in diesen Ablauf ein oder kann die Ursache nicht beseitigt werden, zum Beispiel durch chronische Infekte oder (Auto-)Immunkrankheiten, in denen der Körper sich selbst attackiert, resultieren chronische Entzündungen.

Chronische Entzündungen reduzieren nicht nur – wie beispielsweise im Fall des Rheumas oder chronischer Hautkrankheiten wie Neurodermitis – erheblich die Lebensqualität, sondern erhöhen oft das Risiko zu versterben, meist verursacht durch Herz-Kreislauf-Probleme. Auch die Atherosklerose ist im Wesentlichen eine chronisch entzündliche Erkrankung. Darüber hinaus sind chronische Entzündungen von enormer volkswirtschaftlicher Bedeutung. So führt der Ausfall von lebenswichtigen Organen wie der Nieren nach chronischen Entzündungen zu gewaltigen Kosten im Gesundheitssystem. Allein für die Behandlung von derzeit etwa 80.000 Menschen ohne Nierenfunktion müssen in Deutschland pro Jahr ein bis zwei Milliarden Euro aufgebracht werden, das heißt es handelt sich hier um eine der teuersten so genannten Chroniker-Gruppen. Eine andere wichtige chronische Entzündung betrifft die Leber. Etwa fünf Prozent der deutschen Bevölkerung leidet unter chronischen Leberentzündungen, die durch Alkohol, Übergewicht und Virus-Infekte hervorgerufen werden, und auch hier werden die Behandlungskosten auf etwa eine Milliarde Euro pro Jahr geschätzt.

In vielen Fällen chronischer Entzündungen können trotz erheblich besserer Einsichten in die Krankheitsursachen diese nicht beseitigt werden. Die ge-



*Bild 1: Die Bindung eines Zytokins an seinen Rezeptor kann mit Hilfe eines konfokalen Mikroskops beobachtet werden. Ein Zytokinrezeptor wurde mit einem blau-fluoreszierenden Protein verknüpft. Daher ist der Rezeptor auf der Zellmembran*

*der abgebildeten Zelle gut zu erkennen, zum Beispiel im rot umrandeten Rechteck. Stimuliert man die Zelle nun mit dem gelb markierten Zytokin, so reichert sich das fluoreszierende Zytokin innerhalb weniger Minuten auf der Zelloberfläche an.*

genwärtig verfügbare Therapie richtet sich in diesen Fällen auf die Schadensbegrenzung, das heißt entweder symptomatische Maßnahmen, beispielsweise Schmerzlinderung, oder Dämpfung der Immunantwort, was zurzeit meist nur im Sinne eines „Schrotschusses“ mit Kortison oder Chemotherapie möglich ist.

## Zytokine und Wachstumsfaktoren

Zellen kommunizieren über kleine Eiweiß-Botenstoffe miteinander, die Zytokine oder Wachstumsfaktoren genannt werden. Diese Botenstoffe regeln viele grundlegende Zellfunktionen wie Wachstum, Bindegewebsbildung oder die Produktion wiederum anderer Botenstoffe. Sie binden nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an spezifische Rezeptoren auf der Zelloberfläche und üben so ihre Wirkung aus, siehe Bild 1. Zytokine und Wachstumsfaktoren sowie ihre Rezeptoren spielen daher – nicht unerwartet – eine grundlegende Rolle in der Entzündung, der Rückbildung einer Entzündung oder der chronischen Organschädigung und Vernarbung. Der Sonderfor-

schungsbereich 542 „Molekulare Mechanismen Zytokin-gesteuerter Entzündungsprozesse: Signaltransduktion und pathophysiologische Konsequenzen“ geht von diesen Beobachtungen aus und versucht, durch gezieltes Ausschalten von zentralen Zytokinen oder Wachstumsfaktoren den Verlauf von Entzündungen zu bessern.

## Wer, wann und wie?

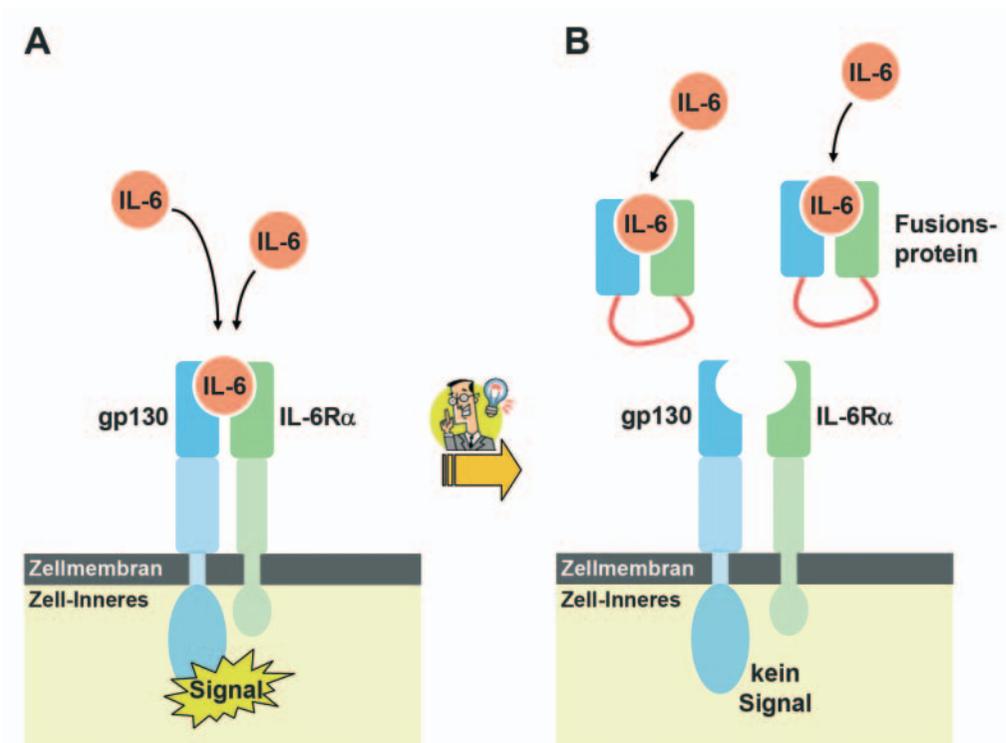
Eine Grundvoraussetzung für gezielte Eingriffe in das Zytokin- und Wachstumsfaktor-System sind Kenntnisse, welcher Faktor wann und wie in das Entzündungsgeschehen eingebunden ist. Obwohl bereits einige Daten zu diesen Fragen existieren, ist das Verständnis noch immer lückenhaft und verbesserungsbedürftig. Aus den zahlreichen Projekten des Sonderforschungsbereichs, die sich diesem Themenbereich widmen, seien exemplarisch nur wenige genannt. Im Teilprojekt A7 wurden völlig neue Erkenntnisse über den MIF-Rezeptor und dessen zelluläre Signale gewonnen. MIF, kurz für Macrophage Migration Inhibitory Factor, spielt bei der Blut-

vergiftung eine essenzielle Rolle. Im Teilprojekt A9 wird die Signalvermittlung von Transforming Growth Factor- $\beta$  in Leber-Sternzellen, die zentral an der Lebervernarbung beteiligt sind, untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass dieser über verschiedene Rezeptoren zwei unterschiedliche Signalkaskaden anschaltet. Diese Einsichten, die vermutlich auch für andere Organe relevant sind, werden dazu beitragen, neue Ansätze gegen Vernarbungsprozesse zu entwickeln. In den Teilprojekten C4 und C12 wurde schließlich erstmals nachgewiesen, dass ein Eiweiß namens YB-1 aus Zellen ausgeschieden wird und dann in der Atherosklerose beziehungsweise in Nierenkrankheiten als Entzündungs-Bote fungiert. Damit bietet sich der völlig neue Ansatz, in überschießenden Entzündungen therapeutisch gegen YB-1 vorzugehen.

## Mit Zytokinfängern gegen Entzündungen

Eine Grundvoraussetzung für das gezielte Ausschalten von Zytokinen oder Wachstumsfaktoren ist die Verfügbarkeit von

# chronischer Entzündungen: Mediziner und Biochemiker



*Bild 2: Entzündungsfördernde Zytokine werden mit Rezeptor-Fusionproteinen eingefangen. (A) Der Interleukin-6-Rezeptor in der Zellmembran besteht aus zwei verschiedenen Teilen, gp130 (blau) und IL-6R (grün), die das Zytokin Interleukin-6*

*(IL-6, orange) an der Zelloberfläche binden. Nach der Zytokinbindung löst der Rezeptor im Zytoplasma eine Signalkaskade aus (angedeutet durch den gelben Stern), die entzündliche Vorgänge vorantreibt.*

*(B) Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 542 wurden Fusionproteine entwickelt, in denen die Zytokin-bindenden Abschnitte des IL-6-Rezeptors (dunkler eingefärbte Bereiche) durch einen so genannten Linker (rote Linie) miteinander*

*verbunden sind. Diese löslichen Proteine können IL-6 einfangen und somit die Bindung des Zytokins an den membranständigen Rezeptor verhindern. Auf diese Weise wird die entzündliche Wirkung von IL-6 unterdrückt.*

spezifischen Medikamenten, so genannter Antagonisten, mit denen genau diese Faktoren, nicht aber andere, inaktiviert werden können. Im Rahmen des Teilprojekts A2 wurde ein neuartiger Wirkstoff entwickelt, mit dem das entzündungsvermittelnde Zytokin Interleukin-6 ausgeschaltet werden kann. Es wurde hierfür der neuartige Ansatz gewählt, zwei Teilbereiche des Interleukin-6-Rezeptors mit Hilfe gentechnischer Methoden zu einem so genannten Fusionsprotein zu verknüpfen, siehe Bild 2. Diese Teilbereiche wurden so gewählt, dass sie den Zellen keine Signale mehr geben können, sondern als Fusionsprotein außerhalb der Zelle „umherschweben“. Die Fusionsproteine oder Zytokinfänger dienen so als Konkurrenten für die Interleukin-6 Rezeptoren auf den Zellen. Wird genügend Fusionsprotein gegeben, bindet kaum noch Interleukin-6 an die Zellen, siehe Bild 2. In der Zellkulturschale ist der Nachweis der entzündungshemmenden Eigenschaften der Fusionsproteine bereits gelungen. In Zukunft soll die Wirksamkeit dieser Zytokinfänger in relevanten Krankheitsmodellen untersucht werden.

## Die kranke Leber heilen

Die Teilprojekte C1 und C15 befassen sich mit der Rolle von Tumor Necrosis Factor, kurz TNF, bei Leberschäden. In der Leber deuten erhöhte TNF-Werte auf eine Entzündung oder Organschädigung hin, die bis zum akuten Leberversagen und damit zum Tod führen kann. Durch TNF werden in Zellen verschiedene Signalwege angeschaltet. Dadurch kommt es in der Zelle zu einer starken Veränderung der normalen Eiweißbildung und Zellfunktion. In Labormäusen wurden eine Reihe von Genen gezielt zerstört, von denen angenommen wurde, dass sie für TNF-Signale von Bedeutung sind. Tatsächlich konnte gezeigt werden, dass Mäuse vor einem akuten, durch TNF-verursachten Leberversagen geschützt sind, wenn man ein ganz bestimmtes Gen vorher ausschaltet. Zerstört man allerdings ein anderes Gen, wurde die TNF-verursachte Leberschädigung sogar noch verstärkt. Diese Gene und ihre Funktion sind möglicherweise der Schlüssel zur Behandlung akuter Lebererkrankungen.

## Nierenversagen verhindern

Im Teilprojekt C7 wird der Wachstumsfaktor Platelet Derived Growth Factor, kurz PDGF, untersucht, der offenbar eine zentrale Rolle bei überschießendem Zellwachstum und Vernarbungsvorgängen spielt. In Tiermodellen von schweren entzündlichen Nierenerkrankungen konnte nachgewiesen werden, dass die Hemmung von PDGF mit spezifischen Antikörpern nicht nur den Verlauf dieser Nierenerkrankungen in der akuten Phase sehr günstig beeinflusst, sondern auch Langzeitfolgen, wie die Vernarbung der Nieren, erheblich reduziert. Diese Erkenntnisse haben in jüngster Zeit dazu geführt, dass PDGF-Antikörper bei Patienten mit Nierenerkrankungen getestet werden. Eine erste klinische Studie mit dem PDGF-Antikörper verlief erfolgreich.

[www.ukaachen.de/content/folder/1844206](http://www.ukaachen.de/content/folder/1844206)

## Autoren:

Univ.-Prof. Dr.med. Jürgen Floege ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 542 „Molekulare Mechanismen Zytokin-gesteuerter Entzündungsprozesse: Signaltransduktion und pathophysiologische Konsequenzen“ und Leiter der Medizinischen Klinik II. Prof. Dr.rer.nat. Gerhard Müller-Newen ist Sekretär des Sonderforschungsbereichs 542 und Mitarbeiter im Institut für Biochemie. Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Peter C. Heinrich ist Stellvertretender Sprecher des Sonderforschungsbereichs 542 und Leiter des Instituts für Biochemie.





*Bild 3: Wissenschaftler der Medizinische Klinik II – Nephrologie und Klinische Immunologie – suchen nach Proteinen, die sich als neue Therapie-Angriffspunkte bei chronischen Nierenerkrankungen eignen könnten. Die Abbildung zeigt die Beladung eines „Fluore-*

*scene 2-D Difference Gel Electrophoresis“ (DIGE)-Gels zur zweidimensionalen Auftrennung und späteren Identifizierung von einzelnen Proteinen aus komplexen Proteingemischen.  
Foto: Peter Winandy*

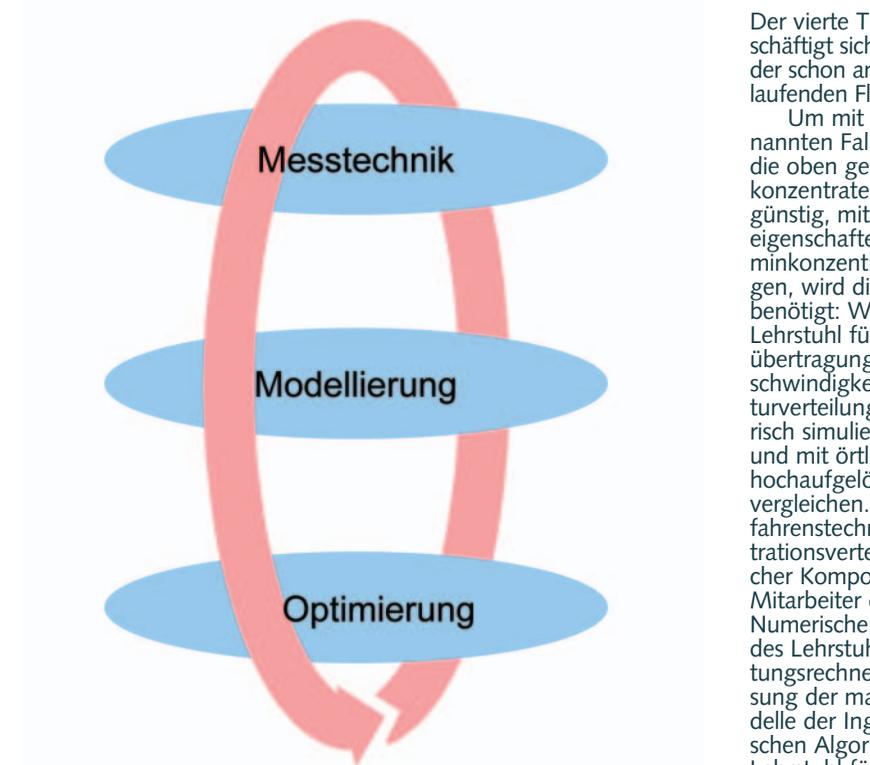
# Dem Geheimnis des Orangensafts

## Modellgestützte Analyse komplexer Prozesse in der Verfahrenstechnik

„Schmeckt wie frisch gepresst – ist aber aus Konzentrat“ – so präsentierte die Werbung lange einen Orangensaft an. Die wenigsten Verbraucher werden sich beim Kauf Gedanken machen, wie aus Fruchtsaft eigentlich Konzentrat wird. Eine Frage, die Claas Michalik beantworten kann. „Auf einer großen Oberfläche, die von der Rückseite her beheizt wird, fließt ein dünner Flüssigkeitsfilm herunter. Wenn diese Schicht zum Beispiel aus Fruchtsaft besteht, verdampft auf der Strecke das enthaltene Wasser und man gewinnt Konzentrat. Dabei muss die Temperatur genau kontrolliert werden, um Vitamine und andere wertvolle Inhaltsstoffe nicht zu zerstören“, erklärt der Verfahrenstechniker vom Lehrstuhl für Prozesstechnik.

Aufgabe der Wissenschaftler ist es, genaue Modelle für solche Abläufe zu erstellen. Mit dem so gewonnenen grundlegenden Verständnis können Produktionsschritte analysiert, der Einfluss von Betriebsbedingungen untersucht und schließlich die Herstellung effektiver gestaltet werden. Zu dem Themenkanon des Sonderforschungsbereichs 540 „Modellgestützte experimentelle Analyse kinetischer Phänomene in mehrphasigen Reaktionssystemen“ gehören beispielsweise auch chemische und biotechnologische Verfahren, die unter anderem für die Herstellung von Pharmaprodukten oder für die Reinigung von Kraftwerksabgasen gebraucht werden. Die interdisziplinäre Forschung hat dabei neben grundlegenden Fragestellungen auch stets den Anwendungsbezug im Blick. Das eng verzahnte Wechselspiel von moderner Messtechnik, mathematischer Modellierung und Optimierung, siehe Bild 1, ist wesentliches Kennzeichen aller Arbeiten.

Im Kern der Betrachtungen stehen dabei so genannte inverse Probleme. André Bardow erklärt diese am einfachen Beispiel eines Fußballs: „Die Berechnung der Flugbahn des Balles bei gegebenen Abschussbedingungen ist das direkte Problem; beim inversen Problem sehen wir nur



*Bild 1: Integration unterschiedlicher Techniken im Sonderforschungsbereich 540.*

den Ball im Netz und wollen daraus bestimmen, von wo wie geschossen wurde – und am besten auch von wem.“ Bei dieser Form der Problemstellung geht man also rückwärts in der Kausalkette und berechnet die Ursache für eine beobachtete Auswirkung, was um ein Vielfaches schwieriger ist, als die Betrachtung des direkten Problems.

Die inversen Probleme spielen dabei in den vier großen Themengebieten des Sonderforschungsbereichs eine zentrale Rolle. So werden in einem Forschungsschwerpunkt Grundlagen des diffusiven Stofftransports, der auch in einem ablaufenden Flüssigkeitsfilm eine wichtige Rolle spielt, erforscht. Ein weiterer Themenkomplex ist mit dem Titel Tropfen überschrieben. Hier werden Phänomene an einzelnen Tropfen untersucht, die in einer anderen

Flüssigkeit in der Schwebe gehalten werden. Aus der Überlagerung von mehr als 30.000 mit modernster Messtechnik gewonnener Bilder können Strömungszustände, Wärme- und Stofftransport im Tropfen detailliert rekonstruiert werden. Wie in den anderen Bereichen ist auch dabei die enge Verzahnung von Messtechnik, Modellierung und Optimierung mit einer hoch effizienten Numerik Voraussetzung für überzeugende Ergebnisse. Im dritten Forschungsbereich kommt zu Stoff- und Wärmetransport noch die chemische Reaktion als weiteres kinetisches Phänomen hinzu. Zentrales Ziel ist hier das komplexe Wechselspiel von Transport und Reaktion, wie es das Verhalten von mehrphasigen Reaktionssystemen in nahezu allen verfahrenstechnischen Apparaten bestimmt, zu beleuchten.

Der vierte Themenbereich beschäftigt sich mit der Erforschung der schon angesprochenen ablaufenden Flüssigkeitsfilme.

Um mit Hilfe dieser so genannten Fallfilme zum Beispiel die oben genannten Fruchtsaftkonzentrate möglichst kostengünstig, mit guten Geschmackseigenschaften und hohen Vitaminkonzentrationen zu erzeugen, wird die gesamte Expertise benötigt: Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung können die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung in Filmen numerisch simulieren, siehe Bild 2, und mit örtlich und zeitlich hochaufgelösten Messdaten vergleichen. Am Institut für Verfahrenstechnik wird die Konzentrationsverteilung unterschiedlicher Komponenten gemessen. Mitarbeiter des Lehrstuhls für Numerische Mathematik und des Lehrstuhls für Hochleistungsrechnen helfen bei der Lösung der mathematischen Modelle der Ingenieure mit numerischen Algorithmen. Durch den Lehrstuhl für Prozesstechnik werden systemwissenschaftliche Methoden zur Optimierung des integrierten Forschungsprozesses beigetragen.

„Nur die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Verfahrenstechnikern, Messtechnikern, Mathematikern und Informatikern bringt uns bei vielen Fragestellungen weiter. Vor allem, wenn man an seine fachlichen Grenzen stößt, können die Kollegen der anderen Institute oft mit wichtigem Hintergrundwissen helfen oder eröffnen durch ihre Sichtweise neue Lösungsstrategien“, beschreibt Claas Michalik die Arbeit im Sonderforschungsbereich.

So erlaubt die fachübergreifende Kooperation bereits gänzlich neue Einblicke in das Verständnis von Fallfilmen. Während eigentlich die Vorgänge im Flüssigkeitsfilm von Interesse sind, liefern klassische Messtechniken nur Informationen zur Temperatur auf der Rückwand des Aufbaus. Die Experimentatoren schauen sprichwörtlich „vor die Wand“. Die numerischen Mathematiker entwickeln daher ein detailliertes dreidimen-

# gemeinsam auf der Spur

sionales Modell des Versuchsaufbaus, die Prozesstechniker stellten dann neue Optimierungsmethoden bereit, so dass jetzt die Vorgänge im Film selbst rekonstruiert werden können. „Durch die Hilfe unser Kollegen können wir jetzt praktisch durch die Wand gucken“, freuen sich die Messtechniker über die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Mittlerweile kann der ganze Fallfilm durchleuchtet werden. Die Untersuchungen helfen so bei der Beantwortung von Fragen, die Verfahrenstechniker schon seit Langem interessieren. Wie in Bild 3 zu sehen ist, zeichnen sich Fallfilme durch die Ausbildung von Oberflächenwellen aus, welche durch eine Schicht sehr geringer Dicke getrennt sind. Stromab jeder Wellenfront sind so genannte Kapillarwellen mit geringer Amplitude zu unterscheiden. Diese wesentlichen, charakteristischen Phänomene definieren in unterschiedlichem Maße die Transportvorgänge in Fallfilmen.

Aus der Praxis ist bekannt, dass die Prozesse der Wärme- und Stoffübertragung zwischen dem Fallfilm und der begrenzenden Wand beziehungsweise der

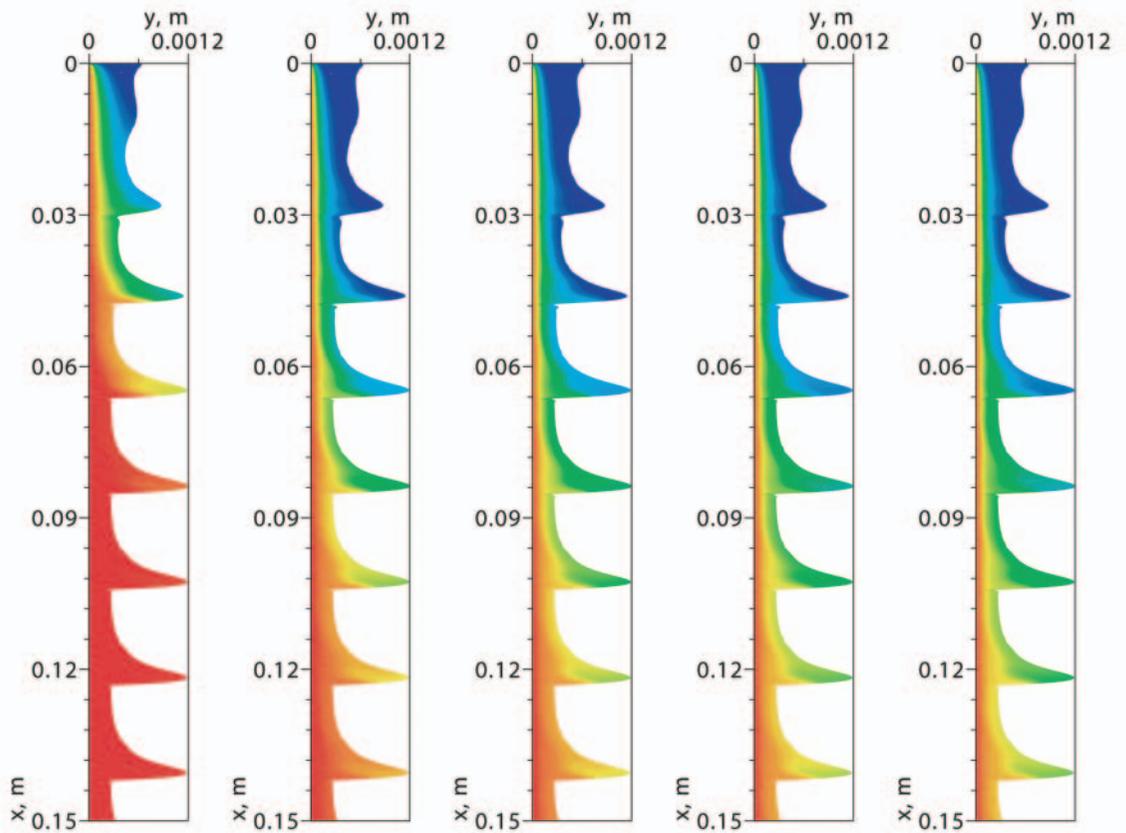
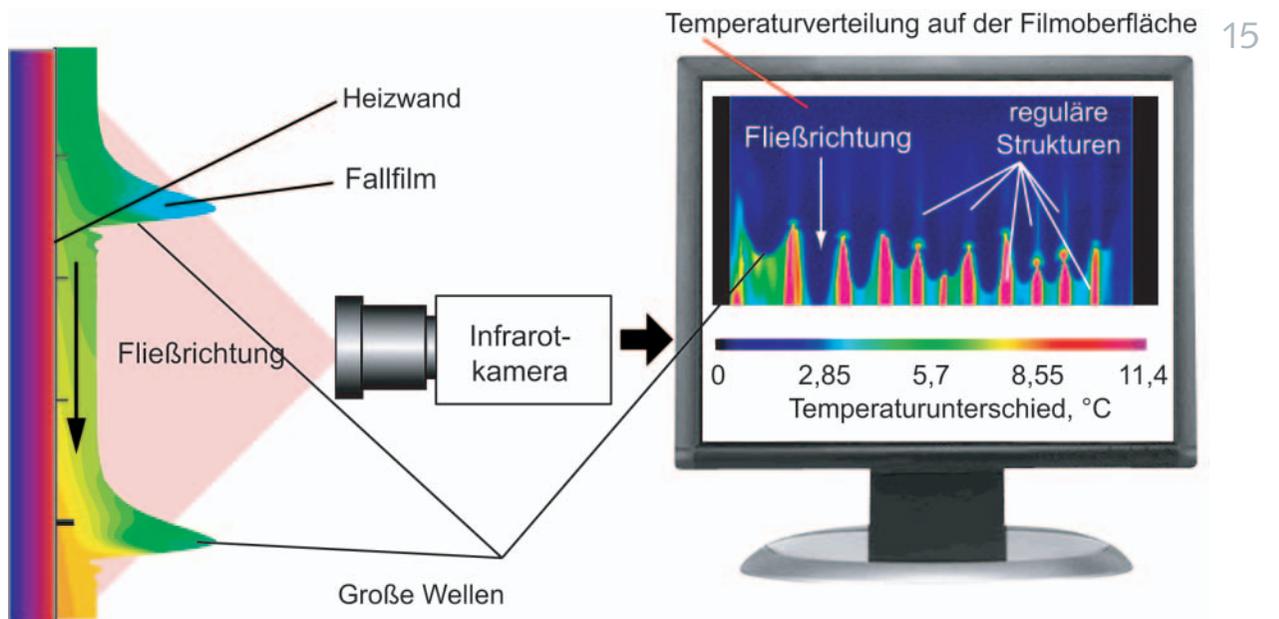


Bild 2: Ergebnisse der numerischen Simulation des Wärmetransportes in Fallfilmen mit unterschiedlichen Stoffeigenschaften; die Farbkodierung

gibt den örtlich veränderlichen Temperaturverlauf an; Blau – niedrige Temperaturen, rot – höhere Temperatur.

