



**Fraunhofer** Institut  
Techno- und  
Wirtschaftsmathematik

# Jahresbericht 2005



## Impressum

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2006

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Herausgebers ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus in irgendeiner Form durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren zu reproduzieren oder in eine für Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache zu übertragen. Dasselbe gilt für das Recht der öffentlichen Wiedergabe.

Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Der Herausgeber bedankt sich bei allen Kooperationspartnern für die Bereitstellung der entsprechenden Bilder.

Fotografie	Fotos Mitarbeiter: Dietmar Portuné, Mannheim, Telefon: 0621/1 6625 15 Fotos Fraunhofer-Zentrum: Gesa Ermel, Steffen Grützner, Rafael Velasquez Foto Seite 111: FCC Göteburg
Adresse	Fraunhofer-Platz 1 67663 Kaiserslautern
Telefon	+49(0)6 31/3 1600-0
Fax	+49(0)6 31/3 1600-1099
E-Mail	info@itwm.fraunhofer.de Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erreichen Sie unter: <familienname>@itwm.fraunhofer.de
Internet	www.itwm.fraunhofer.de
Redaktion und Gestaltung	Ilka Blauth Gesa Ermel Steffen Grützner Marion Schulz-Reese
Druck	Faber Druck GmbH Kaiserslautern

Dieser Jahresbericht erscheint auch in englischer Sprache.

Jahresbericht 2005

Fraunhofer-Institut für Techno-  
und Wirtschaftsmathematik ITWM



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>	Optimierung im Virtual Engineering	69
<b>Das Institut im Profil</b>	<b>6</b>	Krankenhauslogistik	71
Kompetenzen und Arbeitsschwerpunkte	7	Supply Chain Management und Verkehrsplanung	73
Kunden und Kooperationspartner	8	Materialflussplanung und Produktionssteuerung	74
Kuratorium	9	Knowledge-Management und E-Commerce	76
Organigramm	9	<b>Finanzmathematik</b>	<b>78</b>
Das Institut in Zahlen	10	Optionsbewertung	79
Zehn Jahre ITWM	12	Kreditderivate	81
2005 im Rückblick	13	Zinsmodelle	83
Josef-von-Fraunhofer-Preis	14	Kreditrisiko	84
Einweihung des Fraunhofer-Zentrums Kaiserslautern	15	Portfolio-Optimierung	85
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	16	<b>Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit</b>	<b>88</b>
<b>Transportvorgänge</b>	<b>18</b>	Simulation nachgiebiger Strukturen	89
Fluid-Struktur-Interaktion	19	Finite-Element-Berechnungen und Mehrkörpersimulation	90
Gitterfreie Methoden	23	Simulation mechatronischer Systeme	92
Strahlungstransport und Parameter- identifikation	25	Gießsimulation	94
Kontinuumsmechanische Produkt- und Prozessauslegung	27	<b>Competence Center High Performance Computing</b>	<b>96</b>
<b>Strömungen und komplexe Strukturen</b>	<b>30</b>	Grid Computing	97
Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign	31	Parallelisierung und Performance-Analyse	98
Hydrodynamik	34	Visualisierung	100
Komplexe Fluide	36	Molekulares Materialdesign	102
Strukturoptimierung in Mechanik und Akustik	38	Forschungslab	
<b>Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung</b>	<b>42</b>	Distributed Computing: Lustre	104
Analyse von Volumenbildern und Modellierung von Mikrostrukturen	43	<b>Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC</b>	<b>106</b>
Oberflächeninspektion	46	Geometrie und Bewegungsplanung	107
Signalanalyse im Eisenbahnbereich	49	Materialermüdung und Belastungsanalyse	108
Szenenanalyse und Stereo-Sehen	51	Computational Electromagnetics	109
<b>Adaptive Systeme</b>	<b>54</b>	Bioinformatik und Systembiologie	110
CAD für Analogschaltungen	55	<b>Anhang</b>	<b>112</b>
Monitoring und Regelung	57	Vorträge	112
Biosignalverarbeitung und Diagnoseunterstützung	59	Lehrtätigkeit	115
Prognose von Material- und Produkteigenschaften	61	Publikationen	116
Multiskalen-Strukturmechanik	63	Graduierungsarbeiten	118
<b>Optimierung</b>	<b>66</b>	Messe- und Konferenzteilnahmen	119
Interaktive Therapieplanung	67	Gäste	121
		Mitarbeit in Gremien, Herausgebertätigkeit	122