Bild 3: Die Infrarotthermografie, eines von mehreren im Sonderforschungsbereich angewandten Messverfahren, hilft bei der Beantwortung grundlegender Fragen. Die Farbkodierung gibt den örtlich veränderlichen Temperaturverlauf an: blau – niedrige Temperaturen, rot – höherer Temperaturen.



umgebenden Gasphase durch die Ausbildung von Oberflächenwellen maßgeblich intensiviert werden. Eine Fragestellung ist die Aufklärung der dominierenden physikalischen Ursache dieses Verhaltens. Ein grundsätzliches Verständnis der Zusammenhänge ist dabei für die Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen von zunehmender Bedeutung. So führen die günstigen Bedingungen für den Transport in Fallfilmen zu wesentlich reduzierten Anlagen-Größen und damit zu einem sparsamen Umgang mit Energie und Rohstoffen.

Eine weitere Beobachtung aus der Praxis ist die Entstehung trockener Flecken auf der Heizfläche. An diesen trockenen Stellen steigt die Temperatur in kurzer Zeit deutlich über Werte in den flüssigkeitsbenetzten Bereichen. In verfahrenstechnischen Prozessen unter Einsatz temperaturempfindlicher Substanzen, wie zum Beispiel die oben genannte Aufkonzentrierung von Fruchtsäften, kann dieses Verhalten zur Schädigung bis hin zur Zerstörung der Inhaltsstoffe oder gar der Heizfläche und damit der Anlage selbst führen. Aufgabe ist es, diese technisch relevanten Phänomene aufzuklären, um grundlegendes Verständnis zu schaffen, das die Entwicklung mathematischer Modelle erlaubt, die für die genaue Auslegung der Anlage benötigt werden. Hierzu werden sowohl numerische als auch experimentelle Methoden eingesetzt, die der Anforderung hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung gerecht werden.

Zur experimentellen Bestimmung des Temperaturfeldes innerhalb der Filmströmung werden temperaturempfindliche Partikel verwendet, die in der Flüssigkeit verteilt werden. Diese streuen einfallendes weißes Licht in Abhängigkeit der lokalen Temperatur selektiv, so dass aus der resultierenden Farbverteilung auf die Temperaturverteilung in der Flüssigkeit geschlossen werden kann, siehe Bild 4. Zur Messung der Temperaturverteilung auf der Filmoberfläche wird eine Infrarotkamera verwendet. Hiermit kann der



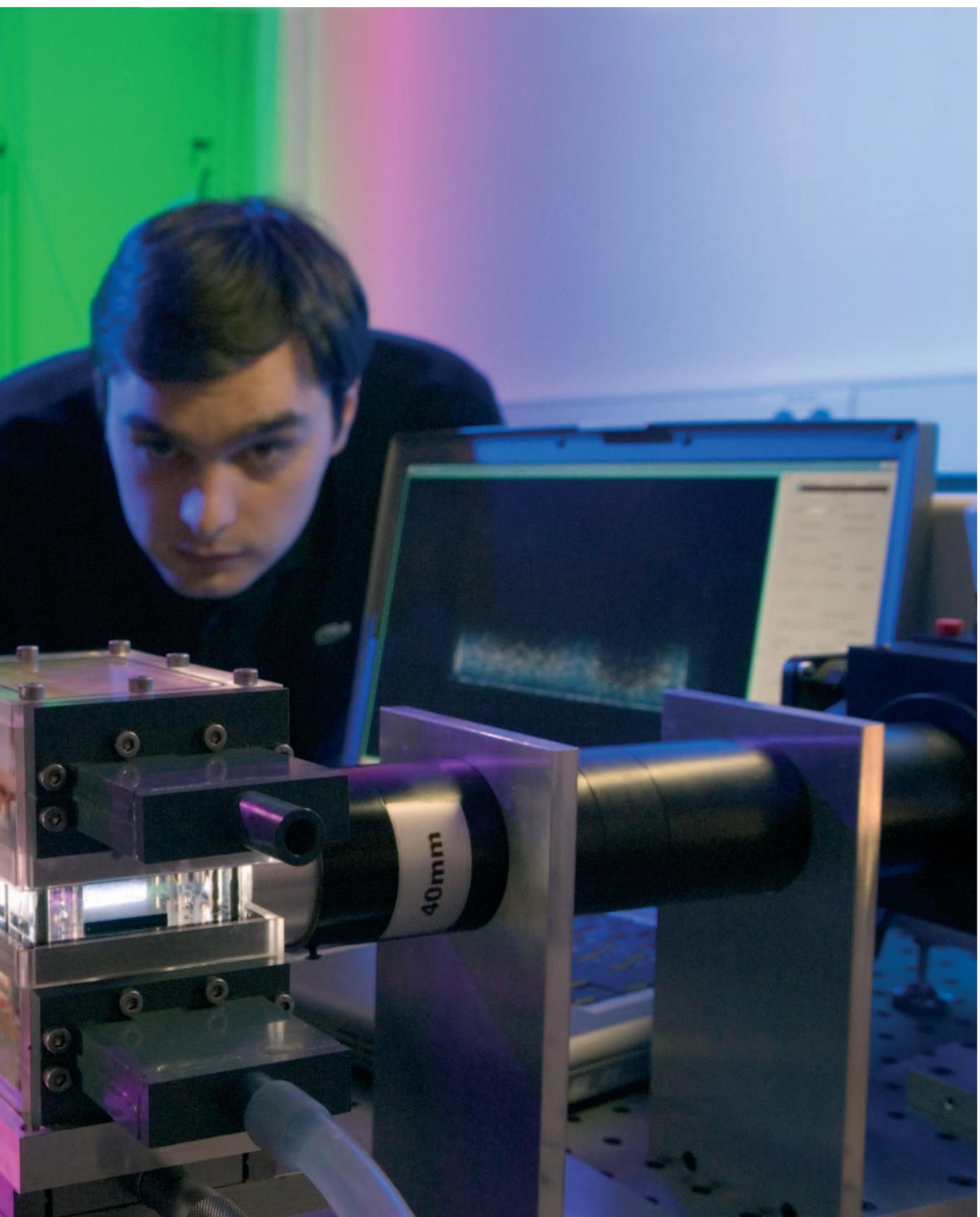
Entstehungsprozess für trockene Flecken auf der Heizfläche untersucht werden, wie Bild 3 illustriert. Zu sehen sind gleichmäßige Längsstrukturen, die im Bereich der dünnen Schicht zwischen zwei Oberflächenwellen entstehen und zum Aufreißen des Films führen. Wie ein englisches Sprichwort besagt: „the thread breaks where it is the weakest“.

Dieses Prinzip gilt auch für die Arbeit im Sonderforschungs-

bereich selbst, denn nur das abgestimmte Zusammenwirken von Messtechnik, Modellierung und Optimierung erlaubt die Aufklärung der für Ingenieure wichtigen Phänomene und sorgt damit für verbesserte Herstellungsverfahren. Eine besondere Bedeutung kommt dabei auch dem Einsatz moderner Computertechnologie zu, die es in zunehmendem Maße erlaubt, auch komplexe Vorgänge nachzubilden. Voraussetzung ist auch hier

eine enge Vernetzung zur Mathematik, Modellierung und Optimierung. Im Sonderforschungsbereich existiert der Fruchtsaft von übermorgen also vielleicht schon morgen im Computer.

[www.sfb540.rwth-aachen.de](http://www.sfb540.rwth-aachen.de)



**Autoren:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Marquardt ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 540 „Modellgestützte experimentelle Analyse kinetischer Phänomene in mehrphasigen Reaktionssystemen“ und Inhaber des Lehrstuhls für Prozesstechnik. Dr.-Ing. André Bardow und Dipl.-Ing. Claas Michalik sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Prozesstechnik.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhold Kneer ist Inhaber des Lehrstuhls für Wärme- und Stoffübertragung. Dipl.-Ing. Georg Dietze und M.Sc. Viacheslav Lel sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung.

*Bild 4: Aufbau zur Messung der Temperaturverteilung in Fluiden mit thermotropen Flüssigkristallen.  
Foto: Peter Winandy*

D

Die Entwicklung des Verbundwerkstoffes Textilbewehrter Beton ermöglicht ein neues architektonisches Erscheinungsbild des Baustoffes Beton. Häufig gestellte Anforderungen nach hochwertigen Sichtbetonoberflächen mit scharfkantigen Rändern lassen sich bei gleichzeitiger Schlankheit und Leichtigkeit realisieren. Zur architektonischen und ingenieurmäßigen Anwendung sind Grundlagen im Bereich der Auswahl und Herstellung der Ausgangsmaterialien, der mechanischen Modellierung des Verbundwerkstoffes, der Dauerhaftigkeit sowie der Herstelltechnik erforderlich. Die hierzu notwendigen Forschungsarbeiten werden seit Juli 1999 maßgeblich durch den Sonderforschungsbereich 532 „Textilbewehrter Beton – Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie“ gestützt.

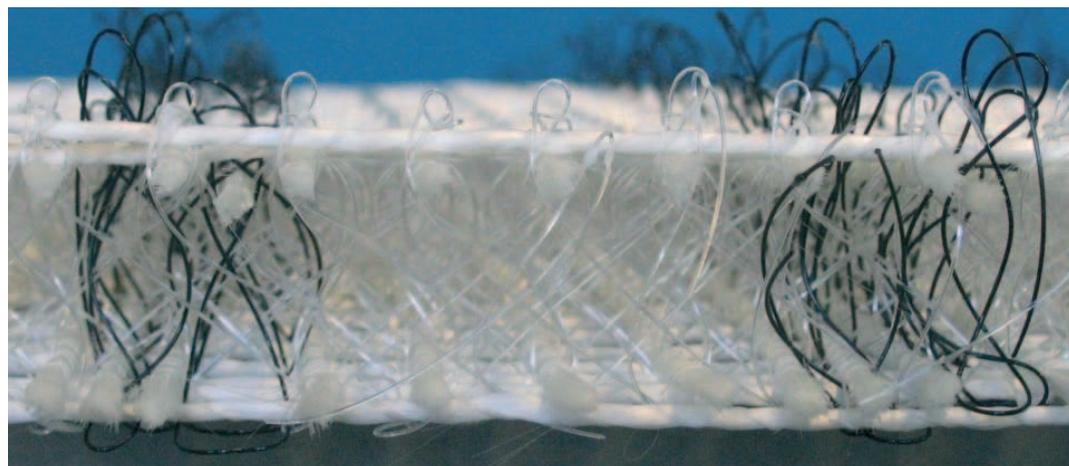
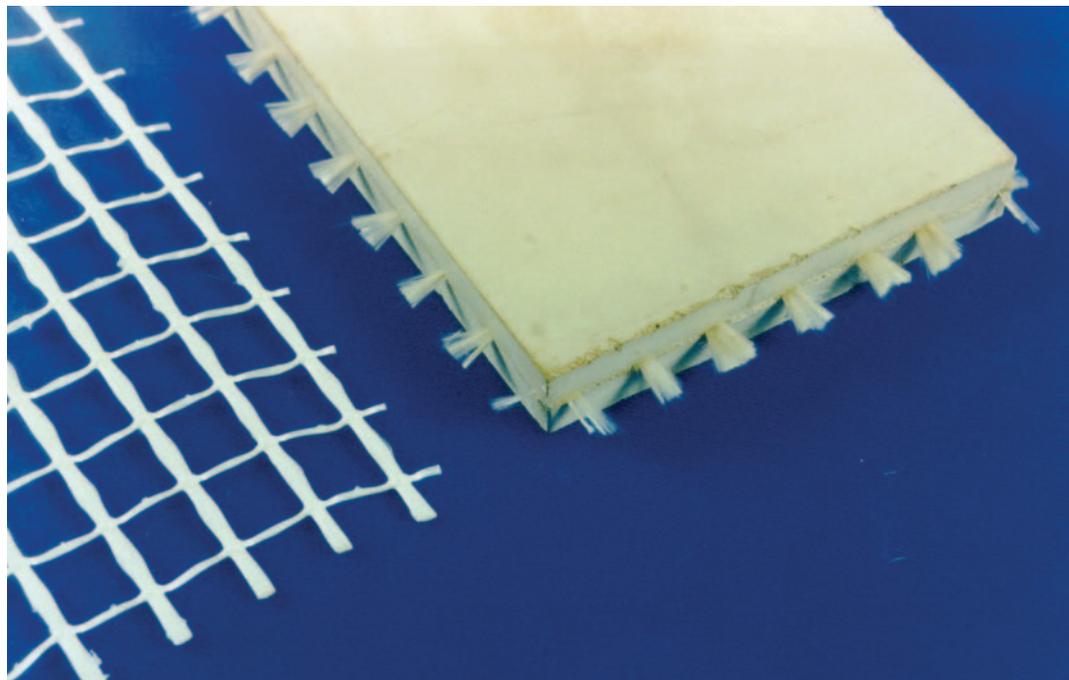
#### Technologische Grundlagen

Textilbewehrter Beton besteht aus einem hochfesten Feinbeton mit einem Größtkorndurchmesser von etwa einem Millimeter und einer Bewehrung aus technischen Textilien siehe Bild 1. Seine Entwicklung baut auf dem Glasfaserbeton mit dem Ziel auf, den Wirkungsgrad der eingelegten Fasern zu steigern.

Die Textilien werden aus alkaliresistentem Glas, Carbon oder synthetischen Kunststoffen hergestellt. Hunderte oder tausende Einzelfilamente mit einem Durchmesser von zehn bis 30 Mikrometer werden zu einem Filamentgarn, dem so genannten Roving, zusammengefasst. Diese Rovings werden zu flächigen oder dreidimensionalen Strukturen siehe Bild 2 verarbeitet, die eine optimale Ausrichtung und Anordnung der Fasern im Bauteil entsprechend der Zugbeanspruchung ermöglichen. Hieraus ergeben sich gegenüber Kurzfaserbeton höhere Tragfähigkeiten bei gleichem Fasergehalt. Da die eingesetzten Fasern im Gegensatz zur Betonstahlbewehrung keine Betondeckung zur Sicherstellung des Korrosionsschutzes benötigen, ist die Herstellung sehr schlanker Bauteile möglich.

# Textilbewehrter Beton

Bild 1: Textilbewehrtes Betonelement und Glasfasertextil.



Das Tragverhalten textilbewehrter Bauteile wird im Sonderforschungsbereich durch Variation der textilen Bewehrung hinsichtlich Material, Menge, Orientierung, Aufbau, Beschichtung und der Feinbetone an Biege- und Dehnkörpern systematisch untersucht. Da in vielen Bauteilen Abweichungen zwischen Bewehrungs- und Krafrichtung auftreten, sind Untersuchungen zu den Auswirkungen mehrdimensionaler Spannungszustände auf die Tragfähigkeit ein weiterer zentraler Aspekt. Detaillierte Darstellungen der nationalen und internationalen Untersuchungen sind in [1] und [2] zu finden.

Nach den bisherigen Ergebnissen kann anders als bei einer Betonstahlbewehrung die Zugfestigkeit der Textilien im Verbundwerkstoff Textilbeton nicht immer ausgenutzt werden. Ursachen hierfür sind Schädigungen des Fasermaterials infolge textiler Fertigungsprozesse, die Verbundeigenschaften der Faserbündel im Beton, die Bewehrungsausrichtung und die Oberflächenbeschaffenheit der Fasern. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Tragfähigkeit vor allem durch die Wechselwirkung zwischen innerem und äußerem Verbund der Filamentgarne bestimmt wird. Der direkte Kontakt der

Bild 2: Dreidimensionale textile Bewehrung als Abstandsgewirk.

Filamente mit der Betonmatrix liefert einerseits hohe Verbundfestigkeiten und ist andererseits verantwortlich für die Schädigung der Filamente. Die hervorragende Eignung von textilbewehrtem Beton für die Realisierung von Gebäudefassaden und Tragkonstruktionen wurde in den letzten Jahren in einigen Projekten gezeigt, [1] und [2].

#### Fassaden

Vorhangfassaden aus betonstahlbewehrtem Sichtbeton sind übliche Bauteile im allgemeinen

# Von der Idee zur Anwendung

*Bild 3: Vorhangsfassade zur Erweiterung der Versuchshalle des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen.*



Hochbau, haben aber bei Architekten, Bauherren und Bevölkerung wegen der Oberflächengestalt, der notwendigen Plattendicken sowie den für die heute üblichen Wärmedämmungen erforderlichen aufwändigen Edstahlankersystemen an Akzeptanz verloren. Der Einsatz von textilbewehrtem Beton ermöglicht bei Plattendicken von weniger als 25 Millimetern extrem leichte und schlanke Konstruktionen, die mit herkömmlichen Befestigungsmitteln befestigt werden können. Weiterhin sind glatte Oberflächen und scharfkantige Profilierungen und Fugen realisierbar, die zu einem neuen Er-

scheinungsbild von Betonflächen führen. Eine erste Anwendung von Textilbeton als hinterlüftete Gebäudefassade erfolgte bei der Erweiterung der Versuchshalle des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen. Dabei handelt es sich um eine Fassade, die vor eine Tragkonstruktion gehängt wird. Zwischen der Tragkonstruktion und der Fassade wird die Wärmedämmung und eine Luftschicht angeordnet. Die Gesamtfassadenfläche von 240 Quadratmetern besteht aus Einzelelementen mit Sichtbetonoberfläche, siehe Bild 3.

Im Projekt konnten erste Erfahrungen im konstruktiv-ge-

stalterischen Umgang mit dem neuen Material gewonnen werden. Durch die Ausbildung von offenen Fugen prägen die Scharfkantigkeit der Elemente und das Fugenbild die Gestalt der Fassade. An den Gebäudeecken werden durch den Rücksprung der benachbarten Aluminiumblechverkleidung die Kopfseiten der Fassadentafeln sichtbar und so ein eleganter Übergang zur Glasfassade geschaffen.

#### **Rautenfachwerk**

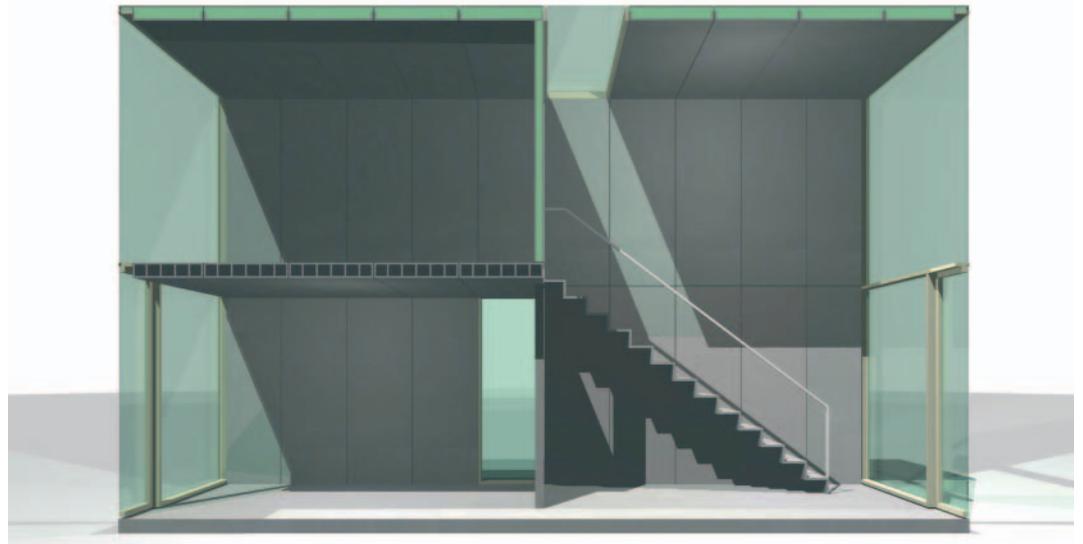
Die Verwendung rautenförmiger Gitterstrukturen zur Herstellung von Bogentragwerken stellt ein effizientes und be-

währtes Konstruktionsprinzip im Hallenbau dar. Im Zuge der Bauteilentwicklung wurden Möglichkeiten für den Einsatz von Textilbeton in diesen Tragwerken untersucht. Bild 4 zeigt den Prototyp eines Rautenfachwerkes aus diagonal kreuzenden Bogenscharen. Das Fachwerk im Bild 4 setzt sich aus 36 rautenförmigen Grundelementen mit Außenabmessungen von 1000 mal 600 mal 160 Millimeter, einer Wandstärke von 25 Millimetern und einem Gewicht von etwa 23 Kilogramm zusammen. Durch Kopplung der Rauten an den abgeschrägten Schmalseiten wird die Bogenform als Poly-

Bild 4: Prototyp und  
Detailausschnitt des  
Rautenfachwerks.



Bild 5: Ein Systemhaus aus  
Textilbeton-Sandwichelementen  
(oben, Animation des Lehrstuhls  
für Baukonstruktion 2), und  
Ausbau eines Sandwichelements  
(unten).

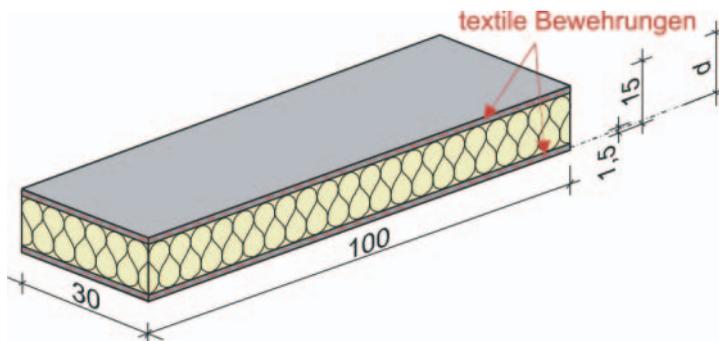


gonzug angenähert. Durch  
Wahl eines anderen Winkels  
lassen sich beliebige andere Bo-  
geometrien erzeugen.

#### Sandwichbauteile

Sandwichbauteile bilden eine  
Mischform aus Fassade und  
Tragwerk. Als integrale Wand-  
bauteile erfüllen sie gleichzeitig  
die aktuellen bauphysikalischen  
Anforderungen zur Energieein-  
sparung und lastabtragende  
Funktionen. Sie sind damit so-  
wohl im kostengünstigen Woh-  
nungsbau als auch bei Indus-  
triebauten einsetzbar. Erste Ent-  
würfs- und Konstruktionsstudien  
zeigen diese Einsatzmöglich-  
keiten am Beispiel eines zwei-  
geschossigen Systemhauses in  
Bild 5. In Bauteilversuchen  
konnte die ausreichende Trag-  
fähigkeit von Sandwichelemen-  
ten, die aus einem 14 Zentimeter  
dicken PUR-Hartschaum-  
kern und 1,5 Zentimeter  
dicken Deckschichten aus Text-  
ilbeton bestehen, nachgewie-  
sen werden. Die Umsetzung in  
einem Prototyp für das System-  
haus soll im Jahr 2007 erfolgen.

Die Beispiele verdeutlichen,  
dass bereits heute materialge-  
rechte Anwendungen für den  
neuen Baustoff existieren. Ein-  
fache Verbindungstechniken,  
komplex formbare Textilien und  
statische Bemessungsmodelle  
bilden die Grundlagen zur Ent-  
wicklung von Strukturen, bei  
denen die konstruktiven und  
gestalterischen Eigenschaften  
des neuen Werkstoffes wie



Bauteilschlankheit, scharfkanti-  
ges Erscheinungsbild und her-  
vorragende Betonoberflächen  
zum Tragen kommen. In Kom-  
bination mit der Herstellung als  
Fertigteil und der damit einher-  
gehenden einfachen Montage  
und Demontage von Bauwer-  
ken werden auch die Forderun-  
gen nach einer nachhaltigen  
Bauweise erfüllt. Ziel der lau-  
fenden Untersuchungen ist es,  
die Zugtragfähigkeit zu er-  
höhen und in Sicherheitskon-  
zepte eingebundene Nachweis-  
modelle für die Tragfähigkeit,  
Gebrauchstauglichkeit und  
Dauerhaftigkeit bereit zu stel-  
len. Erheblicher Entwicklungs-  
bedarf besteht noch bei den  
Herstellungstechniken. Hier

sind die Bauindustrie und ins-  
besondere die Hersteller von  
Fertigteilen und Bauprodukten  
aufgerufen, neue Wege zu be-  
schreiten und sich aktiv an der  
Entwicklung zu beteiligen.

<http://sfb532.rwth-aachen.de>

#### Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef  
Hegger ist Sprecher des  
Sonderforschungsbereichs 532  
„Textilbewehrter Beton – Grund-  
lagen für die Entwicklung einer  
neuartigen Technologie“ und  
Leiter des Instituts für Massiv-  
bau. Dr.-Ing. Norbert Will ist  
Oberingenieur am Institut für  
Massivbau.

#### Literatur:

[1] Brameshuber, W. (Editor):  
Textile Reinforced Concrete.  
State-of-the-Art Report of  
RILEM Technical Committee  
201-TRC. RILEM Report 36,  
RILEM Publications,  
Bagneux, France, 2006.

[2] Hegger, J.; Brameshuber,  
W.; Will, N. (Editors): Textile  
Reinforced Concrete. Proce-  
dings of the 1st International  
RILEM Symposium (ICTRC),  
Aachen, 05.-07.09.2006,  
RILEM Proceedings 50,  
RILEM Publications,  
Bagneux, France, 2006.



Bild 6: Am Institut für Massivbau werden Textilbetonbauteile unter verschiedenen Belastungssituationen untersucht.  
Foto: Peter Winandy

## Zukunft in Aluminium

**Aleris**  
Europe



21



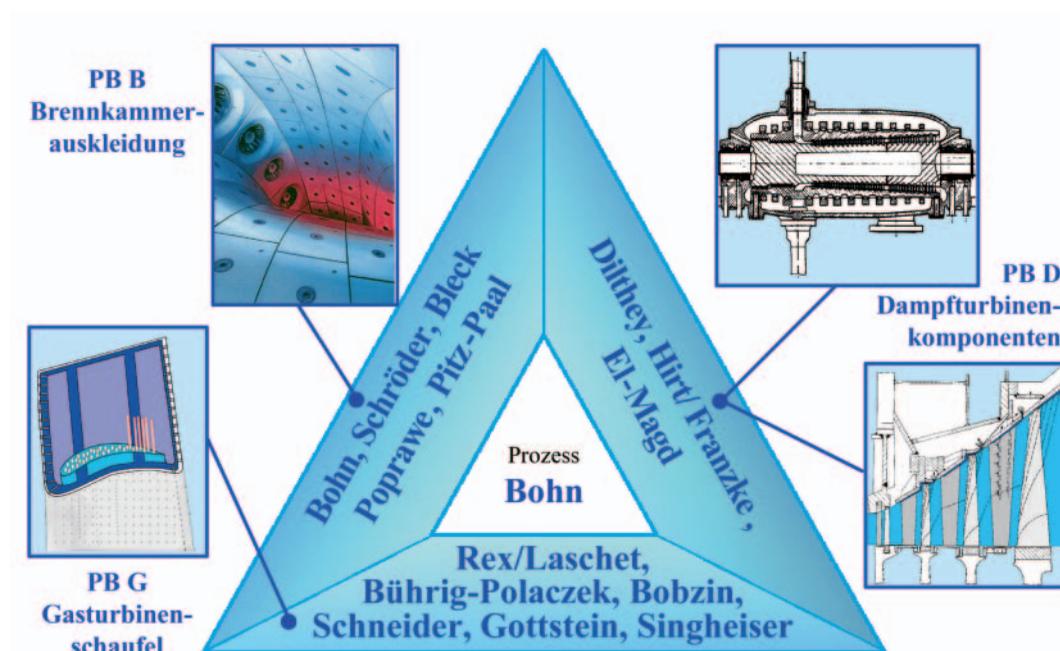
In jahrelanger Erfahrung haben wir uns auf die Produktion von hochwertigem Aluminium-Halbzeug spezialisiert. Wir sind der einzige deutsche Hersteller von Aluminiumplatten für die internationale Luft- und Raumfahrtindustrie.

In vielen Bereichen gehören wir zu den Marktführern, z. B. bei plattierten Aluminiumbändern für Radiatoren oder Verdampfer. Sprechen Sie uns an. Wir beraten Sie gerne.