# Vorwort

Rechtzeitig zu seinem zehnjährigen Jubiläum ist das ITWM Ende 2005 in ein neues Gebäude im Fraunhofer-Zentrum Kaiserslautern eingezogen – zusammen mit dem Fraunhofer IESE. Es ist ein phantastisches Zentrum gebaut worden, in das viel Geld investiert wurde, von der Fraunhofer-Gesellschaft, der EU, vom Land Rheinland-Pfalz, vom BMBF und der Stadt Kaiserslautern. Aber es ist nicht das Geld alleine, man kann mit viel Geld auch hässliche Betonburgen bauen. Genauso wichtig war die Kreativität der Architekten und Planer: Sie haben eine großartige Verbindung von Ästhetik und Funktionalität geschaffen. Ein Gebäude, das in vielerlei Hinsicht zukunftsweisend ist: eine schöne, elegante und transparente Architektur, ein Haus, das Kommunikation anbietet und sogar fordert, eine Umgebung, in der Forschung Spaß macht, ein Zentrum, das die TU Kaiserslautern aufwertet, ein Vorzeigeobjekt für die Stadt Kaiserslautern, ein Gebäude, das den Menschen in dieser Stadt Mut macht und auch für die Fraunhofer-Gesellschaft eine hervorragende Visitenkarte ist, ein Gebäude, das die Innovation und Kreativität der Fraunhofer-Forschung widerspiegelt. Aber auch ein Gebäude, in dem sich die Mitarbeiter sichtlich wohl fühlen, und dessen vielfältige Detailstrukturen für ein interessantes Gesamtbild sorgen, wie Sie an unserer Bebilderung sehen können.

Vor zehn Jahren sah alles natürlich noch ganz anders aus: eine Arbeitsgruppe, damals noch relativ klein und auf verschiedene Standorte auf dem Campus der TU verteilt. Niemand hat im ITWM-Gründungsjahr 1995 daran geglaubt, dass sich aus den Keimzellen der Techno- und Wirtschaftsmathematik an der Universität in so kurzer Zeit ein großes und erfolgreiches Fraunhofer-Institut für Mathematik entwickelt würde. Unsere Vision, Mathematik ein Stück aus den Elfenbeintürmen und den Kathedralen der reinen Wissenschaft abzuholen und

zu einer Schlüsseltechnologie für Innovation in Technik und Wirtschaft zu machen, traf nicht immer auf ungeteilte Zustimmung. Die Warnungen gingen in die Richtung »Moderne Technologie braucht zwar Mathematik, aber keine Mathematiker, das richten schon die Ingenieure und die Naturwissenschaftler«. Inzwischen sind die Skeptiker verstummt und die Vision ist ein gutes Stück Realität geworden. Seit seiner Gründung hat das ITWM für über 45 Millionen Euro Projekte eingeworben. Allein in den letzten drei Jahren haben die Mitarbeiter – und das sind zu 80 % Mathematiker – über 300 Projekte erfolgreich bearbeitet, die weitaus überwiegende Zahl davon mit der Industrie.

Aus anfangs 26 Mitarbeitern ist heute eine Mannschaft von 150 Mitarbeitern und Doktoranden geworden, die im nächsten Jahr einen Haushalt von über 11 Millionen Euro stemmen wird; über die Hälfte davon wird aus Industrieprojekten finanziert sein. Damit gehört das ITWM weltweit zu den größten Instituten im Bereich der angewandten und industrieorientierten Mathematik.

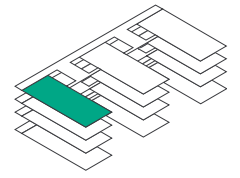
Die Industrie schätzt und benötigt die Modellierungskompetenz, die Algorithmen und die Softwareprodukte des ITWM. Hohe Wirtschaftserträge, gepaart mit einer starken Forschungsorientierung – allein 40 Doktoranden machen zur Zeit ihre Dissertation im Institut – bilden die Basis für nachhaltigen Erfolg und kontinuierliches Wachstum. Dass der Fachbereich Mathematik einer relativ kleinen Universität in den letzten Jahren in den Standortrankings immer vordere Plätze eingenommen hat, dazu hat sicherlich auch der gute Ruf des ITWM beigetragen.