**Aleris Aluminum  
Koblenz GmbH**  
Carl-Spaeter-Straße 10  
56070 Koblenz · Deutschland  
T 0261 891 7216  
F 0261 891 97216  
[www.aleris.com](http://www.aleris.com)

# Forschung für das Kühltechnologie für die Gasturbine

Die Schonung der natürlichen Brennstoffressourcen und die Reduzierung der Emission umweltschädlicher Gase sind die treibenden Kräfte zur Verbesserung der thermischen Wirkungsgrade zukünftiger und neuer Kraftwerke. Die wirtschaftliche und umweltfreundliche Produktion von elektrischer Energie ist eine der grundsätzlichen technologischen Herausforderungen, deren Lösung nachhaltig über den Lebensstandard und das Wohlergehen der Menschheit in der modernen Welt entscheidet. Die Herausforderung an die Energiewirtschaft des beginnenden 21. Jahrhunderts wird aber sein, sowohl den Forderungen nach höherer Effizienz nachzukommen als auch die zu erwartenden strengen Umweltauflagen zu erfüllen und dennoch Garantien für den Anlagenwirkungsgrad wie auch für die Verfügbarkeit bei reduzierten Betriebskosten zu übernehmen. Daher sind angewandte Grundlagenarbeiten bei der universitären Forschung von Nöten. Der Sonderforschungsbereich 561 „Thermisch hochbelastete, offenporige und gekühlte Mehrschichtsysteme für Kombikraftwerke“ hat sich zum Ziel gesetzt, die heutigen technischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erweitern und neue wissenschaftliche Grundlagen zu schaffen, um in einem Kombikraftwerk der Zukunft etwa ab dem Jahr 2025 Gesamtwirkungsgrade von 65 Prozent zu erreichen. Durch die Steigerung der Effizienz von Kraftwerken, nicht nur von einzelnen Komponenten sondern im Zusammenspiel aller Komponenten, kann ein wesentlicher Beitrag zur Schonung der Brennstoffressourcen und Emissionsreduktion geleistet werden. Heute können moderne kombinierte Gas- und Dampfturbinen Kraftwerke bei Feuerung mit Erdgas Gesamtwirkungsgrade von 58 Prozent erreichen. Dabei werden mit Eintrittstemperaturen von etwa 1230 Grad Celsius in Gasturbinen und maximal 600 Grad Celsius in Dampfturbinen bereits Fluidtemperaturen erreicht,



Standortvorteile in Aachen: • Hohe fachübergreifende Kompetenz  
• Gute Ausstattung mit Versuchsträgern

© IDG 2007

die die Belastungsgrenzen der eingesetzten Werkstoffe erreichen oder gar überschreiten, so dass ein sicherer und langlebiger Betrieb bei hoher Verfügbarkeit der Anlagen nur über komplexe Kühlverfahren, anspruchsvolle Konstruktionen und Revisionsvorschriften möglich wird.

Die zur Erzielung eines Gesamtwirkungsgrads von 65 Prozent erforderlichen hohen Prozesstemperaturen können nur durch die Entwicklung von neuen Werkstofflösungen, einschließlich Wärmedämmschichten, in Kombination mit verbesserten Kühlkonzepten beherrscht werden. Für die Gasturbine bedeutet das die Verwirklichung effektiverer Kühltechnologien, wie zum Beispiel der Effusionskühlung für die Brennkammer und für die Beschaukelung. Im Sonderforschungsbereich sollen deshalb die aero-thermomechanischen, strukturmechanischen, werkstoffkundlichen und fertigungstechnischen Grundlagen für hochbelastete Komponenten von ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Kombikraftwerken der übernächsten Generation geschaffen werden. Die Entwicklungsschritte der erforderlichen neuen Technologien für ein zukünftiges Kombikraftwerk

mit einem Wirkungsgrad von 65 Prozent wurden für diesen Sonderforschungsbereich bereits frühzeitig projektiert. Die Ziele können dabei nur durch einen interdisziplinären Verbund verschiedener Institute mit jeweils speziellen Fachkompetenzen erreicht werden, siehe Bild 1. Über die mit allen Teilprojekten verbundene Prozessanalyse wird darüber hinaus gewährleistet, dass die in einem Projektbereich erzielten Ergebnisse dem gesamten Sonderforschungsbereich zur Verfügung gestellt und somit Synergieeffekte systematisch genutzt werden können.

Grundsätzlich wird die Wirkungsgradsteigerung für den Gesamtprozess durch Erhöhung der Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Prozess Temperatur erreicht. Daher wird eine Steigerung der Turbineneintrittstemperaturen als Beitrag zur Wirkungsgradverbesserung angestrebt, siehe Bild 2. Mit dem Einsatz von Wärmedämmschichten auf Keramikbasis wäre zwar ein Anheben der Gasturbineneintrittstemperatur um 150 Grad Celsius prinzipiell möglich, doch kann dieses Potenzial heute noch nicht genutzt werden, weil die Lebensdauer dieser Schichten noch nicht reproduzierbar

*Bild 1: Kompetenz der RWTH Aachen.*

quantifiziert werden kann. Nur durch die Kombination von Effusions- beziehungsweise Transpirationskühlung mit Wärmedämmmaßnahmen wird sich die angestrebte Wirkungsgradsteigerung realisieren lassen.

Zur Erreichung des angestrebten Wirkungsgrades müssen zusätzlich für die Dampfturbine Ausführungsprinzipien zur Beherrschung der Frischdampftemperaturen von rund 700 Grad Celsius mit höchsten Drücken gefunden werden. Dabei müssen Kühlmöglichkeiten für das Gehäuse der Hochtemperatur-Dampfturbinen erarbeitet werden. Zur Vermeidung des Einsatzes von Nickel-Basis-Legierungen, der mit fertigungstechnischen Problemen und sehr hohen Kosten verbunden wäre, wird schwerpunktmäßig an der Realisierung gekühlter Strukturen aus ferritischen Werkstoffen gearbeitet. Ein weiterer Schritt zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrades ist die Reduktion der Verluste beim Entwässerungsvorgang des Sattampfes am Ende des Expansionsvorganges in der Niederdruck-Dampfturbine. Zur Vermeidung von erosiven Schädigungen durch auskondensier-

# Kombikraftwerk der Zukunft

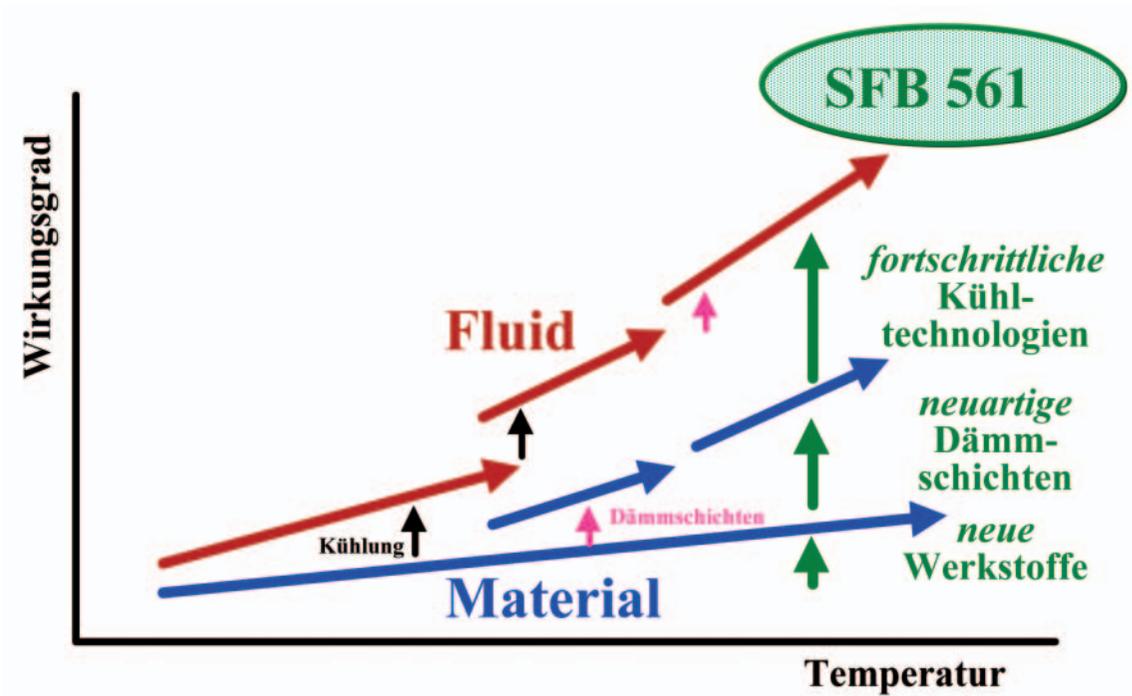


Bild 2: Umsetzung der Vision des Sonderforschungsbereichs 561 in technologisch logische Schritte.

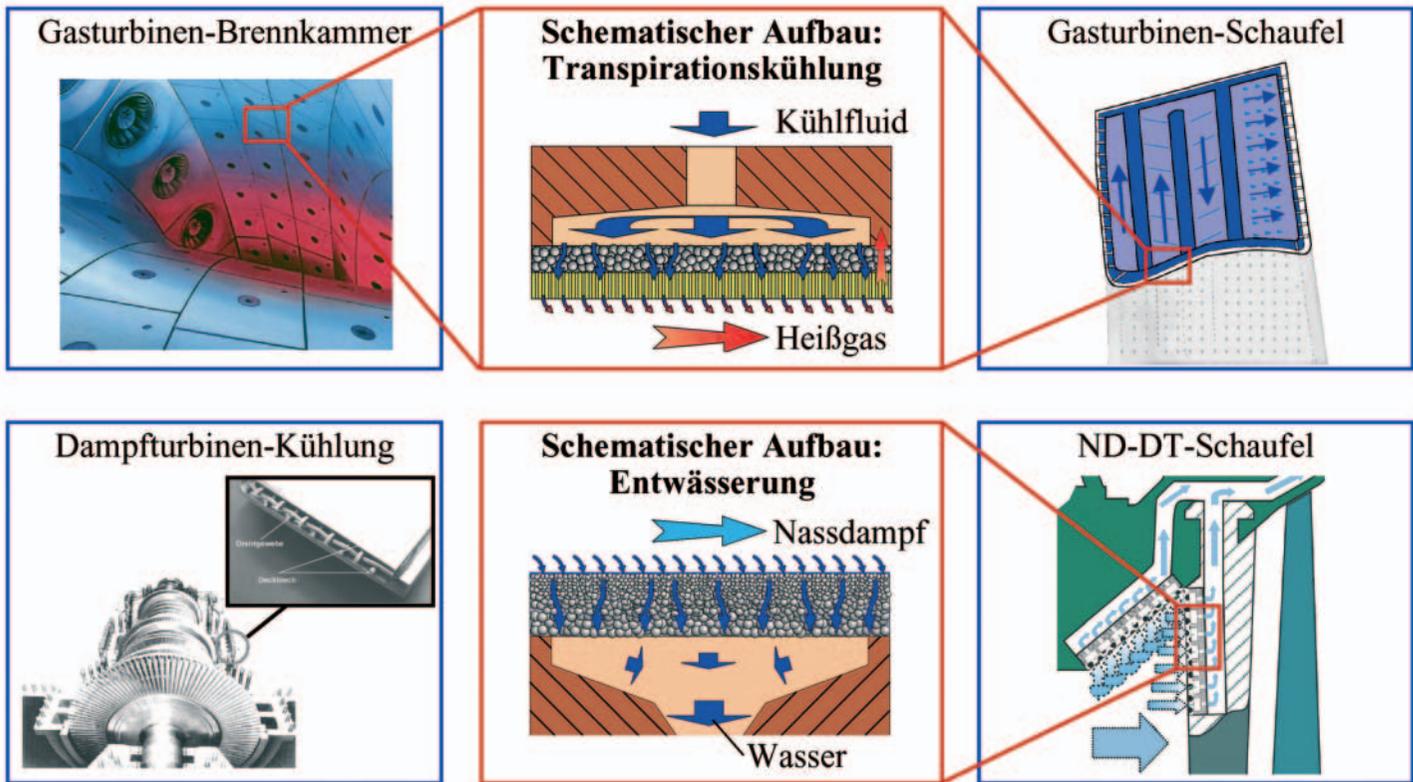


Bild 3: Wissenschaftliche Reduzierung der technologischen Herausforderungen auf Modelle.

te Wassertropfen soll durch ein flächiges Absaugen des Wassers über Schäume der Anteil der Tropfen in der Strömung reduziert werden. Durch die gegenüber den heutigen Schlitzabsaugungen glattere Oberfläche werden die Strömungsverluste reduziert und damit eine weitere Wirkungs-

gradsteigerung erzielt. In Bild 3 ist der prinzipielle Aufbau von offenporigen Strukturen und deren Einsatzmöglichkeiten im Kraftwerk dargestellt. Den schematischen Aufbau einer effusions-/transpirationsgekühlten Gasturbinenwandung zeigt Bild 3, oben. Der Strukturwerkstoff führt über ein Kammer-

tem das Kühlfluid einer offenporösen Zwischenschicht zu die vor direktem Heißgaskontakt durch eine permeable Wärmedämmschicht geschützt ist. Auf der Heißgasseite tritt das Kühlfluid flächig aus, so dass sich ein kontinuierlicher Kühlfilm ausbildet. Die Außenhaut einer zukünftigen Gasturbinenschau-

### SchlackerReaktionsSchaumSinter-Verfahren

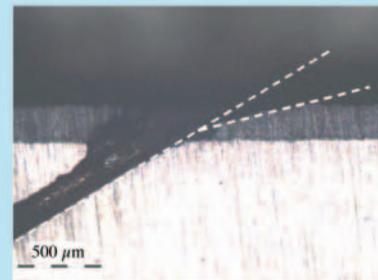


Offenporige Metallschäume mit gezielter Porosität

© TP B.2.1 - IEHK

### Laserbohren

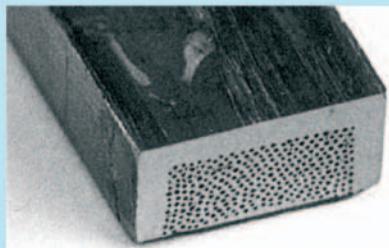
Herstellverfahren für konturierte Feinstbohrungen in dem Mehrschichtsystem: Substrat, MCrAlY und TBC



© TP B.2.2 - LLT

### Herstellverfahren für den Verbundwerkstoff

Kopplung der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fasern mit der NiAl-Matrix durch geeignete Schichten und Verfahren



© TP G.3.1 - IMM

### Gießtechnik NiAl

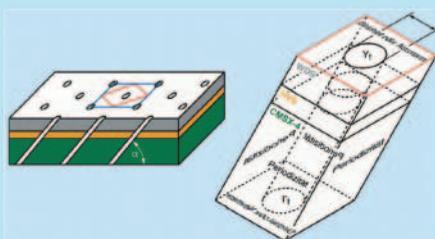


Herstellung prüffähiger Hohlkörper aus NiAl

© TP G.2.1 - GI

Bild 4a: Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 561 im Bereich Herstellung und Prüfung neuer Werkstoffe.

### Homogenisierung

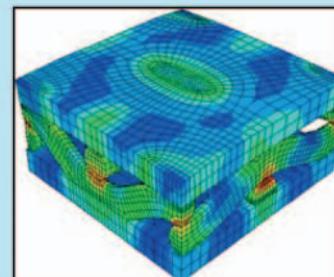


Berechnung äquivalenter Werkstoffeigenschaften für gekühlte offenporige Strukturen

© TP G.1.1 - ACCESS

### Mechanisches Verhalten

Berechnung der mechanischen Lasten unter Verwendung der experimentell bestimmten Werkstoffeigenschaften

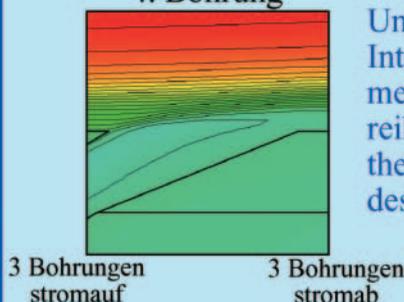


© TP D.3.1 - LFW

24

### Conjugate, RANS

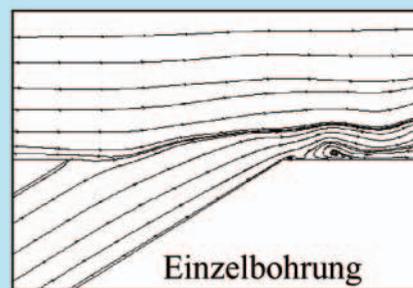
#### 4. Bohrung



Untersuchung der Interaktion von mehreren Bohrungsreihen und der thermischen Belastung des Materials

© TRP B.1.1 - IDG

### Adiabat, LES



Detaillierte Untersuchung der Wirbelsysteme der Interaktion von Kühlstrahl und Hauptströmung

© TP B.1.2 - AIA

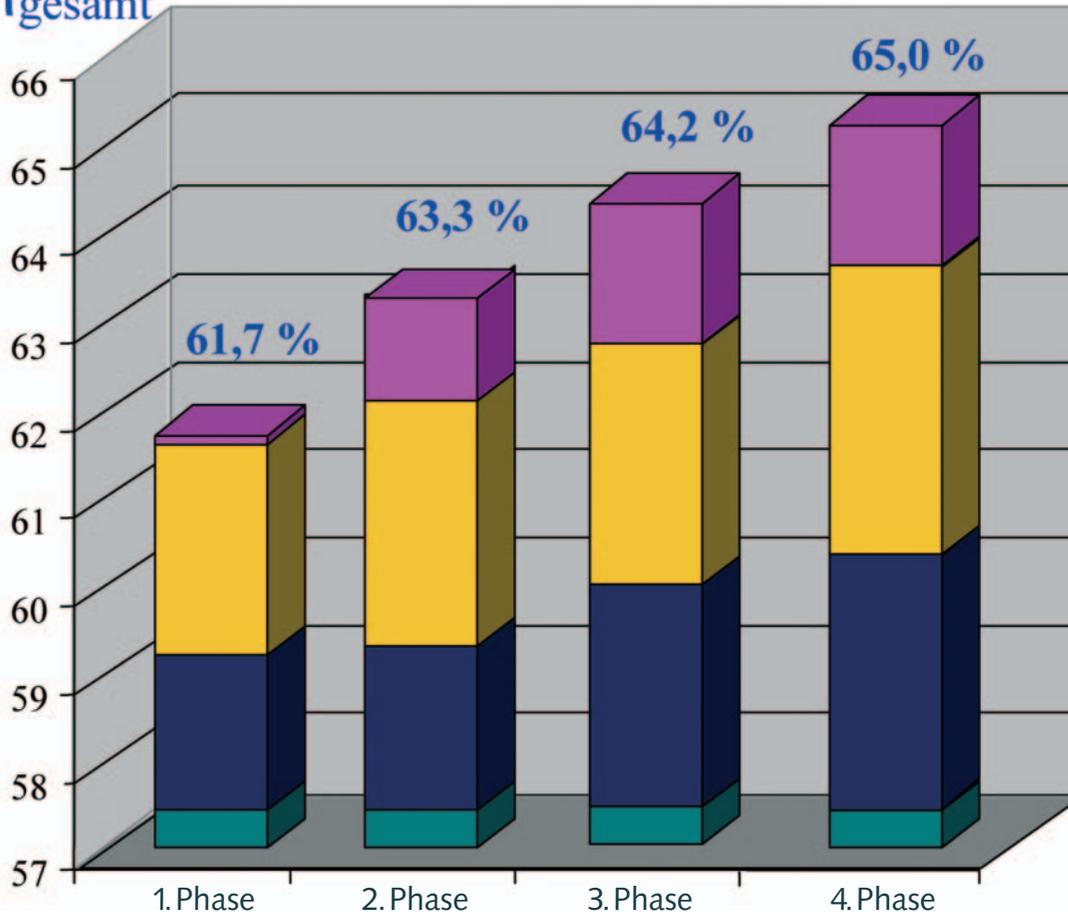
Bild 4b: Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 561 im Bereich Modellierung der aerothermomechanischen Phänomene.

fel kann nach dem gleichen Prinzip wie die Brennkammerwand aufgebaut werden. Zur Absaugung des auskondensierenden Wassers in der Niederdruck-Dampfturbine soll ebenfalls ein Kammersystem realisiert werden. Hierbei wird das Prinzip der Kühlung umgekehrt

und das Wasser durch die poröse Schicht in die Kammern geleitet, siehe Bild 3, rechts unten. Die grundsätzliche Methodik der offenporigen Strukturen soll im Hochtemperaturbereich der Dampfturbinen durch Gewebestrukturen realisiert werden, siehe Bild 3, links unten, durch

die Kühldampf geleitet wird, der das Bauteil konvektiv kühlt. Durch die Gewebelage wird die Turbulenz innerhalb der Struktur und dadurch der Wärmeübergang in der Hohlstruktur erhöht, so dass eine effektivere Kühlwirkung erzielt wird. Für die Gasturbinenlauf-

$\eta_{\text{gesamt}}$



## Wirkungsgradsteigerung

-  **Höhere Materialtemperaturen**
-  **Dampfturbine**  
höhere Dampfparameter  
Dampfkühlung
-  **Gasturbine**  
bessere  
Strömungsführung
-  **Referenz-Kraftwerk**

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTH THEMEN

schaufel wird unter alleiniger Verwendung poröser Materialien keine ausreichende Zeitstandfestigkeit zu erzielen sein. Daher wird für dieses Bauteil ein Konzept verfolgt, das eine faserverstärkte NiAl-Legierung als lasttragenden Kern der Schaufel vorsieht, der von einem NiAl-Mantel umschlossen wird, der das äußere Profil der Schaufel bildet. Der Mantel wird durch eine Wärmedämmschicht geschützt und mit Bohrlochfeldern versehen sein. Auf dem Wege zur Realisierung der flächigen Bauteilkühlung und der flächigen Wasserabsaugung sind in einem ersten Schritt die Fertigungstechnologien für die offenporösen Werkstoffe zu entwickeln. Unter anderem wurden hierzu bislang folgende Erfolge erzielt, siehe Bild 4a:

- Zur Herstellung von offenporösen Strukturen für Brennkammerauskleidungen wurde das SchlickerReaktions-SchaumSinter-Verfahren entwickelt. Bei diesem Verfahren bilden sich in dem Schaum größere Primärporen, die durch kleinere Sekundärporen miteinander verbunden sind.
- Zur Herstellung von Kühlbohrungen in Mehrschichtsystemen, bestehend aus einem Substrat, einer Bindschicht und einer keramischen Wärmedämmschicht, wird ein Laserbohrverfahren eingesetzt, bei dem das Austreiben der Schmelze über den Bohrungseintritt erfolgt.
- Für den lasttragenden Kern einer zukünftigen Gasturbinen-

schaufel wurde ein Konzept und ein Herstellverfahren zur Einbindung von Keramikfasern in eine NiAl-Matrix entwickelt.

● Auf dem Gebiet der Fein-gusstechnologie zur Herstellung von Gasturbinenkomponenten aus neuen Werkstoffen und Werkstoffverbunden wurden umfassende Ansätze zur Entwicklung neuer Formschalenkeramiken und adäquater Kernmaterialien umgesetzt und auf die Herstellung von Probenmaterial angewendet.

Die detaillierte Bestimmung der mechanischen Eigenschaften ist eine notwendige Voraussetzung für die realitätsnahe Modellierung der offenporigen Strukturen. Somit können Modelle entwickelt werden, mit deren Hilfe unter anderem:

- die Interaktion von Außen- und Kühlluftströmung,
- die mechanischen Belastungen verschweißter Gitterbleche,
- die kombinierte Berechnung von Strömung und Festkörper sowie
- die äquivalenten Werkstoffeigenschaften gekühlter offenporiger Strukturen unter Verwendung der experimentell bestimmten Werkstoffeigenschaften detailliert untersucht werden können, siehe Bild 4b. Durch die gezielte Konturierung und die geometrische Anordnung von geeigneten Kühlbohrungen wird auf der Bauteiloberfläche ein homogener Kühlfilm erreicht, der die zu kühlende Struktur vor dem Kontakt mit Heißgas schützt. Die jeweils erforderliche Kühlluftmenge kann durch den Ver-

*Bild 5: Beitrag der Technologien zur Entwicklung des Kraftwerk-Gesamtwirkungsgrades.*

gleich mit der aus Prozessrechnungsdaten ermittelten notwendigen Kühleffektivität bestimmt werden.

Da sich die RANS-Modelle zwar durch eine hohe Rechengeschwindigkeit auszeichnen, das Ergebnis jedoch in erheblichem Maße von der Wahl des Turbulenzmodells abhängig ist, muss sichergestellt sein, dass das verwendete Modell die physikalischen Phänomene bei der Interaktion von Heißgas und Kühlluftstrahl vollständig erfasst. Dazu wurden zusätzlich hochgenaue, aber deutlich rechenintensivere LES-Untersuchungen durchgeführt und die Ergebnisse beider Methoden miteinander verglichen.

Für die Bewertung der erreichbaren Wirkungsgradverbesserung durch die entwickelten Kühl- und Entwässerungstechnologien wurde als Basis das Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk Tapa-do-Outeiro in Portugal gewählt, das den heutigen Stand der Technik wieder spiegelt. Auf Basis dieses Referenzkraftwerks wurde ein Modell für die Prozessanalyse erstellt, das derart detailliert ist, dass die Beiträge der einzelnen Projekte des Sonderforschungsbereichs zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrades bewertet werden können. Durch diese Bewertung der Ergebnisse werden der derzeitige Stand und die notwendigen weiteren Fort-

schritte zum Erreichen des Ziels eines Gesamtwirkungsgrades von 65 Prozent bestimmt. Durch eine weitere Verbesserung der Technologien – insbesondere durch Einführung der Gradierung – können die weiteren Potenziale der neuen Konzepte noch erschlossen werden, so dass bei Reduktion der Kühlluftströme und Steigerung der zulässigen Materialtemperaturen ein Wirkungsgrad von 65 Prozent erreicht werden kann, siehe Bild 5.

Im Bereich der Strömungsmechanik, Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik zur Entwicklung thermisch hochbelasteter offenporiger Komponenten für ein Kombi-Kraftwerk der Zukunft wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs erhebliche Fortschritte erzielt. Durch die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse ergibt sich für Kombi-Kraftwerke der Zukunft somit ein Wirkungsgradpotenzial um etwa zwölf Prozent und ein CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von etwa 15 Prozent gegenüber dem heutigen Stand der Technik.

[www.sfb561.rwth-aachen.de](http://www.sfb561.rwth-aachen.de)

### Autor:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Bohn ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 561 „Thermisch hochbelastete, offenporige und gekühlte Mehrschichtsysteme für Kombikraftwerke“ und Leiter des Instituts für Dampf- und Gasturbinen.

# Umweltverträgliche Tribosysteme im Blick

## Werkstoffe übernehmen Schmier- und Verschleißschutzeigenschaften

**R**eiibungsbehaftete Kontaktstellen von relativ zu einander bewegten Bauteilen werden Tribosysteme genannt und sind grundsätzliche Bestandteile technischer Geräte. Sie kommen in unterschiedlichsten Ausführungsformen im Maschinenbau zum Einsatz. Dieser ist in der Bundesrepublik Deutschland ein traditionsgemäß starker Wirtschaftsfaktor mit einem hohen Anteil am Export und damit von Innovationen abhängig, bei denen Rohstoffe eingespart und intelligenter eingesetzt werden können.

Die Anwendungen der Tribosysteme liegen sowohl im Bereich der Leistungsübertragung als auch bei den formgebenden Prozessen. Dort tragen sie nicht nur zur Funktionserfüllung bei, sondern beeinflussen signifikant sowohl die ökonomische als auch ökologische Bilanz der technischen Systeme. Diese wird insbesondere durch das hohe ökotoxikologische Gefährdungspotenzial der mineralölbasierten und mit Additiven legierten Zwischenstoffe geprägt. Denn durch Leckagen können die Zwischenstoffe in die Umwelt gelangen und dort zu Schäden führen. Aber auch durch unsachgemäßen Umgang mit den Schmierstoffen im weiteren Sinn werden Verschwendungen von Ressourcen in enormer Höhe verursacht.

Der für den Sonderforschungsbereich daraus abgeleitete Leitgedanke besteht in der Übertragung tribologischer Funktionen von den Fluiden auf die Werkstoffe der Tribopartner. Dies bedeutet, dass biologisch schnell abbaubare und nicht-toxische Fluide entwickelt und eingesetzt werden, die nur gering und umweltverträglich additiviert sind. Die dann dem System fehlenden Schmier- und Verschleißschutzeigenschaften müssen von den Materialien der Tribopartner übernommen werden, wozu Verbundwerkstoffe erforscht und entwickelt werden.

### Neue Beschichtungen und Schmierstoffe werden entwickelt

Zur Durchführung der Forschungsaufgaben sind Tribometer entwickelt worden, an denen hoch belastete Kontakte aus Maschinen nachgebildet werden und anhand vereinfachter Modelluntersuchungen analysiert und den Zielen folgend entwickelt werden können. Ein Beispiel ist der in Bild 1 gezeigte Kolben einer Hochdruck-Axialkolbenmaschine. Aufgrund der Querkraftbelastung am Kolben ist dieser hinsichtlich seiner Mikro- und Makrogeometrie neu gestaltet worden, die konturierte Oberfläche ist mit bloßem Auge nicht zu erkennen und verlangt höchste Präzision in der Fertigung. In Bild 2 sind die Ergebnisse interdisziplinärer Forschung am Beispiel der Kolben-Buchse dargestellt. Im Prüfstand sowie im späteren Einsatz im Getriebe wird ein biologisch schnell abbaubares Schmiermittel und Druckübertragungsmedium eingesetzt, das von Wissenschaftlern im Institut für Technische und Makromolekulare Chemie entwickelt wurde. Zum Nachweis der toxischen Unbedenklichkeit ist von den beteiligten Wissenschaftlern vom Institut für Hygiene und Umweltmedizin eine Methodik entwickelt worden.

Ein wesentliches Ergebnis ist in der Entwicklung gradierter Kohlenstoffschichten zu sehen. Hier sind von den Materialwissenschaftlern des Lehrstuhls für Oberflächentechnik im Maschinenbau neue Beschichtungen sowie deren Applikationsprozesse erforscht worden. Sie werden aus der Gasphase auf den Oberflächen abgeschieden, physikalisch vapor deposition, kurz PVD. Diese Schichten zeichnen sich durch eine mit zunehmender Tiefe angepasste Härte aus. Ein Beispiel hierfür sind gradierte Zirkonkarbidschichten, ZrCg. Der Index g steht für die Kohlenstoffgradierung, mit der das gewünschte Eigenschaftsprofil erzeugt wird. Man kann sich den Einlaufvorgang so vorstellen, dass weiche Partikel vom Gegenkörper auf den Grundkörper der im Kontakt stehen-

den Tribopartner übertragen werden. Nach kurzer Einlaufzeit kommt dieser Verschleiß durch zunehmende Schichthärte zum Erliegen und der gewünschte Effekt der Eigenschaftsübertragung von Additiv-Eigenschaften direkt in die Oberfläche des Tribopartner ist gelungen.

Im Betrieb einer Maschine ist von Bedeutung, dass die PVD-Schicht prozesssicher auf dem Bauteil haftet und sich beim Betrieb der Gleitpaarung nicht verbraucht. Ein Einlaufvorgang ist gewollt; er muss jedoch zeitlich begrenzt sein. Die Mikrogeometrie sorgt dafür, dass die Rauigkeitsspitzen in der Oberfläche mit dieser Anforderung in Einklang stehen. Die Makrogeometrie ist dafür verantwortlich, dass maximal zulässige Spannungen zwischen den berührenden Teilen nicht überschritten werden. Hier sind die Wissenschaftler der Ingenieursdisziplinen mit ihren Forschungsarbeiten gefragt.

### Umweltverträglichkeit wird getestet

Im Rahmen der Forschungsarbeiten am Institut für Hygiene und Umweltmedizin ist eine Methodik angepasst worden, die es mit einem schnellen Test ermöglicht, eine Abschätzung der Wirkung der entwickelten Fluide auf menschliche Zellen zu erforschen. Hierzu wird unter anderem der „Comet assay“-Test mit in Kultur gehaltenen Leberzellen durchgeführt, Bild 3. Bei diesem Test werden mit Hilfe einer elektrophoretischen Technik mögliche Schädigungen an der DNA und Reparaturen in einzelnen Zellen detektiert. Die exponierten Zellen werden in eine Gelmatrix eingebunden, die Zellmembran wird zerstört und es erfolgt eine Elektrophorese. Während der Elektrophorese wandert die negativ geladene DNA zum Pluspol. Die geschädigte, bruchstückhafte DNA ist in der Lage, aus dem Zellkern herauszuwandern. Die Bruchstücke trennen sich der Größe nach auf, da kleinere Bruchstücke in bestimmter Zeit eine weitere Strecke zurücklegen als die größeren. Unter dem UV-Mikroskop erschei-

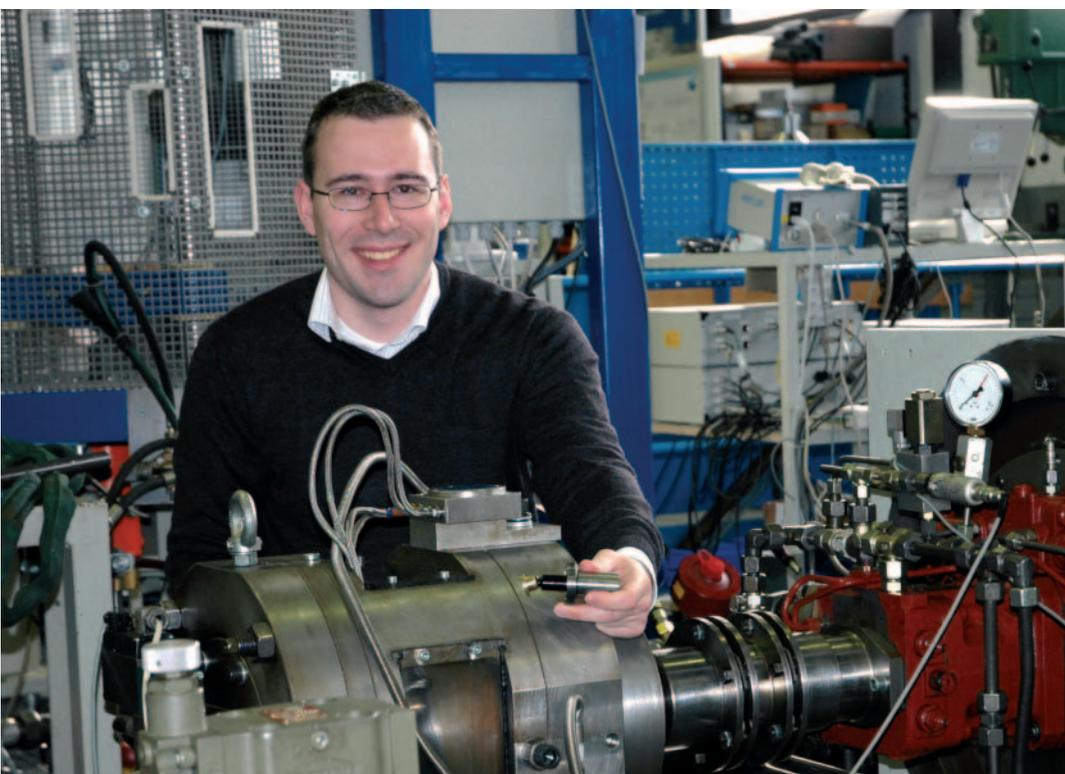
nen die beschädigten Zellen, welche vorher mit einem Fluoreszenzfarbstoff wie Ethidiumbromid behandelt wurden, nun mit einem Schweiß aus DNA-Bruchstücken, welcher ihnen das Aussehen eines Kometen gibt.

Die Leberzellen wurden 24 Stunden gegenüber den wässrigen Eluaten der Schmierstoffe „60.HISM“ und „60.HISM + Additive + Metalle“ exponiert. Es wurde der alkalische Kometentest bei einem pH-Wert von 13 durchgeführt. Unter diesen pH-Bedingungen können Strangbrüche, Exzisions-Reparaturstellen, alkalilabile Stellen und crosslinks detektiert werden. Zur Überprüfung des Testablaufes wurden bei jedem Test eine Negativ- und eine Positivkontrolle mitgeführt, die die minimale beziehungsweise maximale Wirkung auf die Zelle wiedergeben. Die Testauswertung ermittelt den Olive tail moment, kurz OTM, das heißt das Produkt von Schweißlänge und Schweißintensität des Kometen. Wie in Bild 3 deutlich wird, zeigt das wässrige Eluat von „60.HISM“ keine DNA-schädigende Wirkung bei den Leberzellen, da die Werte nicht signifikant höher sind als die Werte der Negativkontrolle.

Die gleiche Wirkung konnte auch bei „60.HISM + Additive + Metalle“ beobachtet werden. Hier liegen die Werte deutlich unterhalb der Negativkontrolle, damit zeigt das Eluat keine schädigende Wirkung auf die DNA der Leberzellen. Mit diesem Biotest sowie mit weiteren Toxizitätstests konnte die Umweltverträglichkeit der entwickelten Schmierfluide aufgezeigt werden.

Die Beispiele sollen einen kleinen Einblick in Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten des Sonderforschungsbereichs ermöglichen. Die noch verbleibende Zeit bis zum Ablauf des Sonderforschungsbereichs im Jahr 2009 wird genutzt, um die Ergebnisse an ganzen Prozessketten aufzuzeigen. Mit diesen Prozessketten sind sowohl Prozesse zur Herstellung von Fluiden, Metallverbunden und solche, die auf Werkzeugmaschi-

Bild 1: Beschichtete Kolben werden im Reibungsprüfstand am Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen getestet. Foto: Institut für Fluidtechnische Antriebe und Steuerungen.



nen ablaufen, gemeint. Zusätzlich werden auch Prozessketten zur Herstellung bestimmter Bauteile wie Zahnräder oder ganze Getriebe sowie der Aufbau und Betrieb eines Alterungsprüfstandes betrachtet. Als Ziel steht ein Expertensystem zur Auslegung umweltverträglicher Tribosysteme zur Verfügung, das den Zugriff auf die Forschungsergebnisse ermöglicht, so dass der Sonderforschungsbereich über die Expertise im Umwelt- und Werkstoffforum auch dann weiter lebt, wenn die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ausläuft.

<http://www.sfb442.rwth-aachen.de/>

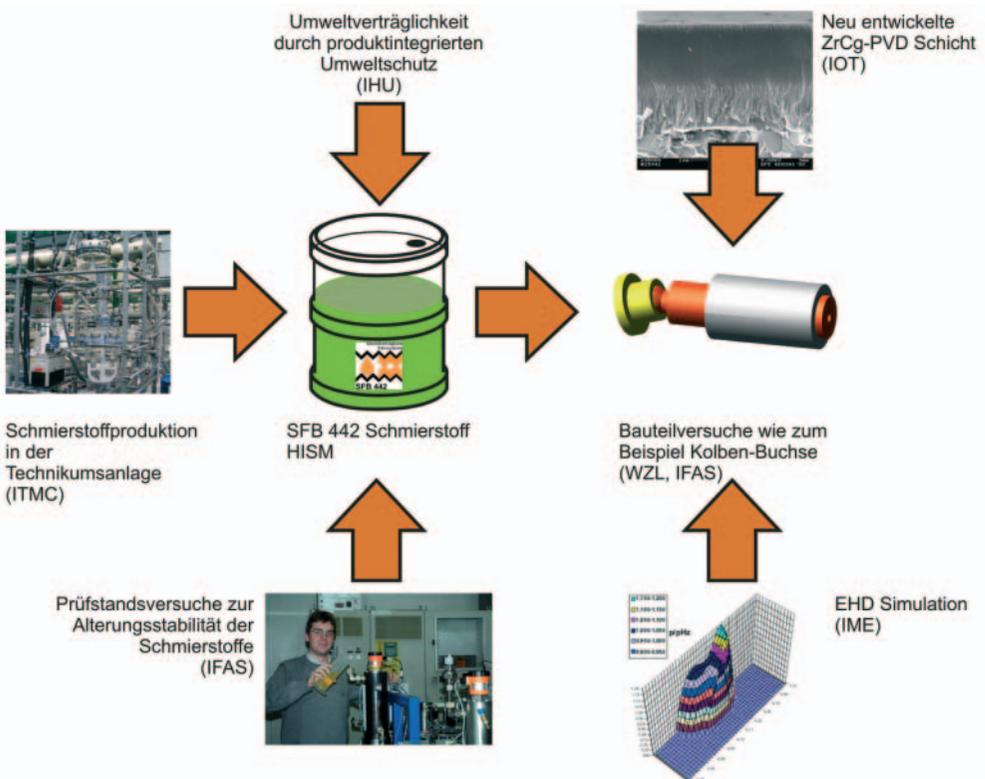
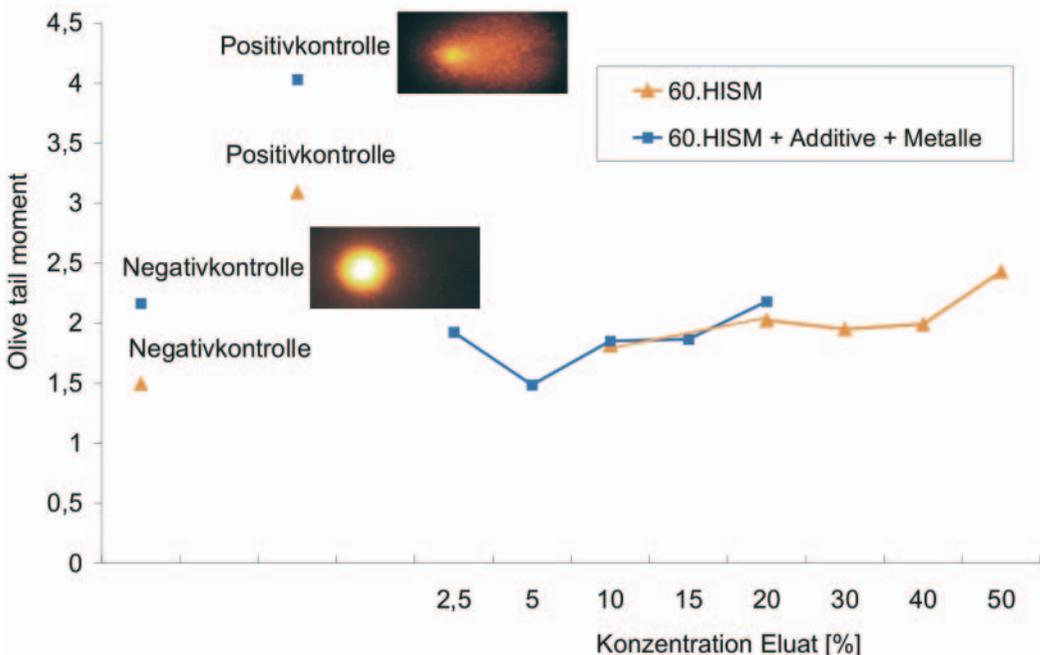


Bild 2: Erzielte Ergebnisse am Beispiel des Tribokontaktes Kolben-Buchse.

Bild 3: Comet assay Test zum Nachweis möglicher Toxizitäten.

**Autor:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 442 „Umweltverträgliche Tribosysteme durch geeignete Werkstoffverbunde und Zwischenstoffe am Beispiel der Werkzeugmaschine“ und Leiter des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen.





STANDORT  HIER

Auch kleine Impulse  
haben grosse  
Wirkung.

 Sparkasse  
Aachen

Mit der Initiative „Standort: hier“ unterstützt die Sparkasse Aachen aktiv den Strukturwandel in der Region. Wir fördern die Realisierung innovativer Ideen in technologieorientierten Unternehmen, stellen Wagniskapital bereit und helfen beim Aufbau einer neuen Unternehmenskultur: Mit Projekten wie „Schüler werden Unternehmer“, mit einer intensiven Gründungsberatung, mit dem von uns initiierten Gründerkolleg oder aber mit dem Wettbewerb StartUp.

**Standort: hier – Mit der Sparkasse für die Region.**

*Bild 4: Am Institut für Fluidtechnische Antriebe und Steuerungen werden hydraulische Verdrängereinheiten entwickelt, die sich durch eine sehr gute Umweltverträglichkeit auszeichnen und somit einen unbedenklichen Einsatz in unterschiedlichen Einsatzgebieten ermöglichen.  
Foto: Peter Winandy*

# Handhabungs- und Füge-techniken

Die industrielle Bedeutung der Mikrosystemtechnik hat in den vergangenen Jahren rapide zugenommen. Die ständige Miniaturisierung zahlreicher bestehender, aber auch die Entwicklung neuer Produkte erweitert das Anwendungsgebiet der Mikrosystemtechnik in allen Lebensbereichen. Das gewaltige Wachstum der Mikrosystemtechnik erfordert dabei gleichzeitig die Entwicklung und Optimierung neuer und bestehender Produktionsverfahren.

In den letzten Jahren beherrschen vor allem monolithisch aufgebaute Mikrosysteme auf Siliziumbasis den Markt. Heute gewinnen zunehmend hybrid, aus mehreren Komponenten, aufgebaute Mikrosysteme an Bedeutung, da die Fertigung technischer Mikrosysteme auf alleiniger Basis der Siliziumtechnologie an ihre Grenzen stößt. Gerade im Bereich der Optik und der Analytik müssen mikroelektronische Bauteilkomponenten in größere Strukturen eingefügt oder mit weiteren mechanischen Strukturen verbunden werden, zum Beispiel Linsen, Strahlteiler, Fluidleiter oder Ventile. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit zur automatisierten Montage hybrider Bauteile der Mikrosystemtechnik. Erst durch die sichere Beherrschung der Montagetechnologie können Mikrosysteme wirtschaftlich in der erforderlichen Stückzahl produziert werden.

Ziel des Sonderforschungsbereichs 440 „Montage hybrider Mikrosysteme“ ist es, handhabungs- und fuge-technische Grundlagen für die Herstellung von Mikrosystemen in hybrider Bauweise zu erarbeiten. Die notwendigen Verfahren für eine automatisierte Klein- und Mittelserienmontage sind nur punktuell entwickelt. Daher richtet sich der Sonderforschungsbereich nicht auf die Entwicklung und Herstellung von Mikrosystemen, sondern vielmehr auf die Entwicklung von Verfahren und Methoden, um hybride Bauteile zu einem Mikrosystem zu montieren und

zu fügen. Dabei müssen die unterschiedlichen produktions-spezifischen Randbedingungen der Mikrosystemtechnik berücksichtigt werden. Für die Erarbeitung der sehr speziellen Fragestellungen bei der Montage hybrider Mikrosysteme haben sich sechs Aachener Forschungseinrichtungen aus unterschiedlichen Disziplinen zusammengefunden: die Institute für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk, für Schweißtechnik und Füge-technik, für Werkstoffe der Elektrotechnik, der Lehrstuhl für Oberflächen-technik im Maschinenbau sowie die Fraunhofer-Institute für Lasertechnik und Produktionstechnologie. In enger Zusammenarbeit dieser Institute werden grundlegende Fragestellungen zur Handhabung und zum Fügen der Teilkomponenten von Mikrosystemen mit Mikrometer-Genauigkeit bearbeitet. Im Folgenden sind beispielhaft einige Forschungsaufgaben und Ergebnisse dargestellt.

## Entwicklung eines „Flexogrip“

Einen wesentlichen Beitrag zur Montage hybrider Mikrosysteme liefert die Handhabung. Sowohl vor als auch nach dem Fügeprozess müssen Bauteile gegriffen, positioniert, justiert und magaziniert werden. Aufgrund der geringen Baugröße der Bauteile können die aus der makroskopischen Handhabung bekannten Verfahren nicht ohne weiteres auf die Mikrosystemtechnik übertragen werden. Dies hängt beispielsweise mit dem deutlich größeren Einfluss von Adhäsionskräften beim Greifen von Mikrobautteilen zusammen. Daher sind bekannte Techniken anzupassen oder neue zu entwickeln. Eine flexible Automatisierung der Mikromontage beispielsweise erfordert Greifwerkzeuge, die an geänderte Aufgaben angepasst werden können. Dieser Forderung entsprechend wurde der Greifer „Flexogrip“, siehe Bild 1, zur Handhabung und Feinjustage von biegeschlaffen Mikrobautteilen entwickelt. Dieser Greifer zeichnet sich durch ein Gesamtgewicht von etwa 350 Gramm und Abmaßen von 115 mal 75 mal 40 Kubikmillimeter sowie einer integrierten vierachsigen Feinjustage-Einheit aus. Die zwei integrierten Linearachsen weisen einen Verfahrweg von 140 Mikrometer bei einer Schrittweite von 0,1 Mikrometer auf. Die zwei rotato-

rischen Achsen ermöglichen die Ausrichtung mit einer Auflösung von 0,001 Grad. Der Flexogrip ist zudem mit einem hydrostatischen Wegübertragungssystem ausgestattet, das einen sehr kompakten und robusten Achsaufbau ermöglicht. Die hoch genau justierbare Greiferspitze besteht aus einem V-Nut-strukturierten Vakuumgreifer zur präzisen Bauteilaufnahme. Die Führungen der Linearachsen sowie die Lagerung der Kippachsen sind über reibungs- und wartungsfreie Festkörpergelenke realisiert. Die Auslegung dieser Elemente erfolgte mittels Finite-Elementemethode.

## Lotsysteme im Blick

Die Schwerpunkte der Untersuchungen im Projektbereich „Werkstoffe“ beinhalten neben der Entwicklung, Optimierung und Bereitstellung von Fügewerkstoffen vor allem deren grundlegende Charakterisierung im Hinblick auf ihre Eignung für Fügeaufgaben in der Mikrosystemtechnik. Hierzu werden für die Verfahren Weichaktivlötens an Atmosphäre und das Transient-Liquid-Phase-Bonding grundlegende, für den Montageprozess relevante Eigenschaften ermittelt und entsprechend der spezifischen Fügeaufgaben modifiziert. Wichtige Kennwerte für die Entwicklung mikrotechnisch relevanter Fügewerkstoffe sind zum Beispiel die Duktilität oder Dehnbarkeit einer Lotmatrix und die Härte und Breite intermetallischer Phasen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Festigkeit von Fügeverbindungen haben. Als Beispiel für die unterschiedlichen Anforderungen an Lotwerkstoffe sei deren Entwicklung für einen Hochleistungsdiodenlaser genannt, wie in Bild 2 dargestellt. Dieser Hochleistungsdiodenlaser besteht aus einer Kupfer-Wärmesenke, dem Laserbarren aus Galliumarsenid und der Linse. Der Laserbarren setzt mindestens 60 Prozent seiner Leistung in Wärme und maximal 40 Prozent in Laserleistung um. Die derzeitige maximal erreichbare Laserleistung hängt von der Kühlung ab. Die Verbindung Laserbarren-Wärmesenke muss den Transport der Temperatur vom Laserbarren zur Wärmesenke gewährleisten und dabei stabil bleiben. Außerdem erfolgt die elektrische Kontaktierung über die Wärmesenke.

**Forschungsziel Punktionsnadel**  
Die in Bild 3 abgebildete Punktionsnadel stellt einen der bearbeiteten Demonstratoren dar, an denen einerseits die eng verknüpfte gemeinsame Arbeit der Forschungseinrichtungen deutlich und andererseits eine Ausrichtung der theoretischen Arbeiten an Anforderungen aus der Praxis möglich wird. Die Punktionsnadel ist ein störungsfrei abbildbares Operationsinstrument, das eine artefaktfreie Darstellung des Operationsgebiets ermöglicht. Die 120 Millimeter lange Punktionsnadel aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff hat einen äußeren Durchmesser von 1200 Mikrometer. Durch drei integrierte Arbeitskanäle mit Durchmessern von 700 Mikrometer, 400 Mikrometer und 300 Mikrometer kann nach der Positionierung der Punktionsnadel innerhalb des Operationsgebiets der medizinische Zugriff erfolgen.

In die Arbeitskanäle eingeschobene Lichtleitfasern dienen zur Darstellung des durchgeführten Eingriffs sowie zur Koagulation der zu entfernenden Gewebestrukturen und der Wärmebehandlung von vorgefallenen Bandscheibengewebe durch Laserstrahlung. Der dritte Arbeitskanal ermöglicht das Einbringen von konzentriertem Kortison in den Wundherd. An diesem Demonstrator wurden sämtliche Technologien aus den verschiedenen Projektbereichen zur Montage der Biokompatiblen Schneidplatte erprobt.

<http://www.isf.rwth-aachen.de/arbeitsg/forschung/mikro/sfb440/>

## Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Dilthey ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 440 „Montage hybrider Mikrosysteme“ und Leiter des Instituts für Schweißtechnik und Füge-technik. Dipl.-Ing. Thomas Dorfmüller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schweißtechnik und Füge-technik.

# für die Mikrosystemtechnik

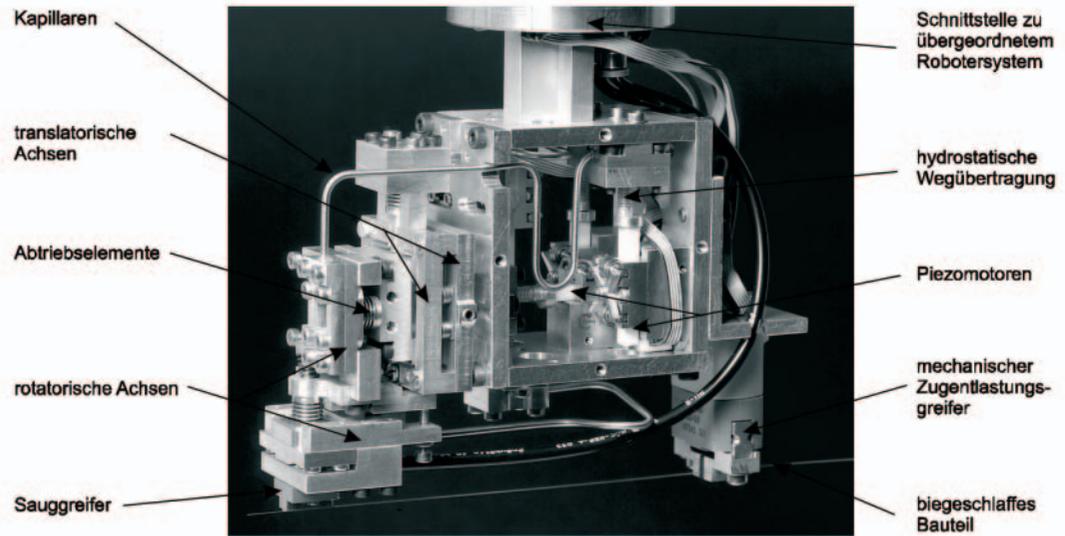


Bild 1: Der Flexogrip stellt ein System zum Greifen biegeschlaffer Bauteile dar.

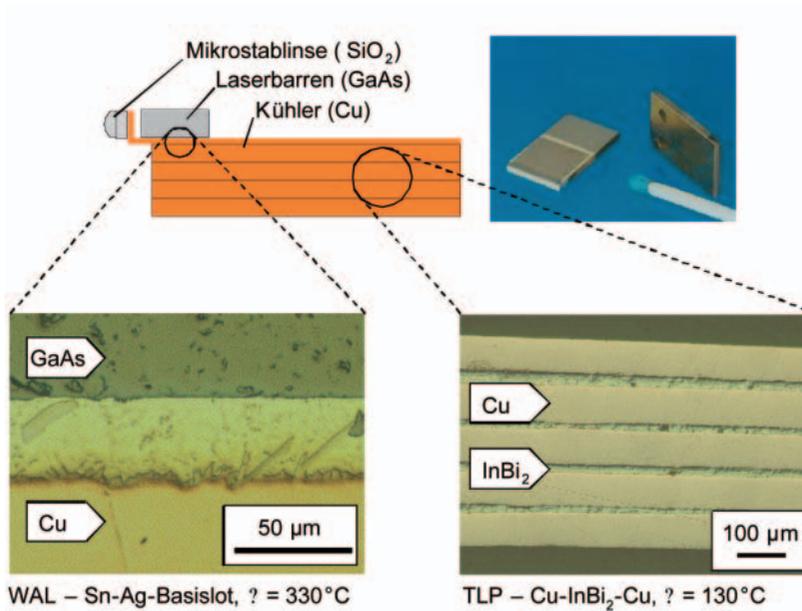


Bild 2: Entwickelte Lotwerkstoffe kommen zum Beispiel in einem Hochleistungsdiodenlaser zum Einsatz.