Das alles beruht natürlich entscheidend auf der Kompetenz und dem Einsatz der ITWM-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Trotz der restriktiven Rahmenbedingungen des BAT haben viele her-

vorragende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter den finanziellen Verlockungen der Industrie widerstanden und sind im Institut geblieben. Ihr Wissen und die hohe Identifikation mit ihrer Arbeit – das ist die eigentliche Basis des Erfolgs. Dazu hat sicherlich ein gutes Betriebsklima mit hoher Autonomie und Selbstständigkeit der Mitarbeiter, dezentralen Strukturen, wenig Reibung durch Hierarchien und ein Klima gegenseitiger Achtung und Anerkennung entscheidend beigetragen. Wenn Sie heute das ITWM besuchen, werden Sie überall Engagement, Neugierde und Vitalität spüren. Offene Türen, klingelnde Telefone, diskutierende Arbeitsgruppen, gut gekleidete Herren und Damen in wichtigen Besprechungen genauso wie eher zerstreut wirkende, prototypische Mathematiker, die Tafeln beschreiben oder ihre Computer bearbeiten, viele junge Leute, ein bunter Nationenmix. Die internationale Ausrichtung des Instituts ist uns sehr wichtig.

In Göteborg wurde in den letzten Jahren als Joint Venture zwischen der Chalmers Technical University und dem ITWM das Fraunhofer Chalmers Centre for Industrial Mathematics (FCC) erfolgreich aufgebaut. Heute arbeiten dort 25 Mitarbeiter und das FCC hat sich zu einem renommierten Zentrum für »Industrial Mathematics« in Schweden entwickelt.

Das ITWM spannt mit seinen Projekten einen weiten Bogen von Low-tech- zu High-tech-Firmen, von KMU zur Großindustrie, von regionalen Firmen zu Kunden in Europa und Übersee. Die regionale Verankerung ist für uns dabei ganz wichtig. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei der Bedarf an Simulationssoftware. Simulationen machen komplexe Prozesse überschaubar und Unsichtbares sichtbar. Teure und zeitaufwändige Experimente können durch Simulationen ersetzt werden. Wenn man es etwas provokanter formulieren will,



könnte man in Anlehnung an »Ein Bild sagt mehr als tausend Worte« auch formulieren: »Ein gutes Simulationsprogramm gewährt mehr Einsichten als tausend Experimente«.

Auf der Hardware-Seite kommt Unternehmen mit beschränkteren finanziellen Ressourcen natürlich entgegen, dass Rechenleistung immer günstiger gekauft werden kann. Nicht die Investitionen in neue Computer, sondern die vergleichsweise teure Software bildet hier eher noch einen Bottle-neck. Ein sehr schönes Beispiel für die Zusammenarbeit mit einem mittelständischen Unternehmen ist ein kürzlich begonnenes Projekt mit der Firma Paul Wild GmbH in Idar-Oberstein, in dem das ITWM die Software für die Steuerung einer Anlage entwickelt, bei der Roboter die seit Jahrhunderten nahezu unveränderten handwerklichen Prozesse des Schleifens und Polierens von Edelsteinen ersetzen sollen.

Natürlich arbeiten wir auch in sehr vielen Projekten mit großen Firmen zusammen. Ein Beispiel ist die ITWM-Visualisierungssoftware PV-4D, mit der extrem große Datenmengen in anschauliche Animationen umgesetzt werden können. Im Oktober hat Carsten Lojewski hierfür den Fraunhofer-Preis erhalten, auf der SuperComputing 2005 in Seattle wurde diese Software von IBM für die Weltpremiere ihres neuen Cell-Processors ausgewählt.

Manchmal werden wir gefragt, ob das, was wir am Institut tun, einen direkten Nutzen für den Verbraucher hat. Sicherlich einen indirekten. Der Verbraucher kauft Produkte, denen man natürlich nicht ansieht, ob sie mit Hilfe von Simulationen entwickelt und hergestellt wurden. Simulation wird jedoch zunehmend zu einem Qualitätsmerkmal; diskutiert wird z. B., durch Labels wie »developed by simulation« oder »simulation based« Produkte attraktiver zu

machen. Das kann sich beziehen auf größere Verlässlichkeit, Ausfallsicherheit oder Robustheit. Neue Materialien, die umwelt- und verbraucherfreundlicher sind, werden zunehmend mithilfe von Simulationen gefunden und hergestellt. Und last not least können Produkte billiger werden, weil die Firmen durch Einsatz von Simulationssoftware kostengünstiger produzieren können.