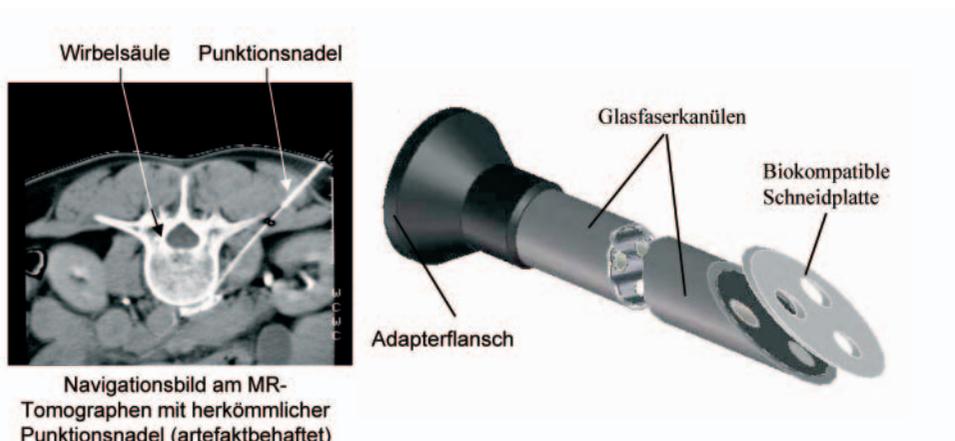
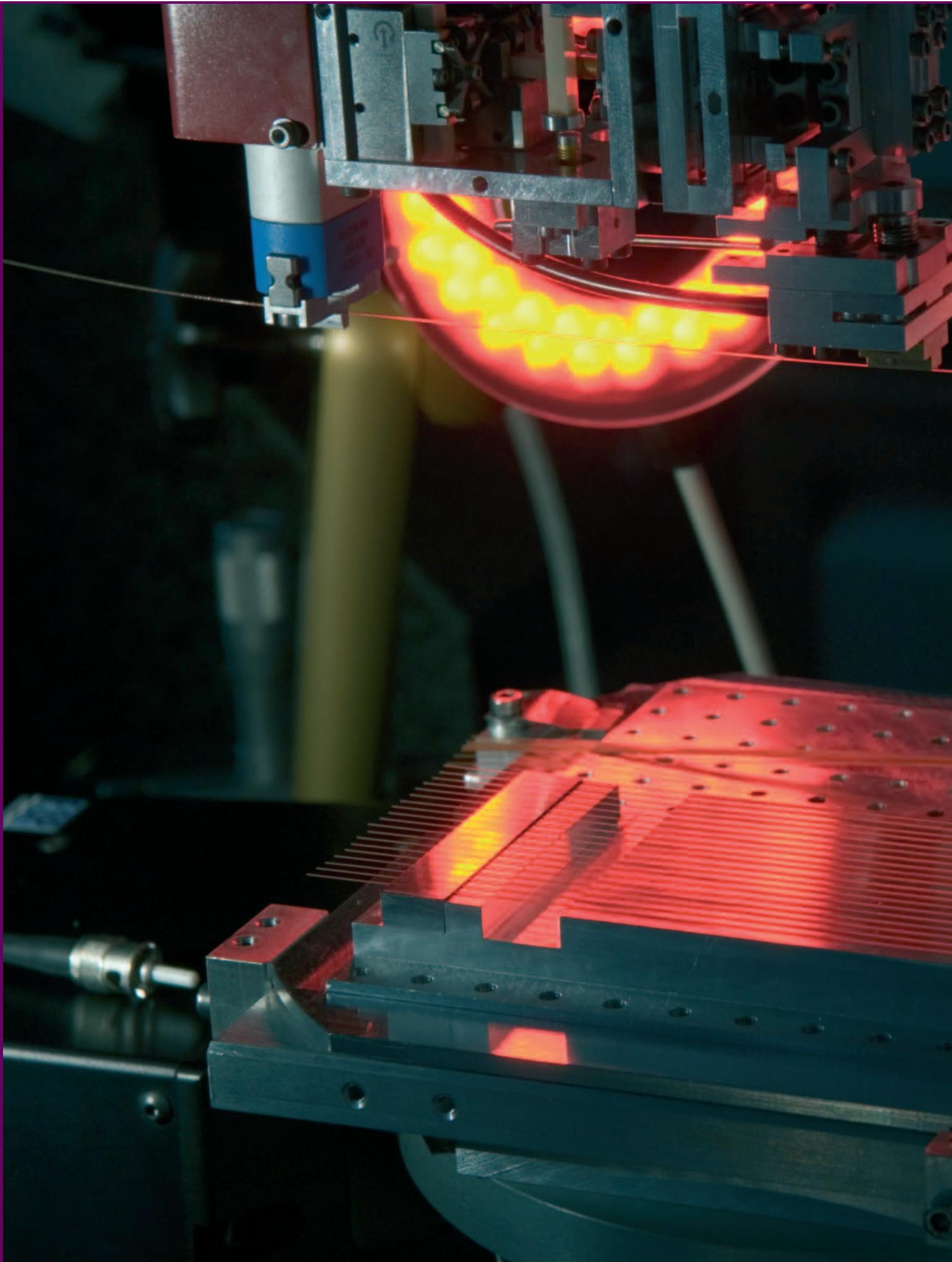
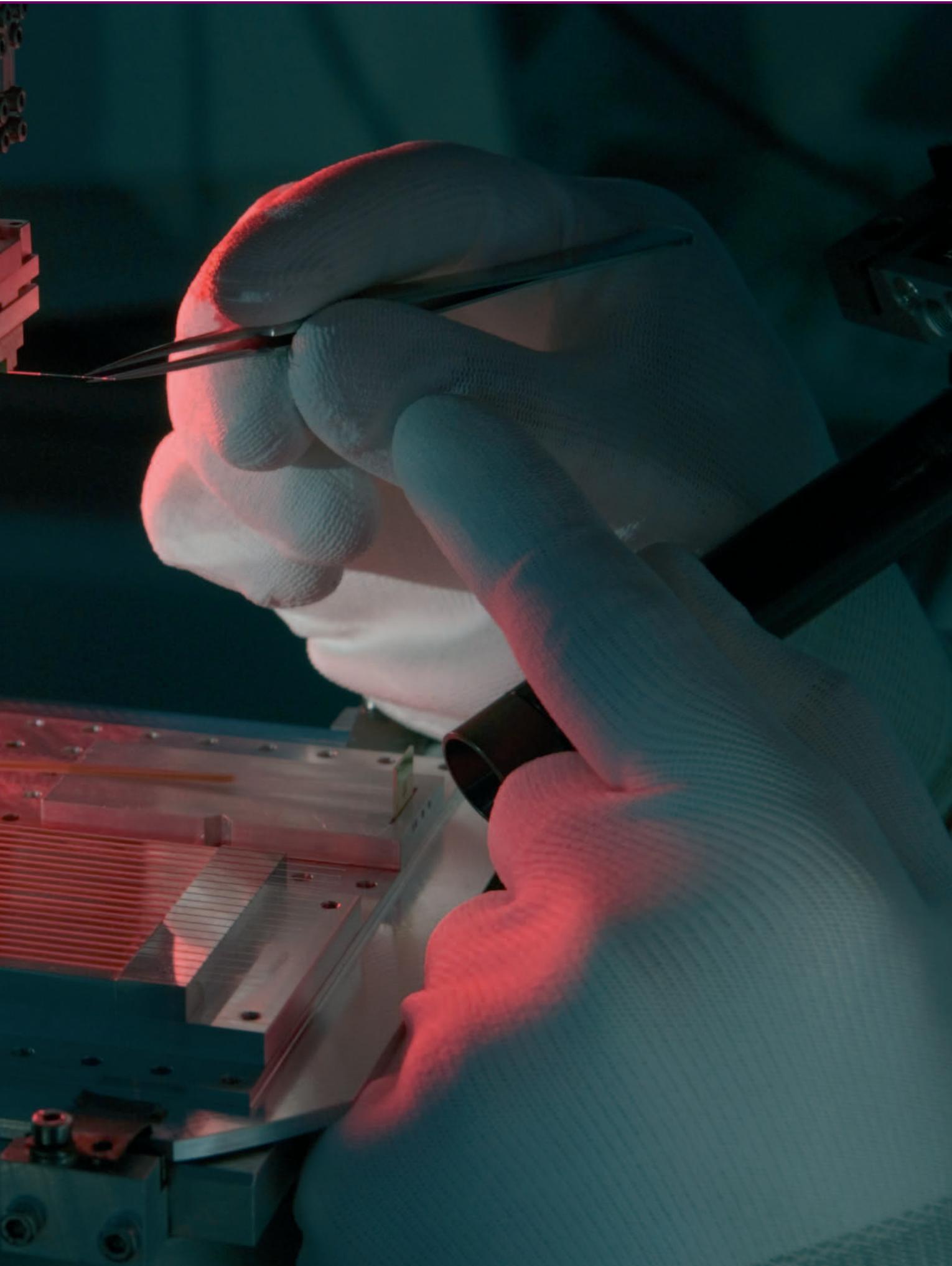


Bild 3: Die modifizierte mikroinvasive Punktionsnadel besitzt einen Adapterflansch für die Modulkopplung am distalen und eine Schneide am proximalen Ende.





*Bild 4: Der im Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie entwickelte Montagekopf für die Justage von Sigle-Mode-Glasfasern verfügt über vier hoch präzise Bewegungsachsen und ist dennoch mit Beschleunigungen bis zur fünffachen Erdbeschleunigung belastbar. Diese robuste Bauweise erlaubt einen effizienten und prozesssicheren Einsatz des Montagekopfs.  
Foto: Peter Winandy*

*nigungen bis zur fünffachen Erdbeschleunigung belastbar. Diese robuste Bauweise erlaubt einen effizienten und prozesssicheren Einsatz des Montagekopfs.  
Foto: Peter Winandy*

# Der Tragflügel der nächsten Generation

## Moderne Methoden zur Entwurfsoptimierung von Großraumflugzeugen

SONDER-  
FORSCHUNGS-  
BEREICHE  
RWTH AACHEN

Um das Fliegen immer sicherer, wirtschaftlicher und umweltverträglicher zu machen, bedarf es steter Fortschritte in der Erforschung der Strömungsphysik von Tragflächen.

Während der Start- oder Landephase entstehen bei der Umströmung der Tragflügel starke Verwirbelungen, die nachfolgende Flugzeuge gefährden können. Beim Reiseflug in etwa elf Kilometer Höhe führt die Wechselwirkung zwischen Tragflügeln und der umströmenden Luft zu statischen und dynamischen Auslenkungen des Flügels, die der Bewegung einer Palme im Wind ähnlich sind. Derartige aerodynamische Effekte werden im Sonderforschungsbereich 401 „Strömungsbeeinflussung und Strömungs-Struktur-Wechselwirkung an Tragflügeln“ in 14 Teilprojekten anhand von experimentellen und numerischen Methoden analysiert, um Tragflügel für sicherere und wirtschaftlichere zukünftige Flugzeuge zu entwickeln.

Die Geschwindigkeit heutiger Passagierflugzeuge wie dem Airbus A340 beträgt im Reiseflug nahezu 85 Prozent der Schallgeschwindigkeit. Durch Windböen können die durch eine elastische Struktur gekennzeichneten Tragflügel an den Spitzen Auslenkungen von mehreren Metern erfahren. Um derartige Strukturen leichter und somit ein ökonomischeres Flugzeug in der nächsten Generation zu bauen, sind eingehende Kenntnisse über die Wechselwirkung der strömungs- und strukturdynamischen Prozesse in diesem Grenzbereich notwendig.

Die erforderlichen aeroelastischen experimentellen Untersuchungen können weltweit nur in zwei Windkanälen durchgeführt werden, in der National Transonic Facility, kurz NTF, der NASA und im European Transonic Windtunnel, kurz ETW, in Köln. Der ETW besitzt einen Messquerschnitt von zwei Metern Höhe und 2,4 Metern Breite. Die Reiseflugbedingungen werden simuliert, indem die

Temperatur des Strömungsmediums bis auf minus 160 Grad Celsius abgesenkt und der Kanaldruck auf 4,5 bar erhöht wird. Mitte 2006 wurden im ETW in Kooperation mit Airbus und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt unter derartigen Bedingungen Versuche zu aeroelastischen Effekten im Grenzbereich durchgeführt. Dabei entstehen Luftkräfte von bis zu drei Tonnen auf das entworfenen Flügelmodell, dessen Grundrissfläche knapp 0,4 Quadratmeter beträgt. Diese extremen Strömungsbedingungen erfordern einen besonderen Werkstoff für das schwingende Modell, das auch bei minus 160 Grad Celsius seine Elastizität und Festigkeit beibehalten muss.

Bei diesen international ersten aeroelastischen Versuchen unter Reiseflugbedingungen wurde die Schwingungsanregung des Tragflügels durch periodisch wirkende Kräftepaare an der Flügelwurzel realisiert. In den über 180 Einzelversuchen wurden unabhängig voneinander die Flügelschwingung und die Schwingungsanregung variiert. Fünf Techniken zur Messung der Kräfte und Momente mittels einer eigens im Sonderforschungsbereich 401 konstruierten Piezowaage, der Flügelverformung durch optische Verfolgung von Markern auf der Flügeloberfläche, der Zeitverläufe des Drucks mittels Miniatursensoren in sieben Profilschnitten sowie der Dehnungen und Beschleunigungen wurden angewandt.

Die Übereinstimmung der Ergebnisse aus den bisher ausgewerteten Experimenten mit den Vorhersagen aus Berechnungen erwies sich als exzellent. Somit stellt dieses Experiment einen Meilenstein dar, was auch in Zukunft anhand dieser ermittelten Daten numerische Methoden zu qualifizieren, die zur Entwicklung neuer Tragflügelgeometrien herangezogen werden.

Die numerische Simulation derartiger komplexer Strömungsvorgänge, wie sie im Reiseflug

oder in der Hochauftriebsphase auftreten, ist zu einem unverzichtbaren Standbein der technologischen Entwicklung geworden. Sie liefert Erkenntnisse in physikalische Abläufe, die experimentell nur unter immensen Aufwand beziehungsweise teilweise überhaupt nicht zugänglich wären.

Den Ausgangspunkt für numerische Simulationen bilden mathematische Beschreibungen für die betreffenden Strömungsprozesse. Bei realistischen Anwendungen bedeutet das, dass Millionen von Gleichungssystemen mit Millionen von Unbekannten zu lösen sind. Diese Gleichungen entstehen durch Aufteilung des Strömungsgebietes in Millionen von kleinen Volumina, die insgesamt als Rechenetz bezeichnet werden. Bei Bewegungen der umströmten Konfiguration, zum Beispiel aufgrund der Auslenkung und Verwindung des Tragflügels durch die Wechselwirkung zwischen Strömung und Struktur, müssen im Verlauf des Lösungsprozesses die Rechenetze hinsichtlich Lage und Auflösung angepasst werden. Diese Anforderungen an eine generelle Adaptivität bei gleichzeitiger Genauigkeit sind durch verfügbare kommerzielle Software bei weitem nicht erfüllt.

Die Lösung derartiger Aufgaben erfordert nicht nur die Steigerung der Rechnerkapazitäten, sondern auch neuartige mathematische Ansätze verbunden mit informatischen Konzepten wie Parallelisierung und Datenstrukturen. Als Antwort auf derartige Herausforderungen wurde ein neuer Strömungslöser entwickelt. Er stützt sich auf mehrere innovative Konzepte wie wavelet-basierte Adaptionstechniken, die je nach der individuellen lokalen Struktur der Lösung Rechnerressourcen nur dort konzentrieren, wo sie für eine gewünschte Lösungsgenauigkeit erforderlich sind. Zur effizienten Umsetzung wurde ein neues Gittergenerierungskonzept entwickelt, das auf lokalen B-Spline-Techniken beruht. Infolge der

neu implementierten mathematischen Konzepte kann der Strömungslöser als wegweisend für zukünftige Strömungslöser angesehen werden.

Weiterhin werden die Strömungsverhältnisse beim Start und bei der Landung anhand zahlreicher Experimente in Windkanälen sowie numerischer Untersuchungen an Flügel- oder auch Flugzeugmodellen analysiert. Zum Beispiel wird die Wirkung oszillierender Ruderausschläge oder veränderter Rudergeometrien zur Reduktion der Gefährdung durch Flügelrandwirbel erforscht. Windkanalversuche mit Triebwerksmodellen zeigen den Einfluss der Triebwerksstrahlen auf das Wirbelsystem in unmittelbarer Nähe des Tragflügels. Die experimentellen Ergebnisse werden als Eingabedaten in Computersimulationen verwendet, mit welchen das Strömungsfeld bis weit stromab vom Tragflügel berechnet wird. Somit deckt die Kombination von Experimenten und Computerberechnungen den gesamten Bereich der Geschwindigkeiten und räumlichen Ausdehnung des Strömungsgebietes eines realen Flugzeuges ab.

Die Kooperation im Sonderforschungsbereich kann als Paradebeispiel für eine in Zukunft immer bedeutender werdende komplementär arbeitende Verzahnung von Ingenieurwissenschaft, Mathematik und Informatik betrachtet werden, die wiederum neue Impulse für Anwendung und Theorie setzt.

<http://www.aia.rwth-aachen.de/sfb401/>

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 401 „Strömungsbeeinflussung und Strömungs-Struktur-Wechselwirkung an Tragflügeln“ und Leiter des Aerodynamischen Instituts.

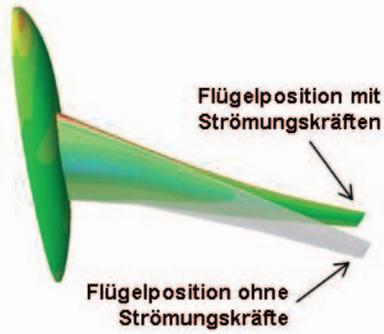


Bild 1: Elastisches Flügelmodell des Sonderforschungsbereichs 401 im European Transonic Windtunnel.  
Links: Versuchsmodell.  
Rechts: Berechnete Verformung und Druckverteilung.  
Quelle: LFM, ILB

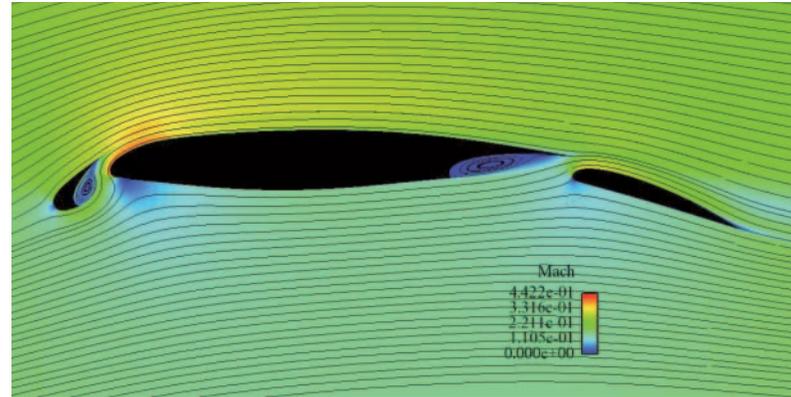
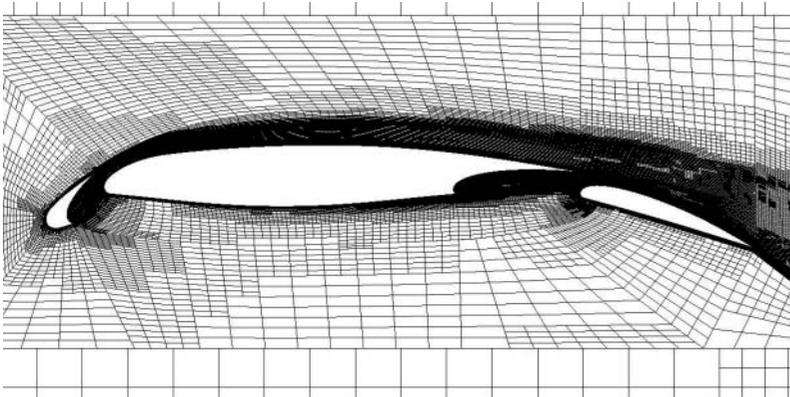


Bild 2: Numerische Simulation einer Hochauftriebskonfiguration.  
Links: Lokal adaptiertes Rechenetz.  
Rechts: Darstellung der berechneten Stromlinien und Geschwindigkeitsverteilung (farbig).  
Quelle: IGPM, LFM

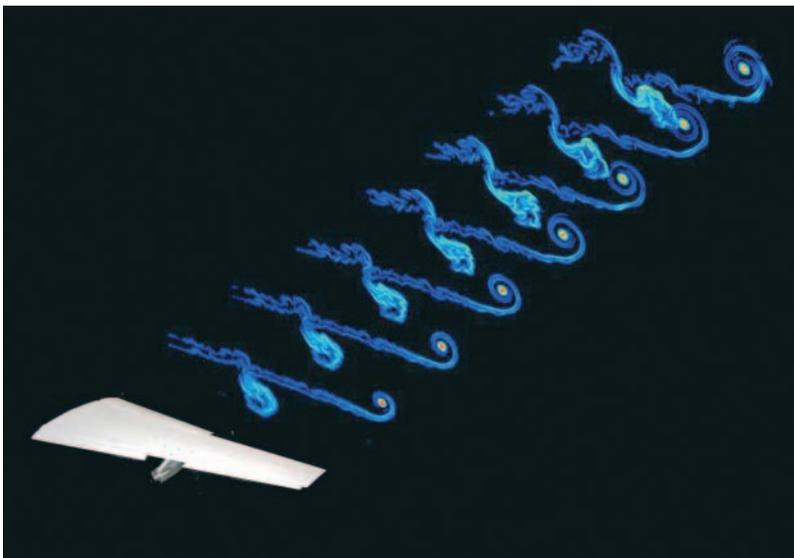


Bild 3: Darstellung der Wechselwirkung zwischen Triebwerksstrahl und Flügelrandwirbel im Nachlauf eines Tragflügelmodells.  
Large-Eddy Simulation basierend auf laseroptisch ermittelten Eingangsdaten.  
Quelle: AIA

Bild 4: Am Aerodynamischen Institut wird schallnahe Strömung um moderne Tragflügelkonfigurationen zur grundlegenden strömungsphysikalischen Modellbildung und Entwicklung effizienter und genauer Simulationsmethoden für zukünftige Flugzeuggenerationen untersucht.  
Foto: Peter Winandy

# Hochfester Stahl weich wie Butter

## Formgebung im teilerstarrten Zustand

Liudmila Khizhnyakova, eine junge russische Gastwissenschaftlerin aus Moskau, schneidet den heißen Block aus hochfestem Werkzeugstahl mit einem groben „Messer“ von Hand wie ein Stück Butter. Nicht die erforderliche Kraft, sondern die vom Block ausgehende Hitze ist die Herausforderung. Khizhnyakova ist Mitarbeiterin im Sonderforschungsbereich 289 „Formgebung von metallischen Werkstoffen im teilerstarrten Zustand und deren Eigenschaften“. In diesem wird seit nunmehr elf Jahren die Formgebung von Metallen im Zustand zwischen fest und flüssig untersucht.

Gießen, Schmieden und Zerspanung sind die klassischen Wege zur Herstellung anspruchsvoller Bauteile aus Metall. Gießen nutzt die hohe Fließfähigkeit der Schmelze und ermöglicht so komplexe Geometrien, dafür sind die mechanischen Eigenschaften infolge von Inhomogenitäten der Mikrostruktur manchmal nicht optimal. Schmieden liefert meist überragende Eigenschaften, aber der hohe Formänderungswiderstand von Metall erfordert viele Zwischenstufen und ermöglicht nur vergleichsweise klobige Geometrien. Nach beiden Verfahren ist abschließend eine spanabhebende Bearbeitung ausgewählter Funktionsflächen erforderlich, deren Umfang im Hinblick auf Einsparung von Material und Fertigungskosten so gering wie möglich sein sollte.

Durch die Formgebung im teilerstarrten Zustand, dem so genannten Thixoforming, versuchen die Wissenschaftler, die Vorteile der klassischen Verfahren zu verbinden und ihre Nachteile zu vermeiden: Wenn das Ausgangsmaterial die richtige Zusammensetzung und Mikrostruktur aufweist, so kann man durch geeignete Erwärmung einen Zustand erreichen, bei dem im ganzen Block gleichmäßig fein verteilt mikroskopisch kleine feste Partikel vorliegen, die zum Teil zusammenhängen. Der Zwischenraum wird durch flüssige Schmelze ausgefüllt. In diesem Zustand ist das Metall fast so weich wie Butter und



**Bild 1:** Liudmila Khizhnyakova, eine junge russische Gastwissenschaftlerin aus Moskau, schneidet den heißen Block aus hochfestem Werkzeugstahl. Quelle: Institut für Bildsamer Formgebung

kann in sehr filigrane Geometrien gepresst werden. Da jedoch über 50 Prozent des Volumens aus bereits erstarrten Festpartikeln besteht, fließt es sehr gleichmäßig ohne Turbulenz, zeigt bei der Resterstarrung kaum noch Tendenz zur Porenbildung und führt zu einem im gesamten Bauteil homogenen

Gefüge. So könnten Bauteile mit überragenden Eigenschaften und filigraner Geometrie in nur einem Formgebungsschritt entstehen.

Dieses Ziel wurde für Aluminium auch durch weltweite intensive Entwicklung grundsätzlich erreicht. Hochbelastete Fahrwerkskomponenten aus Aluminium, die bei gleicher Funktion 50 Prozent leichter sind als das vergleichbare Stahl-Schmiedeteil, wurden von Partnern der RWTH durch Thixoforming realisiert. Komplexe Knotenelemente einer PKW-Tür werden industriell in Serie gefertigt. Die Kosten für das erforderliche

spezielle Vormaterial und die aufwändige Anlagentechnik führen jedoch in Verbindung mit den qualitativ immer besser werdenden Gießverfahren für Aluminium dazu, dass Thixoforming vorrangig bei solchen Anwendungen zum Zuge kommt, bei denen die Anforderungen mit klassischen Verfahren nur eingeschränkt erfüllt werden können.

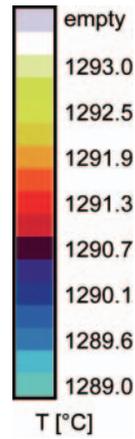
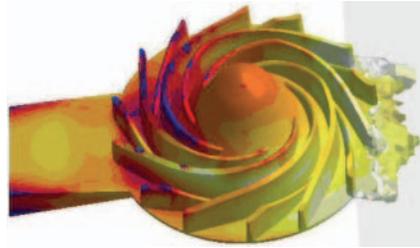
Die Herausforderungen für den Sonderforschungsbereich liegen heute etwa 800 Grad Celsius über der Verarbeitungstemperatur von Aluminium. Stahl, der Konstruktionswerkstoff schlechthin, von dem in

Bild 2: Simulation und Experiment (Impeller-Bauteil).

a) Simulation der Formfüllung mit MAGMASoft®.



$v_{\text{Kolben}}=0,5\text{m/s}$   
 $T_{\text{Form}}=250^{\circ}\text{C}$



b) Formfüllung in Experiment.

$v_{\text{Kolben}}=0,3\text{m/s}$   
 $T_{\text{Form}}=240^{\circ}\text{C}$



c) Fertiges Bauteil aus Stahl X210CrW12.



Bild 3: Musterteile Thixojoining: Durch Thixoforming hergestelltes Verbundbauteil aus Stahl X210CrW12 mit Einlegeteilen aus einer Kupferlegierung CuCoBe (Gleitbuchse) und einem Stahl X5CrNi18-10 (Stift).  
Quelle: Institut für Bildsame Formgebung

2006 soviel wie noch nie zuvor in der Geschichte verbraucht wurde, erreicht den teilerstarten Zustand je nach Legierung erst oberhalb von 1350 Grad Celsius. Da erfordern Erwärmung, Handhabung und Oxidationsschutz völlig neue Lösungsansätze. Reproduzierbare Versuche sind nur noch mit automatisierten Versuchseinrichtungen möglich und die Werkzeuge, die bei jedem Formgebungsvorgang mit dem heißen Stahl in Kontakt kommen, werden hierdurch extrem belastet.

Im Sonderforschungsbereich werden die anstehenden Fragen in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit modernsten Methoden gelöst:

- Mit unterschiedlichen Computermodellen werden wichtige thermophysikalische Eigenschaften der Legierungen bestimmt, Fließvorgänge der Mischung aus festen Phasen und Schmelze simuliert und die thermische und mechanische Belastung der Werkzeuge berechnet, siehe Bild 2.
- In Zusammenarbeit zwischen Werkstoffwissenschaftlern und

Produktionstechnikern wird die Entwicklung der Mikrostruktur während der Erwärmung untersucht und der Erwärmungsablauf optimiert.

- Bei der Herstellung der Werkzeuge werden Metalle und Keramik kombiniert und moderne Beschichtungsverfahren genutzt, um den thermischen, mechanischen und chemischen Belastungen gerecht zu werden.
- Die Formgebung erfolgt mit automatisierten Versuchsanlagen, die in Zusammenarbeit mit interessierten Firmen entwickelt wurden.

Mit vereinten Kräften konnten so bereits beeindruckende Erfolge erzielt werden. Die hergestellten Musterteile bestätigen das erwartete hohe Fließvermögen und die Möglichkeiten zur Herstellung filigraner Geometrien aus hochfesten Stählen. So kann das in Bild 2 gezeigte Impeller-Bauteil in dieser Form durch konventionelle Schmiedeverfahren so nicht hergestellt werden.

Bei einem Werkzeugstahl wurde darüber hinaus festge-

stellt, dass durch die Verarbeitung im teilerstarten Zustand bislang unbekannt Gefügezustände erreicht werden können. Dank dieses Gefüges erhält der eigentliche Kaltarbeitsstahl eine dauerhafte Verschleißfestigkeit, sogar bei Temperaturen von 400 bis 450 Grad Celsius, bei denen normalerweise nur Warmarbeitsstähle Verwendung finden.

Darüber hinaus bietet das Thixoforming von Stahl die Möglichkeit zur Herstellung von Verbundbauteilen mit maßgeschneiderten Eigenschaften. Bei Bedarf können vorgeformte Einlegeteile aus anderen Werkstoffen in die Form eingesetzt und bei der Formgebung mit dem Stahlwerkstoff verbunden werden. So werden zum Beispiel wendelartig gekrümmte Kühlbohrungen in hochfestem Stahl möglich, die auf andere Art heute gar nicht hergestellt werden könnten. Da der teilerstarte Stahl wesentlich weniger Wärmeenergie enthält als Stahlschmelze, können sogar Einlegeteile aus niedrig schmelzenden Werkstoffen wie Kupferle-

Vergleich der Formfüllung in Simulation und in Experiment anhand eines durch thixo-gießbaren hergestellten Impeller-Bauteils für Hochdruckpumpen Simulation: MAGMASoft®. Quelle: Giesserei-Institut

gierungen verwendet werden, siehe Bild 3.

Die Herausforderungen für das Thixoforming von Stahl sind nach wie vor hoch, aber die erkennbaren Chancen rechtfertigen die erheblichen Anstrengungen. Dabei ist auch in Zukunft internationale Zusammenarbeit gefragt. Nicht nur Liudmila Khizhnyakova ist vom Thema und der interdisziplinären Zusammenarbeit an der RWTH begeistert. Auch die Fachwelt hat entschieden, sich für ein bevorstehendes Jubiläum in Aachen zu treffen: Die kommende 10. International Conference on Semi Solid Processing of Alloys and Composites wird im September 2008 in Aachen stattfinden.

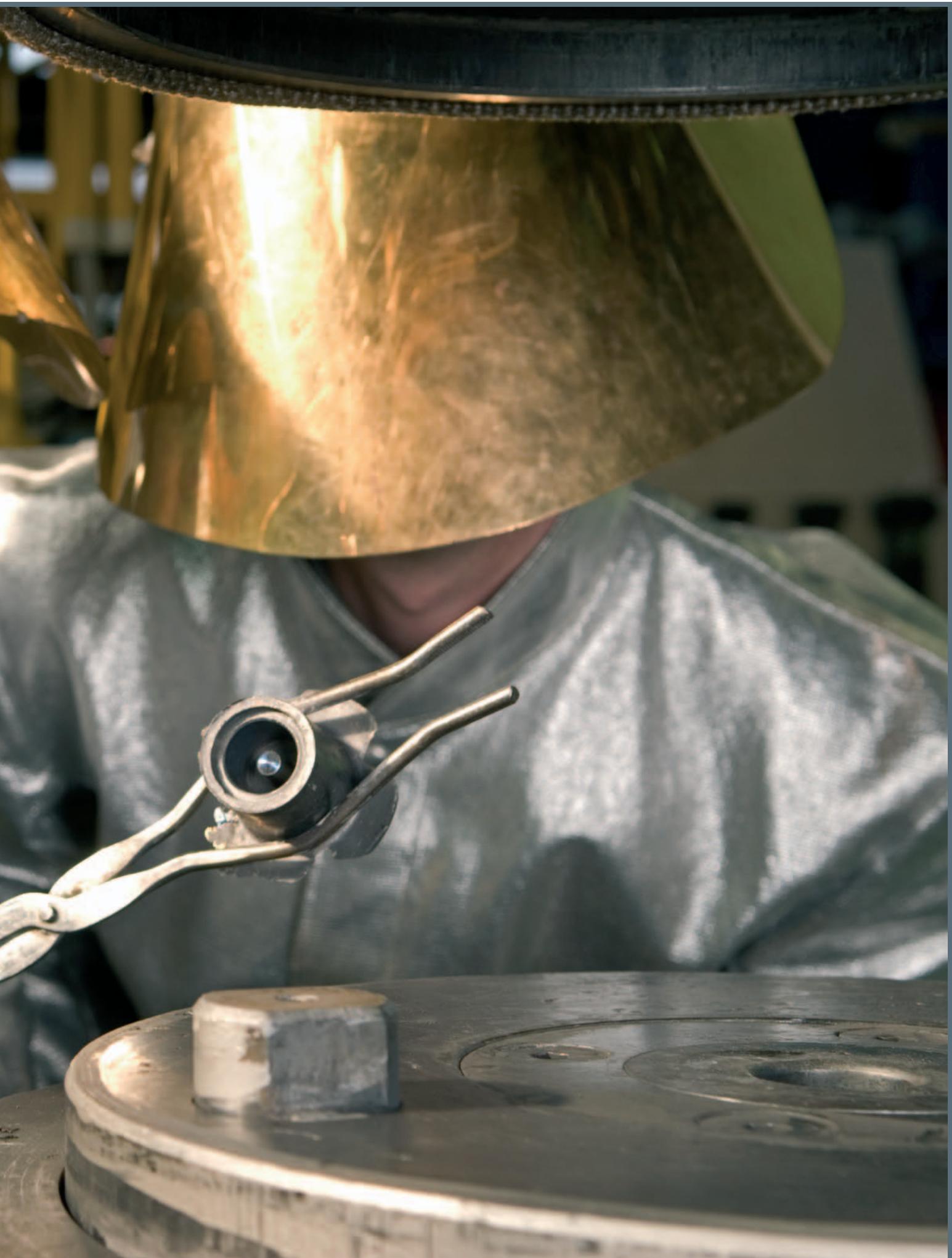
Im Sonderforschungsbereich 289 sind neben dem Lehrstuhl für Werkstoffchemie die Institute für Keramik und Feuerfeste Werkstoffe, für Bildsame Formgebung, für Eisenhüttenkunde, für Metallhüttenwesen und Elektrometallurgie, für Oberflächentechnik, für Regelungstechnik, für Verfahrenstechnik sowie das Gießerei-Institut eingebunden.

[www.sfb289.rwth-aachen.de](http://www.sfb289.rwth-aachen.de)

**Autor:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hirt ist Sprecher des Sonderforschungsbereichs 289 „Formgebung von metallischen Werkstoffen im teilerstarten Zustand und deren Eigenschaften“ und Leiter des Instituts für Bildsame Formgebung.





*Bild 4: Am Institut für Bildsame Formgebung werden Strategien für die Verarbeitung von Metallen im teilflüssigen Zustand entwickelt. Die butterweiche Konsistenz des Einsatzmaterials ermöglicht die Herstellung von komplexen Bauteilen bei sehr*

*niedrigen Umformkräften. Eingebachte Einlegeteile erweitern zusätzlich die Konstruktionsmöglichkeiten für Komponenten wie Pumpengehäuse oder Lagerbauteile der Automobilindustrie.  
Foto: Peter Winandy*

# Mediale Dimensionen

Neben den aktuell im Zentrum des öffentlichen Interesses stehenden elektronischen Technologien der Datenspeicherung, Datenverarbeitung und Datenverteilung nimmt das Kulturwissenschaftliche Forschungskolleg „Medien und kulturelle Kommunikation“ die sehr unterschiedlichen medialen Kulturtechniken der Hervorbringung, Verarbeitung und Lesbarmachung von Bedeutungen in den Blick. Das Forschungskolleg geht dabei von der Annahme aus, dass kognitive Inhalte und kulturelle Bedeutungen als Phänomene aufzufassen sind, die nicht nur hinsichtlich ihrer Kommunikation und Archivierung sondern auch hinsichtlich ihrer Entstehung, notwendig auf mediale Prozesse angewiesen sind. Mediale Systeme sind nicht lediglich äußere Übermittlungstechniken; vielmehr bringen sie die Inhalte, die sie vermitteln und prägen, erst konstitutiv hervor. Kognitive Gehalte werden also nicht als prozessierungsneutrale mentale Repräsentationen modelliert und Medialität wird nicht auf Sekundärfunktionen der Übertragung und Vermittlung reduziert. Aus dieser Hypothese ergibt sich die Notwendigkeit, das Verhältnis von Medialität und Mentalität, also das Verhältnis von – zum Teil technisch geprägten – symbolischen Verfahren auf der einen und den kognitiven Inhalten, die in diesen prozessiert werden, auf der anderen Seite, zu analysieren. Unter einer zeichentheoretischen Perspektive wird diese Problematik seit 1999 in einer Forschungsgruppe des Kollegs untersucht, die durch eine Verschränkung disziplinärer Methoden und fachlicher Untersuchungsfelder gekennzeichnet ist: In theoretischen und empirischen Einzelprojekten arbeiten Wissenschaftler aus Linguistik, Psychologie, Neurolinguistik und Kulturwissenschaft mit sehr unterschiedlichen Analyseverfahren an der Freilegung von für die kognitive Informationsverarbeitung wichtigen medialen Einflussfaktoren. In der ersten Förderphase war es ein zentrales Ziel des Teilprojektes, ei-

nen Beitrag zur Klärung der Frage zu leisten, ob und wenn ja in welcher Form kognitive Organisationsstrukturen durch die Medialität von Sprachzeichensystemen beeinflusst werden. In vergleichenden Studien wurden deshalb unterschiedliche mediale Formate der Lautsprache und Gebärdensprache bei gehörlosen und hörenden Probanden sowie verschiedene Register literaten und oraten Stils – bei Personen mit leichten zentralorganischen Sprachstörungen, den Aphasikern, und Sprachgesunden im Hinblick auf den Zusammenhang von Sprachzeichen und Kognition untersucht. Zusammenfassend lässt sich allgemein als Befund festhalten,

- dass die medialen Eigenschaften von Laut- und Gebärdensprache die Modellierung mentaler Konzepte spezifisch bestimmen,
- dass sich das mentale Lexikon in Abhängigkeit von den modalen und medialen Eigenschaften von je spezifischen Sprachsystemen ausbildet und
- dass sich die narrativen Diskursstrukturen der nicht-literalen Gebärdensprache und der literalisierten Lautsprache systematisch unterscheiden. Durch Rückwirkungen literaler Praxen weisen die ‚sekundär‘ mündlichen Erzählstrukturen in der Deutschen Lautsprache „Differenzen“ zu den ‚primär‘ mündlichen Narrationen in der Deutschen Gebärdensprache auf.

Es konnte in der ersten Forschungsphase also für bestimmte empirische Fragestellungen der Nachweis geführt werden, dass Kognition in wesentlichen Hinsichten an die externe Dimension der Materialität von Sprachzeichensystemen gebunden ist<sup>1</sup>. Zugleich konnte die im Projekt entwickelte ‚Spurtheorie des Geistes‘ mit empirischen Daten untermauert und theoretisch fortentwickelt werden.

In der zweiten Forschungsphase wurden auf der Grundlage der gewonnenen Ergebnisse die spezifischen Eigenschaften der Zeichenverfahren genauer untersucht, denen sich der Einfluss der Medialität auf das kognitive System verdankt. Der

Untersuchungsfokus richtete sich deshalb insbesondere auf die symbolischen Verfahren, durch die die Effekte der kognitiven Strukturierung hervorgerufen werden. Untersucht wurden dabei insbesondere so genannte transkriptive Verfahren, durch die Zeichen- und Symbolsysteme auf sich selbst Bezug nehmen und sich rekursiv verarbeiten. Die Ausgangshypothese bestand in der Annahme, dass es diese ‚Transkriptivität‘ von medialen Verfahren ist, auf die die kognitionsstrukturierende Wirkung zurückgeführt werden kann<sup>2</sup>. So wurde etwa in vergleichenden Untersuchungen zum strukturell mündlichen Sprachverhalten in der Deutschen Gebärdensprache und in der Deutschen Lautsprache gefragt, ob sich im online-Modus dialogischer Kommunikation die selbstreferentiellen Bezugnahmeformen der durch literale Schriftpraktiken geprägten Lautsprache von denen der nicht verschrifteten Gebärdensprache unterscheiden. In der ‚flüchtigen‘ online-Kommunikation wirken Verfahren der selbstreferentiellen Bezugnahme in beiden Sprachmodalitäten der Flüchtigkeit mündlicher Kommunikation entgegen. Rekursive Verfahren der sprachlichen Bezugnahme zerdehnen in gewisser Hinsicht den zeitlich-linear voranschreitenden Redefluss mündlicher Sprachprozessierung, indem sie zeitlich Zurückliegendes erneut thematisieren und so der kognitiven Weiterverarbeitung zugänglich halten. Damit kompensieren diese Verfahren also das für die online-Kommunikation charakteristische enge Zeitfenster; eine Leistung, die bislang allein der Schrift zugesprochen wurde. Zentrales Ergebnis unserer Studien ist, dass die individuelle Gesprächsorganisation sowohl in der Mündlichkeit der Deutschen Lautsprache als auch in der online-Prozessierung der nicht verschrifteten Deutschen Gebärdensprache von Verfahren profitiert, die den Fluxus der Rede überwinden und Äußerungen in gewisser Weise still stellen. Bereits nicht verschriftete Sprachen

verfügen also über Formen der ‚Stillstellung‘ von Wissen, die für die kulturelle Wissenstradierung wesentlich sind. Wie sich außerdem in empirischen Studien zum Einfluss medien spezifischer Faktoren auf die Sprachperformanz zeigt, sind die Wortwahl und Syntax bei Personen mit leichten zentralorganischen Sprachstörungen, den Aphasikern, aber auch bei Sprachgesunden von medialen und interaktiven Verarbeitungsprozessen spezifisch geprägt.

Wie sich statistisch belegen lässt, nutzen Aphasiker – wie auch Sprachgesunde – in der schriftbasierten Netzkommunikation, Chat, einen Stil der sprachlichen Knappheit mit reduziertem Satzbau, unvollständigen Phrasen und Abkürzungen et cetera. Zur Kompensation der fehlenden Körperlichkeit, durch die nicht wahrnehmbare Stimme, Gestik und Gesichtsausdruck entwickeln beide Probandengruppen einen spezifischen Stil, der die Verwendung von Emoticons und graphischen Betonungsmitteln einschließt. Viele so genannte pathologische Symptome erweisen sich im Vergleich mit Sprachgesunden als durchaus normale mediale Adaptationen. Es zeigt sich, dass Aphasiker trotz ihrer Sprach- und Sprechstörungen ebenso wie Sprachgesunde über einen flexiblen Zugriff auf sprachliche Formate verfügen, die dem jeweiligen Adressaten, dem kommunikativen Ziel und der medialen Performanz angepasst sind.

Die Ergebnisse der medialen Praktiken von Aphasikern und Sprachgesunden in interaktiven und monoaktiven und Kommunikationsmodi – Face-to-face-Gespräche, Chat, schriftlicher und mündlicher Bericht – schärfen den Blick auf eine allgemeine Eigenschaft der Sprache: Sprachliches Wissen ist nicht kontextunabhängig organisiert, sondern wird medialitätsspezifisch und interaktionsabhängig prozessiert.

Der Einfluss der medialen Beschaffenheit von Zeichen auf die kognitive Verarbeitung lässt sich überdies mit Studien zur mentalen Zahlenverarbeitung

# kognitiver Prozesse

bei hörenden und gehörlosen Personen untersuchen. Die Zahlzeichen in der Deutschen Lautsprache und in der Deutschen Gebärdensprache unterscheiden sich nicht nur in der auditiv-oralen versus visuell-räumlichen Modalität voneinander, sondern auch hinsichtlich der Struktur des zu Grunde liegenden Zahlensystems.

Während das Zahlensystem der Deutschen Lautsprache genau wie das Arabische Zahlensystem ein rein zehner-basiertes ist, handelt es sich in der Deutschen Gebärdensprache um ein zehner-basiertes Zahlensystem auf der Subbasis fünf<sup>3</sup>. Verschiedene Studien mit basalen numerischen Aufgaben, wie Größenvergleichen, Gerade-Ungerade-Entscheidungen und numerischen Ähnlichkeitsurteilen machen deutlich, dass sich die Struktur des Zahlensystems der Deutschen Gebärdensprache in den Ergebnismustern der gehörlosen Probanden widerspiegeln, sofern in der Aufgabe sprachliche Zahlzeichen präsentiert werden. Soll die gleiche Aufgabe mit arabischen Zahlen bearbeitet werden, lassen sich hingegen keine Anzeichen für einen Einfluss des Zahlensystems der Deutschen Gebärdensprache auf der Subbasis fünf in den Ergebnismustern beobachten. Die medialen Differenzen in den Zeichensystemen spielen also auch in der mentalen Verarbeitung eine Rolle. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass die Medialität die Prozessierung kognitiver Wissensstrukturen zumindest beeinflussen kann. Die Ergebnisse werden von der Arbeitsgruppe vor dem Hintergrund der Annahme medialitätsabhängiger dynamischer Repräsentationen interpretiert. Zusammengekommen bestätigen die dargestellten Einzelergebnisse also die Annahme, dass Kognition durch die medialen Eigenschaften von Zeichen sowie durch deren Prozessierungsformen moduliert und strukturiert werden können. Dieser Einfluss wurde zum Teil durch die Untersuchung von Zeichensystemen sichtbar gemacht, die sich hinsichtlich ihrer medialen Ei-

genschaften unterscheiden, wie dies für Laut- und Gebärdensprachen der Fall ist.

Das Ziel der aktuellen Forschung besteht darin, eine weitere Dimension der Beeinflussung kognitiver Prozesse durch Sprachzeichen zu untersuchen: die so genannte Akteur-Netzwerk-Dimension<sup>4</sup>. Die kognitionsstrukturierenden Effekte der Medialität werden nun nicht mehr allein aus der produktionsseitigen Perspektive der einzelnen Zeichenproduzenten in den Blick genommen, sondern zusätzlich aus der Zeichensystemeigenschaften, die durch interaktive Zeichenhandlungen bestimmt sind. Die Untersuchungsperspektive bezieht also nun die so genannte semiologische Handlungsmacht, „Agency“<sup>5</sup> mit ein. Mit der semiologischen Agency tritt ein Bestimmungsmoment in den Fokus der Aufmerksamkeit, das die Zeichenhandlungen von Individuen und deren kognitive Effekte zwar maßgeblich bestimmt, in bislang häufig allein sprecherfokussierten linguistischen und medientheoretischen Analysen aber nicht hinreichend zum Untersuchungsgegenstand gemacht werden konnte.

<http://www.fk-427.de>

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr.phil. Ludwig Jäger ist Geschäftsführender Direktor des Kulturwissenschaftlichen Forschungkollegs 427 „Medien und kulturelle Kommunikation“ und Inhaber des Lehrstuhls für Deutsche Philologie.

<sup>1</sup>Vgl. hierzu etwa die Studien von Gisela Fehrmann: Die diskursive Logik kategorialer Wissensstrukturen, In: Ludwig Jäger/Erika Linz (Hg.): Medialität und Mentalität, München 2004, S. 69-98; Klaudia Grote: 'Mediale Relativität': Auswirkungen der gestisch-visuellen und vokal-auditiven Sprachmodalität auf semantische Strukturen, In: Ludwig Jäger/Erika Linz (Hg.): Medialität und Mentalität. Theoretische und empirische Studien zum Verhältnis von Sprache, Subjektivität und Kognition, München 2004; Klaudia Grote/Erika Linz: The Influence of Sign Language Iconicity on Semantic Conceptualization, In: Wolfgang G. Müller/Olga Fischer (Hg.): From Sign to Signing. Iconicity in Language and Literature 3, Amsterdam/Philadelphia 2003, S. 23-40 sowie Luise Springer: Mediendifferenz und Sprachverwendung. Eine empirische Studie zur medien-spezifischen Prozessierung des Sprachwissens bei Agrammatikern und Sprachgesunden, In: Ludwig Jäger/Erika Linz (Hg.): Medialität und Mentalität, München 2004, S. 220-248.

<sup>2</sup>Zum Begriff der „rekursiven Transkriptivität“ vgl. Ludwig Jäger: Transkriptivität. Zur medialen Logik der kulturellen Semantik. In: Ludwig Jäger/Georg Stantizek (Hg.): Transkribieren - Medien/Lektüre.

München: Fink 2002, 19-41; ebenso ders.: Störung und Transparenz. Skizze zur performativen Logik des Medialen, In: Sybille Krämer (Hg.): Performativität und Medialität, München 2004, 35-73 sowie ders.: Transkriptive Verhältnisse. Zur Logik intra- und intermedialer Bezugnahmen in ästhetischen Diskursen. In: Gabriele Buschmeier/Ulrich Konrad/Albrecht Riethmüller (Hg.): Transkription und Fassung. Bericht des Kolloquiums Mainz 2004. Mainz: Akademie der Wissenschaften und der Literatur [im Druck].

<sup>3</sup>Vgl. hierzu Wiebke Iversen/Hans C. Nuerk/Ludwig Jäger/Klaus Willmes: The Influence of an External Symbol System on Number Parity Representation, or What's Odd About 6?, in: Psychonomic Bulletin & Review, 13/ 4, (2006), S. 730-736.

<sup>4</sup>Vgl. hierzu Bruno Latour: On Actor-Network Theory. A Few Clarifications, in: Soziale Welt, 47 (1996), S. 369-381.

<sup>5</sup>Vgl. zu diesem Terminus Alfred Gell: Art and Agency. An Anthropological Theory, Oxford 1988.

# Transregionale Kooperation

## Zukunftstechnologien zur Herstellung komplexer Optikkomponenten

Im Transregio 4 „Prozessketten zur Replikation hochgenauer Komponenten“ erarbeiten die Universität Bremen, die RWTH Aachen und die Oklahoma State University in Stillwater, USA, gemeinsam die wissenschaftlichen Grundlagen der Herstellung optischer Komponenten mit komplexen Oberflächengeometrien. Während die Prozesse für einfach gekrümmte sphärische Optiken, die beispielsweise in Mikroskopen eingesetzt werden, bereits industriell etabliert sind, ist die Herstellung komplex geformter Optiken wie Asphären und Freiformflächen durch einen hohen Messaufwand und zahlreiche Iterationsschleifen gekennzeichnet. Die Fertigung dieser Bauteile ist daher bis heute aufwändig, teuer und auf geringe Stückzahlen beschränkt, obwohl sie enorme funktionelle Vorteile bieten. Erst Replikationsverfahren wie das Spritzgießen von Kunststoffoptiken oder das Präzisionsblankpressen optischer Gläser versprechen eine effiziente Herstellung komplex geformter Optiken in hohen Stückzahlen.

Bereits Ende des ausgehenden Jahrhunderts benannte die Agenda „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“ die „Entwicklung deterministischer Produktionstechnologien hoher Variabilität“ als Aktionen mit höchster Priorität für die Optikfertigung. Angewandt auf die bestehenden Fertigungsprozesse für Optiken heißt dies:

- Entwicklung deterministischer Schleif- und Polierprozesse, vor allem für komplexe Oberflächen,
- Entwicklung stabiler Replikationsverfahren mit reproduzierbarem Arbeitsergebnis,
- Entwicklung industrietauglicher Mess- und Prüfverfahren. Der Transregio greift diese Herausforderungen auf, um die grundlegenden Voraussetzungen für sichere Prozessketten und deterministische Fertigungsprozesse zur Replikation komplexer Optikkomponenten zu schaffen, siehe Bild 1.

Mit dieser Vision starteten im Jahr 2001 die Forschungsarbeiten. Nach sechs Jahren befindet sich der Transregio in der Mitte der zweiten Förderperiode. Die Forschungsarbeiten zielen auf die gesamte Prozesskette – vom Optikdesign über den Formenbau inklusive der Schichtentwicklung bis hin zur Replikation. Begleitet werden sie durch Untersuchungen zur Messtechnik, die dazu beitragen, Fragen der Maschinenintegration und eines durchgängigen Datenmanagements zu erforschen. Obwohl viele wissenschaftliche Fragen noch nicht beantwortet sind, können die Forscher zur „Halbzeit“ bereits einige hochinteressante Ergebnisse vorweisen:

Als beteiligter Forschungspartner untersucht das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie die Mechanismen chemo-mechanischer Polierprozesse. Den Mitarbeitern des Instituts gelang es bereits, die grundlegenden Wechselreaktionen bei der Polierbearbeitung von Werkzeugbauwerkstoffen, wie Werkzeugstahl für den Kunststoffspritzguss oder Hochleistungskeramik für das Präzisionsblankpressen, zu beschreiben. Erst die technologische Transparenz dieser Abläufe schafft die Voraussetzung für eine prozesssichere Polierbearbeitung komplexerer Oberflächengeometrien. Kinematische Aspekte und das Polierwerkzeugdesign stehen dabei im Vordergrund.

Anhand einer eigens zu diesem Zweck aufgebauten fünfachsigen Polierspindel ließen sich so nicht-rotationssymmetrische Bauteile vollautomatisch polieren. Die fundierten technologischen Kenntnisse bilden die Basis für die Polierbearbeitung von Freiformflächen ebenso wie für die deterministische Formkorrektur bereits polierter Oberflächen. Erst auf diese Weise konnten die in der Optikfertigung üblichen höchsten Formgenauigkeiten reproduzierbar erzielt werden, siehe Bild 2. Eine weitere technologische Herausforderung bot bisher die Polierbearbeitung kleiner Mikrostrukturen, die am La-

bor für Mikrozerspanung der Universität Bremen untersucht wird. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zu Fragen des Werkzeugdesigns helfen heute dabei, die Oberflächengüten von Mikrostrukturen im Submillimeterbereich deutlich zu verbessern.

Ein weiteres Highlight unter den Ergebnissen ist eine Freiformoptik, die das einfallende Licht so streut und bündelt, dass auf einem Projektionschirm ein festgelegtes Abbild erscheint. Die Forschung konzentrierte sich hier besonders darauf, die Datenschnittstelle zwischen dem Optikdesign und dem NC-Datencode für die Maschinensteuerung zu optimieren.

Dies sind nur einige Beispiele aus dem zentralen Bereich des Transregio, dem ultrapräzisen Formenbau. Ergänzt werden sie durch Arbeiten an neuen Schichtsystemen, die das Kontaktverhalten zwischen der Pressform und der heißen Kunststoff- oder Glasoptik im nachfolgenden Replikationsprozess verbessern.

An der Replikation der Optiken sind das Institut für Kunststoffverarbeitung sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie beteiligt. Der Fokus der Arbeiten liegt auf der Verbesserung der Abformgenauigkeit. Das Institut für Kunststoffverarbeitung untersuchte dazu die Prozesseinflussgrößen, die für die Qualität des Spritzgießprozesses relevant erscheinen. Auf diese Weise lässt sich feststellen, welche Abhängigkeiten zwischen optischen Qualitätskriterien und Prozessparametern bestehen. Das Fraunhofer-Institut untersucht außerdem das Präzisionsblankpressen zur Replikation von Glas, vor allem die Interaktionen des Glases bei Temperaturen über 500 Grad Celsius mit dem Formenmaterial. So lassen sich unerwünschte Reaktionen des heißen, reaktiven

Glaswerkstoffs mit der Form vermeiden. Indem die Forscher den Umformprozess der Glasoptik vorab im Computer simulieren, können sie die Schrumpfung des Glases bei der Umformung berechnen und so bereits beim Formenbau berücksichtigen. Eine wichtige Rolle in der Wertschöpfungskette der Optikproduktion spielt auch die Messtechnik. Dabei geht es nicht nur um das Erfassen von Mikro- und Makrogeometrie der optischen Bauteile. Auch Analysen der Randzonen von Formen und Optikkomponenten sind Bestandteil der Forschungsarbeiten. Hier leistet der amerikanische Forschungspartner, die Oklahoma State University aus Stillwater, seinen wichtigen Beitrag: Geeignete Nanoscratching- und Nanoindentationsverfahren sollen dazu dienen, die Eigenschaften der interagierenden Oberflächen bereits auf den ersten Nanometern zu bestimmen. Gerade diese Größenordnungen sind in der Ultrapräzisionstechnik relevant, denn die geringen Bearbeitungskräfte beeinflussen tiefer liegende Materialschichten nicht mehr. Die Analyse der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Randzonen lässt jedoch erste Rückschlüsse auf die Wirkmechanismen der Bearbeitungsverfahren zu.

Eine Prozesskette ist aber nicht abgeschlossen, wenn nur ihre einzelnen Glieder betrachtet werden. Vielmehr noch kommt es auf die Schnittstellen zwischen den Teilprojekten an. Die Integration dieser Teilprojekte in ein sinnvolles Ganzes ist Aufgabe des „Quality Chain Managements“ am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie. Hier gilt es zu erforschen, welche Informationen zwischen den Beteiligten in der Prozesskette ausgetauscht werden müssen – und vor allem in welcher Form. So wollen die Forscher mit einer internetbasierten Software alle Daten und Informationen innerhalb der Prozesskette sammeln und ablegen.

Die Präsentation der wissenschaftlich-inhaltlichen Arbeiten steht im Mittelpunkt der nächsten Begehungsrunde im



Bild 1: Beispiel einer komplexen Optikkomponente.

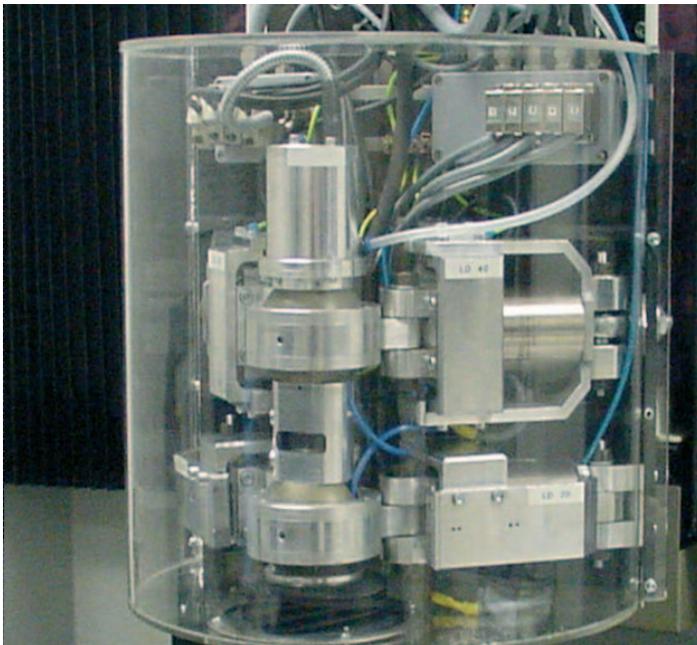


Bild 2: Fünffachiger Polierkopf und polierte Freiformfläche.

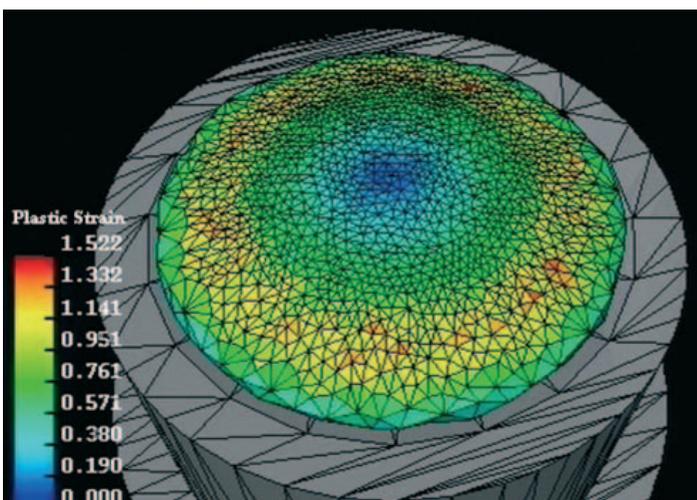


Bild 3: Simulation des Umformprozesses von Glas.

Jahr 2008. Dazu positionieren sich alle beteiligten Forschungspartner und stimmen ihre weiterführenden Arbeitsprogramme ab. Oberstes Ziel ist ein noch stärkerer Anwendungsbezug in der letzten Förderperiode, obgleich schon heute viele Teilergebnisse den Weg in die industrielle Praxis gefunden haben. Auf einem alljährlich stattfindenden Industriekolloquium präsentieren die Transregio-Forschungspartner ihre Ergebnisse der Industrie.

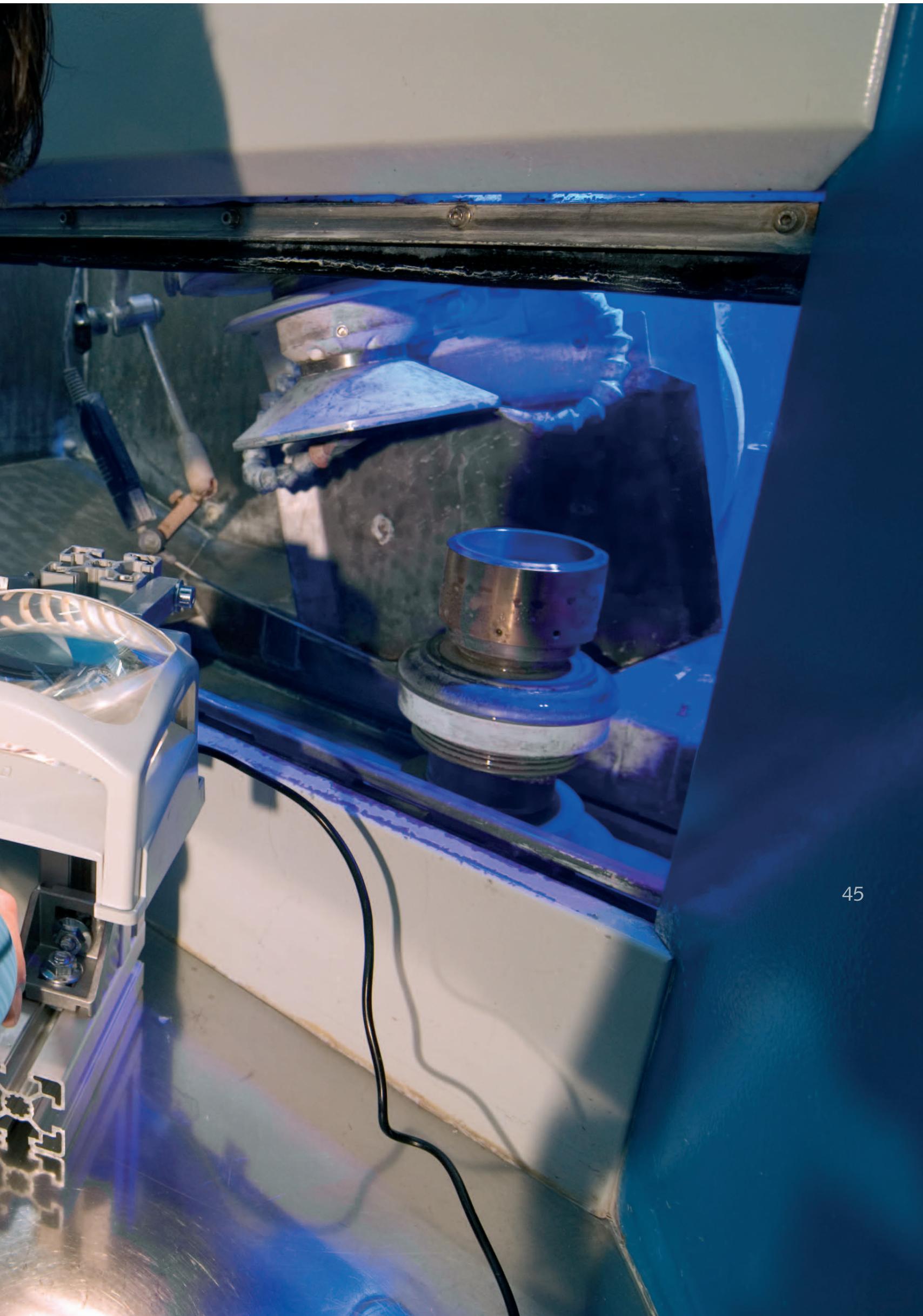
<http://www.sfb-tr4.uni-bremen.de/>

**Autoren:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ekkard Brinksmeier ist Sprecher des Transregio 4 „Prozessketten zur Replikation hochgenauer Komponenten“ und Leiter des Labors für Mikrozersetzung der Universität Bremen. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Fritz Klocke ist stellvertretender Sprecher und Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie. Dr.-Ing. Olaf Dambon ist Oberingenieur am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie.



*Bild 4: Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie untersuchen den Fertigungsprozess des Polierens, der den entscheidenden letzten Schritt bei der Herstellung von Stahlwerkzeug und -formen mit hoher Oberflächengüte darstellt.  
Foto: Peter Winandy*



# Theoretische Rechnungen die Quanteneigenschaften

Warum ist die schwache Wechselwirkung so kurzreichweitig und bestimmt deshalb nicht wie die elektromagnetische Kraft die mikroskopische Struktur von Atomen, Molekülen und Festkörpern? Werden die Massen der Quarks und Leptonen tatsächlich durch den alles durchdringenden Äther eines Higgs-Felds erzeugt? – Es gehört zu den Kuriositäten der Quantenwelt, dass zur Beantwortung dieser Fragen, zur Ergründung der fundamentalen Naturgesetze und des Ursprungs des Universums gerade diejenigen Elementarteilchen von höchster Bedeutung sind, die so schwer und vor allem so flüchtig sind, dass sich in der uns umgebenden Natur keine Spur mehr von ihnen findet. Sie müssen deshalb in Kollisionen von Elektronen oder Protonen, die auf sehr hohe Energien beschleunigt werden, künstlich erzeugt werden. Das Jahr 2007 ist dabei ein besonderes Datum, denn nach über zehn Jahren wird mit dem Large Hadron Collider, kurz LHC, am Forschungszentrum CERN bei Genf erstmals wieder ein neues Instrument in Betrieb genommen, das in unbekannte Energiebereiche vorstößt. Die an solchen Beschleunigern stattfindenden Hochenergiereaktionen erfordern zu ihrer Interpretation aufwändige theoretische Rechnungen. Denn selten ist die Signatur eines neuen Teilchens, zum Beispiel des Higgs-Teilchens, der Anregung des Higgs-Felds, eindeutig und offensichtlich - sie muss vielmehr aus dem Hintergrund bekannter Prozesse herausgefiltert werden, die entsprechend genau bekannt sein müssen. Die Vorhersage von Effekten bisher unentdeckter Teilchen sowie die präzise Berechnung und Kenntnis des so genannten Standardmodells der Elementarteilchen und seiner Naturkonstanten stellen Theoretiker vor große Herausforderungen. Insbesondere die zweite Aufgabe steht im Zentrum des Sonderforschungsbereichs/Transregio 9 „Computergestützte Theoretische Teilchenphysik“, einer Kollaboration von theoretischen

Teilchenphysikern der RWTH Aachen, der Humboldt-Universität zu Berlin, der Universität Karlsruhe und dem Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY-Zeuthen. Das Institut für Theoretische Physik E der RWTH Aachen ist mit drei Arbeitsgruppen an sechs Teilprojekten beteiligt. Die Schwerpunkte reichen von der Erforschung der Verletzung der CP-Symmetrie in Zerfällen schwerer Mesonen bis zur Berechnung von Quantenfluktuationen in der Produktion von Higgs-Teilchen und hypothetischen Teilchen, die in so genannten supersymmetrischen Verallgemeinerungen des Standardmodells vorhergesagt werden.

Aus diesem Themenspektrum soll im Folgenden die Physik des top-Quarks herausgegriffen werden, die die drei Aachener Arbeitsgruppen verbindet. Unter den bekannten fermionischen Elementarteilchen nimmt das top-Quark eine besondere Stellung ein. Mit einer Masse von  $175 \text{ GeV}/c^2$  wiegt es so schwer wie 180 Wasserstoffatome zusammen, obwohl es sich nach heutiger Kenntnis um ein strukturloses, punktförmiges Objekt handelt. Solch schwere Objekte können zurzeit nur im Tevatron am Fermilab nahe Chicago produziert werden, in dem Protonen und Antiprotonen auf eine Energie von jeweils 1000 GeV beschleunigt werden. Dabei wird bei einer von 100 Milliarden Kollisionen ein top-Quark zusammen mit seinem Antiteilchen erzeugt. Seit seiner Entdeckung 1995 wurden deshalb erst etwa 35.000 top-Quarks produziert, von denen nur ein Bruchteil im Detektor nachgewiesen werden konnte. Aufgrund der höheren Strahlenergie und -intensität wird die entsprechende Zahl von top-Quarks am LHC in weniger als einem Tag erzeugt. Deshalb ist die top-Quark-Physik ein hochaktueller Forschungsgegenstand.

Top-Quarks spielen als Konstituenten der Materie keine Rolle, weil sie in  $0.00000000000000000000000005$  Sekunden ( $5 \cdot 10^{-25} \text{ s}$ ) in das

nächst leichtere Quark und ein Eichboson der schwachen Wechselwirkung zerfallen, siehe Bild 1. Neben seiner unerklärlich großen Masse rührt die Faszination des top-Quarks – und seine Relevanz für die Teilchenphysik – vor allem aus seiner starken Kopplung an das noch unentdeckte Higgs-Feld und den damit verknüpften Quantenfluktuationen. Diese sind so stark, dass die Masse des top-Quarks schon vor seiner direkten Produktion aus Präzisionstests der elektroschwachen Kraft vorhergesagt werden konnte. Sie destabilisieren den Grundzustand des Standardmodells und müssen durch die Fluktuationen eines hinreichend schweren Higgs-Teilchens kompensiert werden. Schließlich spielt das top-Quark durch seine Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld eine wichtige Rolle bei der Aufklärung des Mechanismus der Massenerzeugung und möglicherweise sogar bei der Erzeugung der Materieasymmetrie im frühen Universum, der wir unsere Existenz verdanken!

In einem mittlerweile abgeschlossenen Projekt wurden deshalb von Aachener Physikern die Quantenkorrekturen der starken Wechselwirkung zur Erzeugung eines top-Quarks, seines Antiteilchens und eines Higgs-Teilchens berechnet. Bei diesem Prozess wird das Higgs-Teilchen von den top-Quarks emittiert. Ein wichtiger Konsistenztest der Theorie besteht nun darin experimentell nachzuweisen, dass die Stärke der Higgs-Emission direkt mit der Masse des top-Quarks verknüpft ist. Darüber hinaus kann die Produktion eines Higgs-Teilchens in Assoziation mit top-Quarks sogar einen wichtigen Beitrag zur Entdeckung des Higgs-Teilchens liefern, wenn dieses nicht zu schwer ist.

Angesichts der geringen Zahl bisher produzierter top-Quarks ist die Spindynamik experimentell noch völlig unerforscht. Auch hier werden theoretisch neue Phänomene vorhergesagt. Während alle anderen Quarks nach etwa  $10^{-24}$

# erschließen schwerer Teilchen

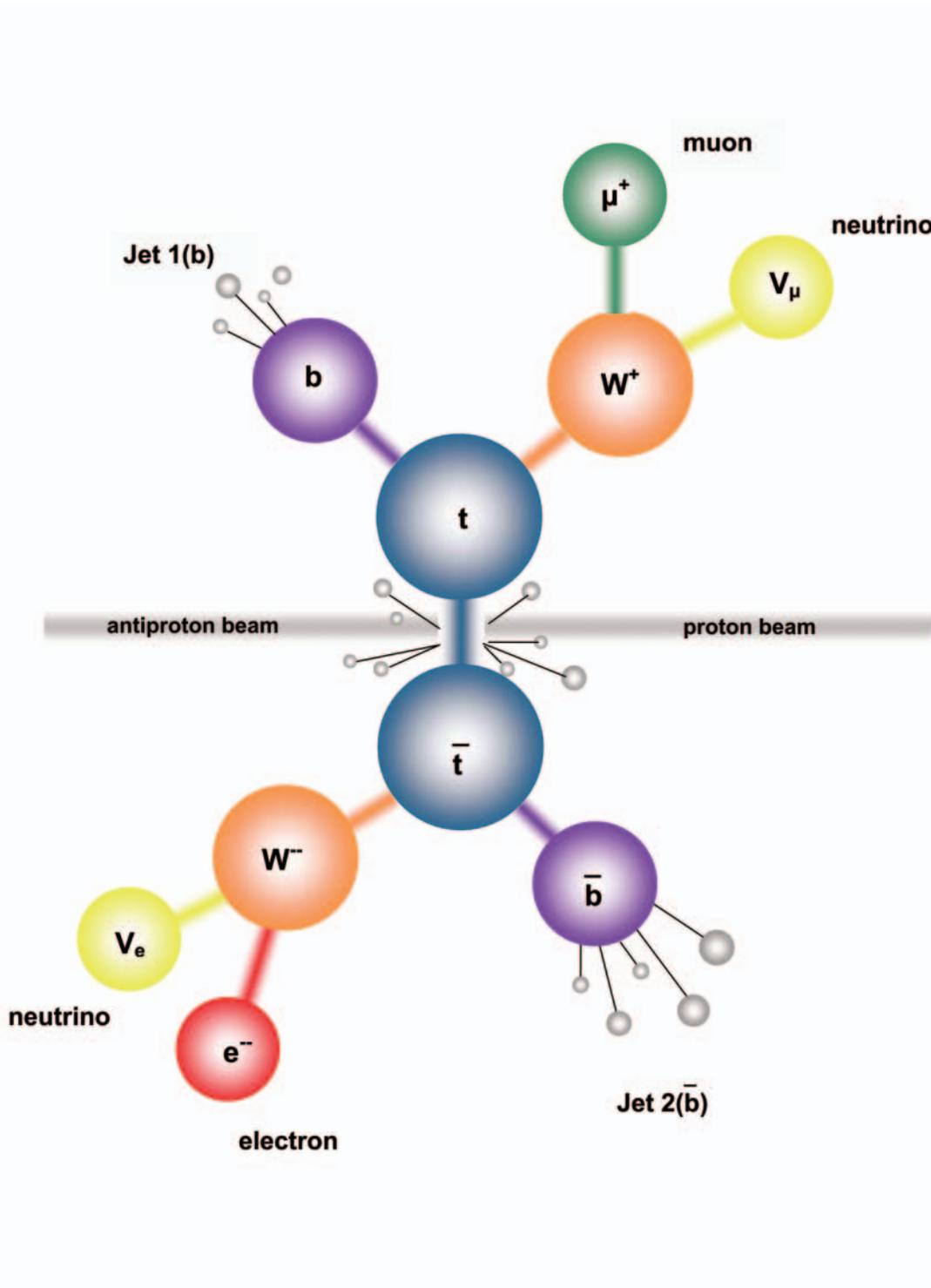


Bild 1: Produktions- und Zerfallskette eines top-Quarkpaares.  
Quelle: <http://www.d0.fnal.gov/Run2Physics/top/>

Sekunden hadronische Bindungszustände eingehen, wobei die Spininformation verloren geht, zerfällt das top-Quark zu schnell um zu hadronisieren. Dadurch besteht die einzigartige Möglichkeit, über die Winkelverteilungen der Zerfallsprodukte die Spinkorrelationen eines fast freien Systems von Quarks zu messen. In einem Projekt des Transregio werden dafür präzise Vorhersagen berechnet, die bald am LHC einem experimentellen Test unterworfen werden. Daraus erhofft man auch Erkenntnisse über den Spin und die Parität neuer Teilchen, die möglicherweise in top-Quarks zerfallen.

Werden ein top-Quark und sein Antiteilchen mit kleiner Relativgeschwindigkeit erzeugt, dann entsteht für einen winzigen Augenblick ein System, in dem sich beide unter dem Einfluss der starken Wechselwirkung einfangen, und einen Bindungszustand bilden, der dem Wasserstoffatom oder dem Positronium ähnelt. Die Dimensionen sind jedoch völlig verschieden. Auf Grund der großen Masse des top-Quarks hat das Toponium einen Durchmesser, der nur dem zehnmillionsten Bruchteil eines Wasserstoffatoms entspricht und noch hundert mal kleiner als ein Proton ist. Die kurze Lebensdauer eines top-Quarks macht das System jedoch so instabil, dass sich die Konstituenten im Mittel nur einmal umkreisen. Man erwartet deshalb in Folge der Unschärferelation eine breite Resonanz, die man in hochenergetischen Elektron-Positron-Kollisionen abtasten kann, um die Masse des top-Quarks mit sehr hoher Genauigkeit zu bestimmen. In einem weiteren Teilprojekt des Transregio wird deshalb die Form der Resonanz genau berechnet. Die Stärke der Wechselwirkung macht die Betrachtung hoher Ordnungen in der Störungsentwicklung nötig. Die Rechnungen übertreffen deshalb an Komplexität alle vergleichbaren Rechnungen, die für elektromagnetische Bindungszustände durchgeführt wurden, und erfordern die Ent-

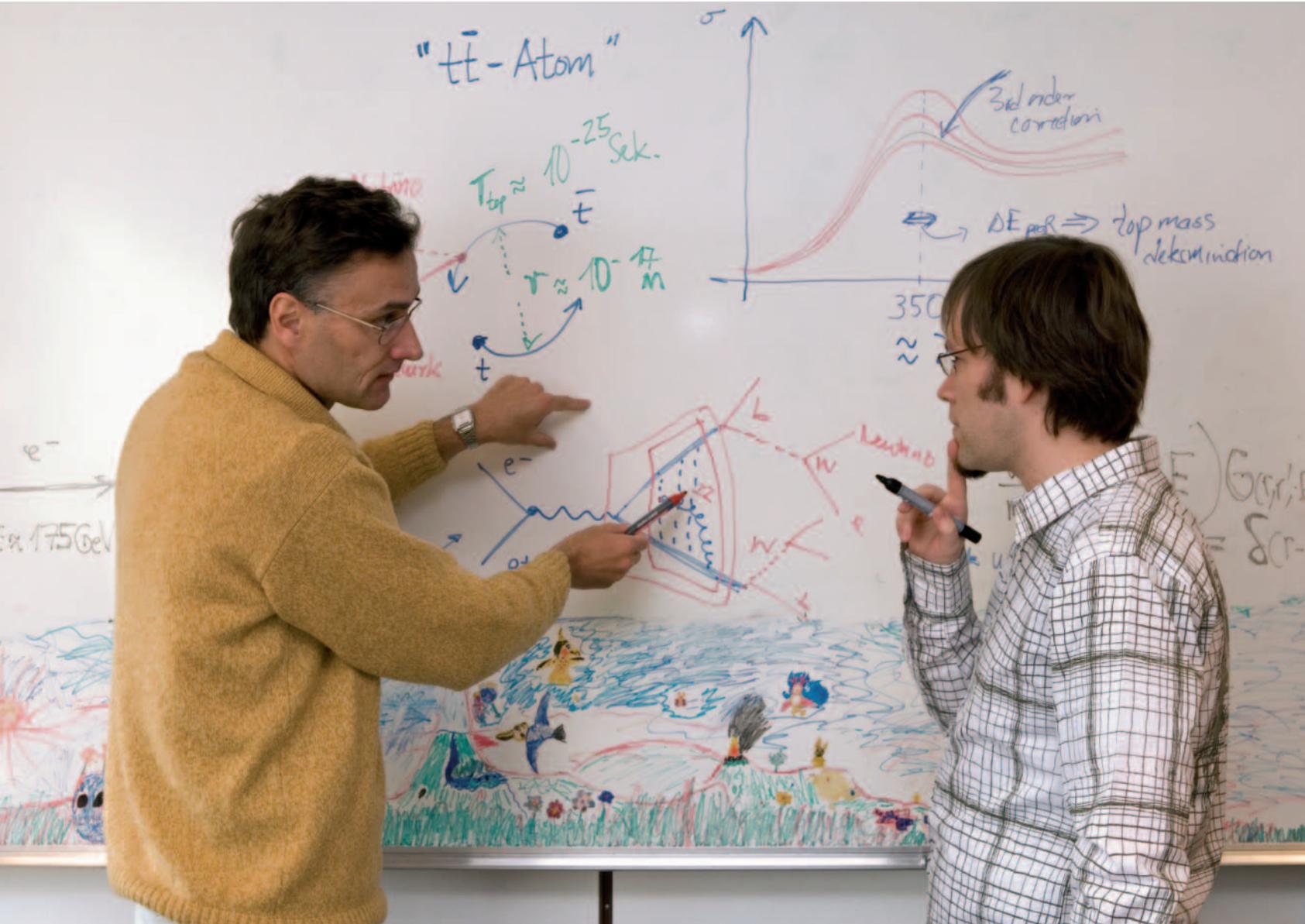


Bild 2: Professor Martin Beneke und Dipl.-Phys. Kurt Schuller besprechen die Subtraktion von Singularitäten

bei der Produktion eines top-Quark-Atoms.  
Foto: Peter Winandy

wicklung neuer theoretischer Methoden, um quantenfeldtheoretische Effekte korrekt einzubeziehen. Diese Arbeiten werden im Rahmen des Projekts in enger Zusammenarbeit zwischen Physikern der RWTH Aachen und der Universität Karlsruhe durchgeführt. Gerade hier zeigt sich die Stärke des Transregio-Konzepts, da die Zusammenführung der in beiden Gruppen vorhandenen technischen Expertise für den Erfolg des Projekts wesentlich ist.

Längst arbeiten theoretische Teilchenphysiker nicht mehr ausschließlich mit Papier und Bleistift. Dies trifft nicht nur auf Forschung zu, an deren Ende numerische Simulationen stehen. Auch vollkommen analytische Rechnungen sind in der Regel so umfangreich, dass die Manipulation der dabei entstehenden Formeln durch den Computer durchgeführt werden muss. Der Aspekt der computergestützten Physik kommt im Transregio auf unterschiedliche Weise zum Tragen. Bei der Berechnung hoher Ordnungen in der Störungsentwicklung von Quantenfeldtheorien müssen unter Umständen Tausende von Feynman-Diagrammen auto-

matisch generiert und in mathematische Ausdrücke übersetzt werden. Diese werden dann durch anwendungsspezifische Algorithmen auf wenige Basisausdrücke reduziert. Dies kann einerseits durch Erzeugung und Lösung von Gleichungssystemen mit bis zu mehreren zehntausend Unbekannten geschehen, oder durch Entwicklungen, wodurch zwischenzeitlich Ausdrücke von der Größe im Bereich von Terabyte entstehen können. Solche Probleme können nur noch teilweise mit Hilfe hochentwickelter Programmierumgebungen wie Mathematica gelöst werden. Die Entwicklung effizienterer Computeralgebra-Programme ist deshalb ebenfalls Gegenstand des Transregio; zum Beispiel wird in einem an der Universität Karlsruhe angesiedelten Projekt zurzeit das FORM-Programm parallelisiert. Auf der numerischen Seite bestehen die Herausforderungen vor allem in der Ausführung von hochdimensionalen Phasenraumintegralen, deren Integrand eine komplizierte Singularitätenstruktur besitzt. Diese muss auf der Basis von physikalischen Prinzipien a priori ver-

standen sein, um die singulären Bereiche zu subtrahieren und eine numerisch stabile Auswertung zu gewährleisten, die dann mit Monte-Carlo-Integrationsmethoden erfolgt. Die Monte-Carlo-Integration kommt in ganz besonderer Weise bei der Auswertung des Funktionalintegrals in diskretisierten Quantenfeldtheorien zur Anwendung. Die damit verknüpften Aspekte des Höchstleistungsrechnens sollen jedoch hier nicht weiter ausgeführt werden, da sie innerhalb des Transregio nicht durch die RWTH Aachen vertreten sind.

Der Sonderforschungsbereich/Transregio 9 „Computergestützte Theoretische Teilchenphysik“ wurde Anfang 2007 für weitere vier Jahre verlängert. Alles spricht dafür, dass es sich um den spannendsten Zeitraum für die Teilchenphysik seit 30 Jahren handelt. An seinem Ende könnte die Entdeckung des lange gesuchten Higgs-Teilchens stehen, oder einer ganzen Familie von neuen schweren Teilchen, wie sie in fast allen Erweiterungen des Standardmodells der Elementarteilchen vorhergesagt werden. Die Theoretiker können schließ-

lich ihre Modelle an der Realität messen. Vielleicht aber schlägt die Natur allen Erwartungen ein Schnippen und zwingt zur Einführung neuer Konzepte, die bisher noch niemand erdacht hat. Die mittelfristige Forschung des Transregio wird deshalb entscheidend durch die im LHC-Experiment gewonnenen Erkenntnisse bestimmt.

<http://sfb-tr9.physik.uni-karlsruhe.de/>

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Martin Beneke ist stellvertretender Sprecher des Sonderforschungsbereich/Transregio 9 „Computergestützte Theoretische Teilchenphysik“ und Leiter des Instituts für Theoretische Physik E.

**RWTHAACHEN**

5  
vor  
12

**DIE  
RWTH  
WISSEN-  
SCHAFTS-  
NACHT**

**9.11.2007**

**Kármán-Auditorium ab 19 Uhr – Eintritt frei**  
Technik und Film • Wissenschaft und Kabarett • Forschung und Musik

# Wie der Boden das

Wir treten ihn täglich mit Füßen, aber was sich genau im und am Boden abspielt, wissen wir nicht – zumindest, was den Wasser- und Energieaustausch mit der Atmosphäre anbelangt. Der Transregio 32 „Pattern in Soil-Vegetation-Atmosphäre Systems: Monitoring, Modelling, and Data Assimilation“ will Licht ins Dunkel bringen. Er startete am 1. Januar 2007 unter Leitung der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Außer den Bonner Wissenschaftlern sind drei Arbeitsgruppen der RWTH Aachen sowie Forscher der Universität zu Köln und des Forschungszentrums Jülich beteiligt. Ziel ist es, Energie-, Gas- und Wasseraustausch zwischen Boden und Atmosphäre besser zu verstehen. Am Ende sollen Computermodelle stehen, die die Grundlage für genauere Wetter- und Klimaprognosen liefern. Die Ergebnisse sollen aber beispielsweise auch zu besseren Vorhersagen von Überschwemmungen beitragen. Zwei Millionen Euro jährlich fließen zunächst bis 2010 an die beteiligten Institute – gut investiertes Geld, wie Professor Clemens Simmer von der Universität Bonn und Sprecher des Transregio glaubt: „Eine bessere Modellierung der Prozesse an der ‚Atmosphären-Unterkante‘ – also insbesondere an der Grenzschicht zwischen Luft und Boden – ist für die Klimaforschung extrem wichtig.“

Wenn es um den Boden unter unseren Füßen geht, werden ganz einfache Fragen schnell ziemlich kompliziert. Beispiel Bodenfeuchte: „Die kann man natürlich messen“, so Simmer, „das ist punktuell auch ziemlich einfach. Das Problem ist nur: Schon einen Meter weiter kann das Erdreich viel feuchter oder trockener sein.“ Wie nass der Boden ist, kann man auch mit Satelliten aus dem All feststellen. „Aber was messen die genau?“, fragt sich Simmer. „Geben die Werte wirklich die mittlere Bodenfeuchte wieder, wie man bislang annimmt?“

Das ist nur eines der Rätsel, die die Projektpartner klären möchten. In zwei Arbeitsgrup-

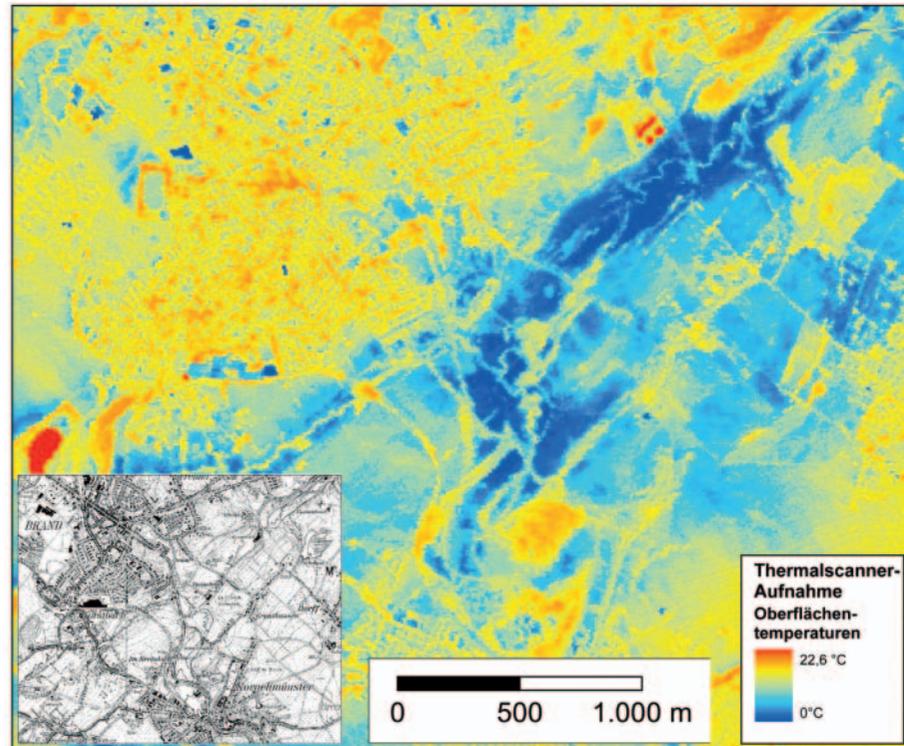


Bild 1: Die Thermalscanneraufnahme zeigt die farbcodierte Oberflächentemperatur eines kleinen Tales und der Siedlung

Brand in der Nähe von Aachen. Kleinräumige Unterschiede der Oberflächentemperatur von 20 K, wie hier gezeigt,

sind auch in Mitteleuropa nicht ungewöhnlich.

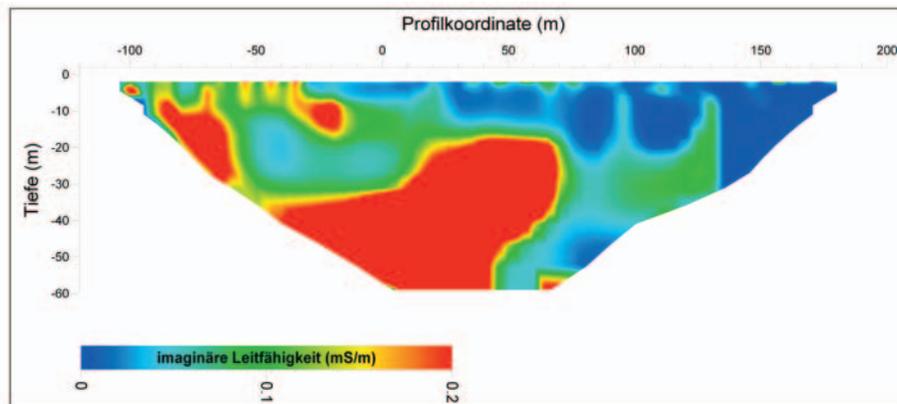


Bild 2: Zweidimensionale Verteilung der imaginären Leitfähigkeit farbcodiert unterhalb eines Messprofils. Anhand dieses

Parameters kann die Bodenart unterschieden werden. Die Grenze zwischen Sand und Schluff/Ton liegt etwa bei

0.1 mS/m, grüne Farbe. Ton ist hier rot, Sand blau dargestellt.

pen entwickeln Wissenschaftler der RWTH Aachen am Institut für Makromolekulare Chemie sowie am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik und Geothermie, in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Jülich neue Methoden, mit denen sich Speicher- und Transporteigenschaften von Böden vor Ort schnell und einfach bestimmen lassen. Forscher der Universität Köln gleichen diese Messwerte dann mit Satellitendaten ab. Wie wichtig der Aspekt Bodenfeuchte beispielsweise für Wettervorhersagen ist, weiß jeder, der Küsten- und Kontinentalklima vergleicht: Wasser ist ein sehr guter Wärmespeicher – Grund für die milden Winter an den Küsten.

Auch feuchte Böden speichern daher Wärme viel besser als trockene, versorgen aber auch die Atmosphäre mit dem Grundstoff für Regen. Nicht nur die Bodenfeuchte, sondern auch die Art der Vegetation, also ob es sich um ein Feld, einen Wald oder gar um eine Stadt – mit größtenteils versiegelten Flächen – handelt, beeinflusst das lokale Klima. Dass dies zu starken kleinräumigen Temperaturunterschieden führen kann, spürt man deutlich am Abend nach einem heißen Sommertag, wenn man aus der „heißen Stadt“ in den „kühlen Wald“ kommt. Die Arbeitsgruppe Physische Geographie und Klimatologie der RWTH Aachen entwickelt Ansätze, wie diese

kleinräumigen Temperaturvariationen in grobskaligere Klimamodellierungen einfließen können, wie sie beispielsweise für Wettervorhersagen gemacht werden. Dabei kommen unter anderem Thermalscannerdaten zum Einsatz. Das sind Infrarotaufnahmen, die die Oberflächentemperatur wiedergeben, siehe Bild 1.

Neben der Oberflächentemperatur und der Bodenfeuchte gilt das Interesse der Forschung in Aachen auch dem Wassertransport im Boden, der wiederum von der Bodenfeuchte, aber auch von der Bodenstruktur – zum Beispiel bedingt durch die Bodenart – abhängt. Diese Größen bestimmen, ob Wasser durch den Boden trans-

# Klima beeinflusst



*Bild 3: Am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik und Geothermie im E.ON Energy Research*

*Center werden Methoden entwickelt, mit denen der Wassergehalt und die Permeabilität von*

*Böden bildgebend im Gelände bestimmt werden können. Foto: Peter Winandy*

51

portiert oder in ihm gespeichert wird, und damit auch, welcher Anteil des Niederschlags ins Grundwasser gelangt. Auch wie viel Wasser für Pflanzen zur Verfügung steht und wie viel Wasser verdunstet, hängt von der Bodenfeuchte und -struktur ab. Zwar ist es möglich, diese Größen punktuell und an Proben im Labor zu bestimmen, nicht aber ihre räumliche Verteilung im Feldmaßstab. Dafür sollen Verfahren zur Auswertung von NMR-, kurz für nuklearmagnetische Resonanz, und EIS-Messungen, die elektrische Impedanzspektroskopie, entwickelt werden. Die Messsignale beider Methoden hängen hauptsächlich von der Bodenfeuchte und -struktur ab, so

dass diese Zielgrößen aus den physikalischen Messungen abgeleitet werden sollen. Die Methoden können ähnlich wie bei der aus der Medizin bekannten Röntgentomographie als bildgebende Verfahren eingesetzt werden und somit die räumliche Heterogenität in Böden abbilden, aber auch zur Beobachtung zeitlicher Variationen, beispielsweise nach Regen, genutzt werden.

Ein Beispiel für die Unterscheidung der Bodenart anhand elektrischer Messungen zeigt Bild 2, wo die Verteilung der imaginären Leitfähigkeit unterhalb eines Messprofils abgebildet ist. Laboruntersuchungen haben ergeben, dass die imaginäre Leitfähigkeit mit der

Korngröße und damit mit der Bodenart korreliert. Daraus folgt, dass anhand der imaginären Leitfähigkeit zum Beispiel zwischen wassergesättigtem Sand und Ton unterschieden werden kann.

Letztendlich soll ein besseres Verständnis des Wassertransports im Boden sowie des Einflusses der Vegetation auf das lokale Klima zu einer verbesserten Berechnung der Prozesse an der Atmosphärenunterkante und damit zu genaueren Wetter- und Klimaprognosen beitragen.

[www.meteo.uni-bonn.de/projekte/tr32-wiki/doku.php/home](http://www.meteo.uni-bonn.de/projekte/tr32-wiki/doku.php/home)

### **Autoren:**

Dr.rer.nat. Norbert Klitzsch ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Angewandte Geophysik und Geothermie am E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen.

Dr.phil. Gunnar Ketzler ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geographischen Institut der RWTH Aachen.

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Clemens Simmer ist Sprecher des Transregio 32 „Pattern in Soil-Vegetation-Atmosphere Systems: Monitoring, Modelling, and Data Assimilation“ und Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine und Experimentelle Meteorologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Wie wirken Menschen und Werkzeuge bei der Entwicklung von komplexen Produkten zusammen? Wie ist die Vernetzung und die gegenseitige Abhängigkeit aller beteiligten Komponenten in einem Entwicklungsvorgang zu beschreiben? Und wie lassen sich die vielfältigen Beeinflussungen im Laufe eines solchen Entwicklungsprozesses abbilden? Diesen Fragen gingen Informatiker und Verfahrenstechniker im Sonderforschungsbereich 476 „Informatische Unterstützung übergreifender Entwicklungsprozesse in der Verfahrenstechnik“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft nach. „Das gesteckte Ziel lautete, Entwicklungsprozesse zu verstehen und sie dadurch signifikant zu verbessern“, erläutert Professor Manfred Nagl vom Lehrstuhl für Informatik 3 als Sprecher des Sonderforschungsbereichs. „Die intensive Arbeit in den Jahren von 1997 bis 2006 verhalf uns zu einem vertieften Verständnis dieser Prozesse - nicht nur in der Verfahrenstechnik, sondern auch für andere Bereiche.“ Die Ergebnisse werden nunmehr im Transferbereich 61 „Neue Konzepte und Werkzeuge für die Verfahrenstechnik-Praxis“ in den unternehmerischen Alltag übertragen.

52

Die Vorarbeiten zu dem Sonderforschungsbereich begannen schon im Jahr 1981 mit Untersuchungen zur Software-Entwicklung. 1990 wurde zusätzlich an je zwei Lehrstühlen der Informatik und des Werkzeugmaschinenlabors eine DFG-Forschergruppe ins Leben gerufen, die sich speziell der Untersuchung von Entwicklungsprozessen in der Fertigungstechnik widmete. Dies erwies sich als ideale Voraussetzung für die Einrichtung des Sonderforschungsbereichs 476.

Insgesamt sechs RWTH-Institute, der Lehrstuhl für Prozesstechnik, das Institut für Kunststoffverarbeitung, das Institut für Arbeitswissenschaft aus dem Maschinenbau sowie die Lehrstühle für Informatik 3, 4 und 5 mit rund 30 wissenschaftlichen Mitarbeitern, konzentrierten sich in den Folgejahren mit einem Gesamtfördervolumen von neun Millionen Euro auf dieses Thema. Im Fokus stand dabei vor allem die Analyse von Entwicklungsprozessen, um aus der Kenntnis der Abläufe Verbesserungspotenziale abzuleiten. Diese Be-

trachtung erfolgte auch modellbasiert unter Berücksichtigung aller Entwurfkomponenten. Dabei fanden die Aachener Forscher unter anderem neue Simulationsansätze, um die komplexen Wechselwirkungen eines iterativen Vorganges adäquat zu beschreiben. Die Schwierigkeit bestand vor allem darin, die im Entwicklungsprozess stattfindenden Fehlererkennungen, Umorientierungen oder Neujustierungen in ein Modell zu übertragen. Die Vielzahl der Einflussmöglichkeiten – zum Beispiel auch wie bewährtes Erfahrungswissen in die Entwicklung integriert wird – machte die Aufgabe so anspruchsvoll und vielfältig: Neben der Informatik und der Verfahrenstechnik, an deren Beispielen die Problematik analysiert wurde, war auch die Arbeitswissenschaft eingebunden.

Bei der eingehenden Betrachtung der Konsistenz zwischen verschiedenen Entwicklungsergebnissen wurde auch deutlich, welchen Stellenwert die multimediale direkte Kommunikation für einen Entwicklungsprozess einnimmt. Dessen Gestaltung widmeten die Aachener Wissenschaftler besonderes Augenmerk und kamen in der Folge zu der Überzeugung, dass allein dynamisches Management in der Lage ist, die kreativen Wechselwirkungen von Entwicklern zu organisieren. Vielerlei neuartige Werkzeuge wurden realisiert, Werkzeugintegrations-Plattformen für Daten und Rechnerprozesse wurden dabei eingesetzt. Die Architektur des Werkzeugverbunds erlaubte auch die a posteriori-Integration bestehender Werkzeuge. Mit den Werkzeugen können während des Entwicklungsprozesses parallel unterschiedliche Alternativen berechnet und bewertet werden.

## Wie werden Produkte

# und Prozesse optimal entwickelt?

„Auch wenn sich unsere Analysen vor dem Hintergrund verfahrenstechnischer Abläufe abspielen und hier ihre konkreten Anwendungen finden,“ so Professor Nagl, „so lassen sich doch eine Menge grundsätzlicher Aussagen für andere Bereiche ableiten.“ Dies macht die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs auch so unternehmensrelevant – auch jenseits der Prozesstechnik. Im Transferbereich 61, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft bis 2009 als Anschlussprojekt finanziert, finden sich deshalb Firmen wie Degussa, Bayer, innotec, aber auch die AMB Informatik. Dieser Transferbereich unterteilt sich in fünf Projekte:

- T1: Integrierte Informationsverarbeitung
- T3: Simulationsgestützte Optimierung der Organisation von Entwicklungsprozessen
- T5: Konsistenzsicherung verfahrenstechnischer Entwicklungen
- T6: Dynamisches Prozessmanagement und
- T7: Service-orientierte Anwendungsintegration.

„Auf diesem Wege vermitteln wir unsere Ergebnisse über Methoden und Werkzeuge in die betriebliche Praxis“, so Nagl. Aus seiner Sicht ergeben sich daraus auch konkrete Veränderungen in den Firmen. „Wir verfügen zwar noch nicht über ein endgültiges Ergebnis und viele Antworten haben neue Fragen provoziert. Doch dem optimalen Entwicklungsprozess und damit einer Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sind wir ein Stück näher gekommen.“

**[www-i3.informatik.rwth-aachen.de/sfb476](http://www-i3.informatik.rwth-aachen.de/sfb476)**

**Autor:**  
Toni Wimmer ist Leiter der Pressestelle.

# Bessere Werkstoffe durch Langwierige Erprobungsphase bei der Werkstoffentwicklung soll künftig entfallen

Anfang 2006 haben sich zehn RWTH-Institute und 16 Industriepartner zu einem dreijährigen Transferbereich 63 „Praxisrelevante Modellierungswerkzeuge“ zusammengefunden, um in fünf unabhängigen Projekten praxisnahe Simulation im Industrieumfeld zu entwickeln und auf Verwendbarkeit zu testen. Die zuvor im Sonderforschungsbereich „Integrative Werkstoffmodellierung“ gewonnenen Erkenntnisse und Computerprogramme für die Anwendung in der Industrie sollen im Rahmen des Transferprogramms geprüft werden. Der Sonderforschungsbereich 370 „Integrative Werkstoffmodellierung“ lief Ende 2005 nach zwölf Jahren Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft aus. Ziel war die durchgängige Berechnung der Eigenschaften eines Werkstoffs während seines Herstellungsprozesses auf der Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten. Dadurch sollte die bisher übliche empirische Beschreibung von Werkstoffeigenschaften, die bei jeder Änderung der Werkstoffzusammensetzung oder der Prozessbedingungen zu aufwändigen und daher teuren Messreihen zwecks Ermittlung der empirischen Konstanten führt, abgelöst werden. An ihre Stelle sollte eine Modellierung treten, die es erlaubt, Prognosen über das Werkstoffverhalten während des Herstellungsprozesses und über die Eigenschaften des Bauteils am Ende der Fertigungskette für beliebige chemische Zusammensetzung und Prozessführung abzugeben. In der letzten Phase des Sonderforschungsbereichs wurde an ausgewählten Werkstoffen und Prozessketten gezeigt, dass eine solche Prognose prinzipiell möglich ist und sinnvolle Ergebnisse liefert. Diese Information ist für die Werkstoffindustrie von höchstem Interesse, da auf diese Weise die teure und langwierige Erprobungsphase bei der Werkstoffentwicklung durch Computersimulation ersetzt werden kann. Damit können Kosten und Zeit eingespart und somit die Konkurrenzfähigkeit speziell ge-

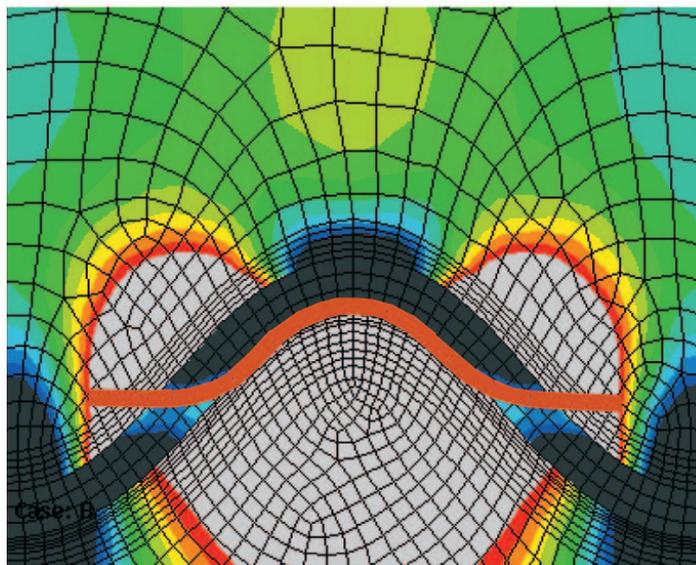


Bild 1: Simulation der Temperaturspannungen in einer Wärmedämmschicht.

genüber Billiglohnländern ganz erheblich gesteigert werden.

Im Teilprojekt 1 des Transferbereichs „Praxisrelevante Modellierungswerkzeuge“ wird in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Eisenhüttenkunde, dem Gießerei-Institut, ACCESS e.V. und der Stahlindustrie die Heißduktilität nach der Erstarrung verschiedener Stahlsorten modelliert, um schädliche Heißrisse zu vermeiden. Dazu wird die Mikrostruktur des erstarrten Gusskörpers simuliert und auf Neigung zur Rissbildung evaluiert. Dabei sollen Prozessbedingungen gefunden werden, bei denen Heißrisse ausgeschlossen werden können.

Im Teilprojekt 2 geht es um Prozessmodelle, Werkstoffmodelle und Simulationsmethoden zur Optimierung beschichteter

Gasturbinenschaufeln aus Nickel-Basislegierungen. Das Institut für Oberflächentechnik, der Lehrstuhl für Werkstoffchemie und das Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik des Forschungszentrums Jülich kooperieren mit vier Industriepartnern, unter anderem Siemens und MTU, um die Lebensdauer der kompliziert beschichteten Schaufeln zu verlängern, das heißt, Schädigung unter Betriebsbedingungen zu minimieren.

Um das Umform- und Rekristallisationsverhalten reiner, gezielt dotierter Aluminiumlegierungen, die in einer Vielzahl von Anwendungen, beispielsweise in der Druckindustrie benötigt werden, geht es in Teilprojekt 3. Hier arbeiten das Institut für Metallkunde und Metallphysik, das Institut für

Bildsame Formgebung mit Hydro Aluminium Deutschland zusammen. Die empfindliche Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften von der Mikrostruktur, die durch die Prozessführung stark beeinflusst wird, erfordert eine hochpräzise Simulation der physikalischen Vorgänge während des Herstellungsprozesses.

Mit acht Industriepartnern arbeiten das Institut für Eisenhüttenkunde und das Institut für Schweißtechnische Fertigungsverfahren im Teilprojekt 4 an der Prognose von Schweißnahteneigenschaften bei Stählen. Schweißnähte sind stets kritische Stellen für Werkstoffversagen, so dass der Prognose von Zähigkeit und Verzug hohe Bedeutung zukommt.

Im Teilprojekt 5 des Transferbereiches bearbeiten das

# Simulation

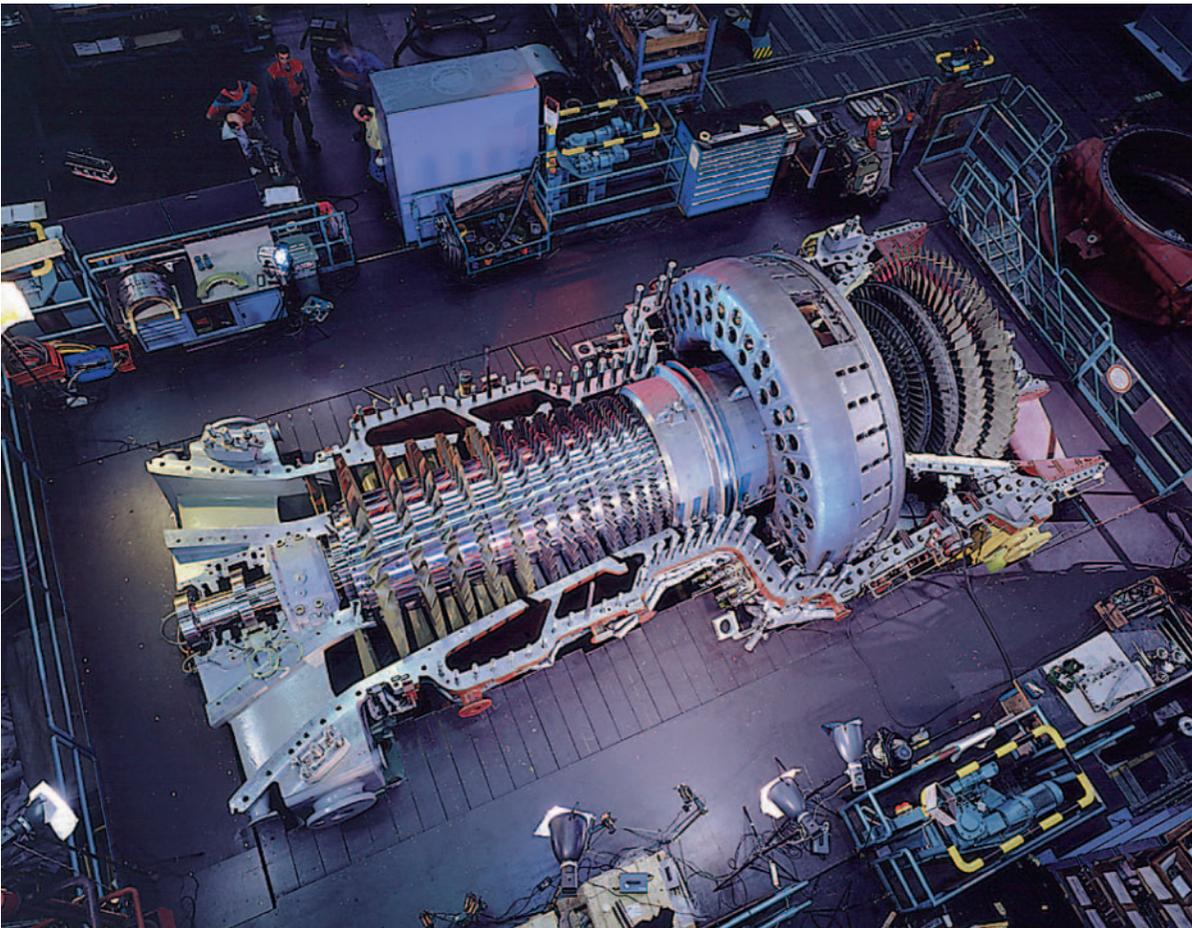


Bild 2: Gasturbine.  
Quelle: Alstom

Gießerei-Institut und der Lehrstuhl für Werkstoffchemie zusammen mit zwei Industriepartnern die Gefügesimulation von Eisengusskörpern, um deren mechanische Eigenschaften für vorgesehene Betriebsbedingungen zu optimieren. Dazu sind komplexe Berechnungen zur Thermodynamik und Kinetik der Erstarrung erforderlich.

Bisher wurden wesentliche Fortschritte erzielt, akademisch generierte Forschungsergebnisse im industriellen Umfeld zu etablieren. In zwei Jahren zeigen die Ergebnisse, ob der erwartete Durchbruch industrieller Werkstoffentwicklung gelungen ist.

**Autor:**  
Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Günter Gottstein ist Sprecher des Transferbereichs 63 „Praxisrelevante Modellierungswerkzeuge“ und Leiter des Instituts für Metallkunde und Metallphysik.

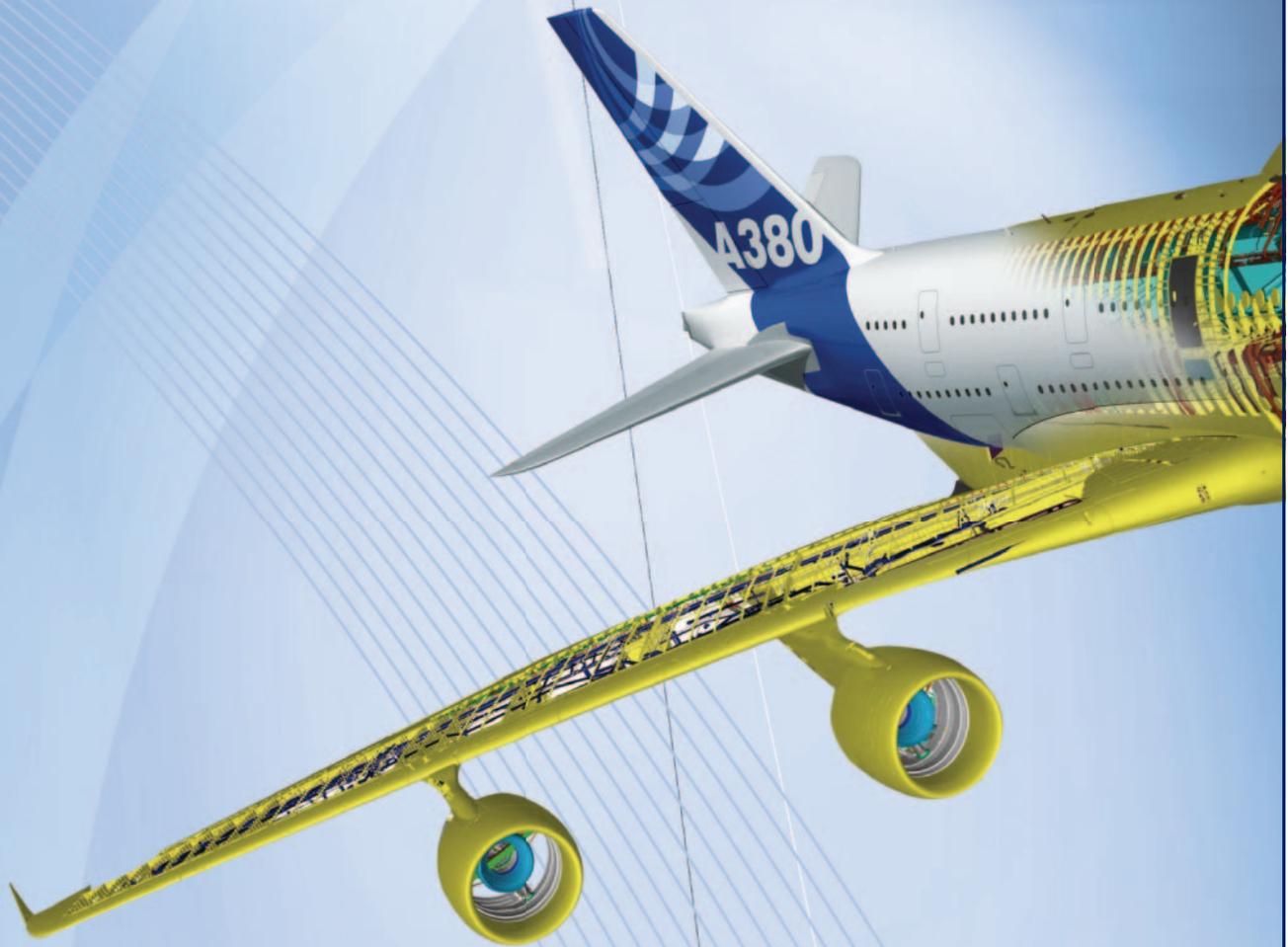
<http://lx1.imm.rwth-aachen.de/tfb63/html/>



*Bild 3: Simulationswerkzeuge zur virtuellen Herstellung neuer Werkstoffe werden am Institut für Metallkunde und Metallphysik entwickelt. Dadurch sollen künftig zweckoptimierte Werkstoffe schneller und kostengünstiger bereitgestellt werden.  
Foto: Peter Winandy*







# Unser Fortschritt, Ihr Talent.

Wir starten.

Pioniergeist ist die Quintessenz unserer Geschichte, Freiraum für Ihre Ideen die Grundlage unseres gemeinsamen Erfolgs. Gestalten Sie zusammen mit weltweit anerkannten Experten die Zukunft der Luftfahrt. Kommen Sie zu Airbus.

[www.airbus-careers.com](http://www.airbus-careers.com)  
**Airbus. Setting the standards.**



Airbus, its logo and product names are registered trademarks.



SFB