Was haben wir uns für die Zukunft vorgenommen? Eigentlich nichts besonders Sensationelles: die Forschung weiter intensivieren und exzellente Doktoranden ausbilden, neue Themen mit der Industrie angehen, die Zusammenarbeit mit Firmen der Region weiter verstärken, unsere Europaaktivitäten durch neue Kooperationen ausbauen, stärker in die Vermarktung von Software-Produkten investieren (und auf eine MP3-Erfolgsstory hoffen), in kontrolliertem Rahmen Ausgründungen angehen und auch verstärkt versuchen, Firmen für eine Ansiedlung in Kaiserslautern zu gewinnen. Die Region braucht neue wirtschaftliche Impulse und die Fraunhofer-Institute können dazu einen beachtlichen Beitrag leisten.

Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters, Institutsleiter



# Das Institut im Profil

Computersimulationen sind zum unverzichtbaren Werkzeug bei der Gestaltung und Optimierung von Produkten, Dienstleistungen, Kommunikations- und Arbeitsprozessen geworden.

Reale Modelle werden durch virtuelle Modelle ersetzt. Die Mathematik bildet dabei als Rohstoff der Modelle und als Schlüsseltechnologie für Computersimulationen das Fundament für den Brückenschlag in diese zweite Welt – die Simulationswelt –, die in nahezu allen Bereichen der Gesellschaft und Wirtschaft Fuß gefasst hat. Im enormen Wettbewerbsdruck nutzen auch immer mehr kleine und mittelständische Unternehmen Simulation zur Kostenreduzierung. Gerade diese Unternehmen, die oft nur kleine FuE-Abteilungen haben, unterstützt das Fraunhofer ITWM mit Beratung und Rechenleistung. Und diese Unternehmen profitieren am Markt durch den Einsatz von Simulationen als Ausweis von Innovation und Qualitätssicherung ihrer Produkte.

Natürlich arbeiten wir auch mit großen Firmen zusammen, vor allem im Fahrzeugbereich, im Maschinenbau, der Textilindustrie, der Mikroelektronik, mit Banken und der Computerindustrie, um nur einige Branchen zu nennen.

Mission und Aufgabe des ITWM ist es, anspruchsvollen Herausforderungen in Technik, Logistik, Kommunikation und Finanzwesen durch Anwendung moderner mathematischer Methoden zu begegnen, die angewandte Mathematik durch innovative Anstöße weiterzuentwickeln und gemeinsam mit Industriepartnern praktisch umzusetzen. Integrale Bausteine dieser Umsetzung sind Beratung in FuE-Fragen, Unterstützung bei der Anwendung von Hochleistungsrechnertechnologie und Bereitstellung maßgeschneiderter Software-Lösungen.

Das ITWM will nicht nur die Brücke zwischen realer und virtueller Welt bauen,

sondern auch Bindeglied zwischen der Hochschulmathematik und ihrer praktischen Umsetzung sein. Deshalb ist für das ITWM die enge Anbindung an den Fachbereich Mathematik der Technischen Universität Kaiserslautern von zentraler Bedeutung.

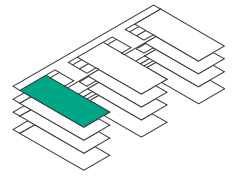
Das Fraunhofer ITWM ist eine der führenden Anlaufstellen für Mathematik in der Industrie. Diese Position wollen wir stärken und ausbauen.

**Ansprechpartnerin:**  
Dr. Marion Schulz-Reese  
Verwaltungsleiterin

☎ 06 31/3 16 00-45 12

✉ marion.schulz-reese@itwm.fraunhofer.de





## Transportvorgänge

- Fluid-Struktur-Interaktion
- Gitterfreie Methoden
- Strahlungstransport und Parameteridentifikation
- Kontinuumsmechanische Produkt- und Prozessauslegung

## Strömungen und komplexe Strukturen

- Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign
- Hydrodynamik
- Komplexe Fluide
- Strukturoptimierung in Mechanik und Akustik

## Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung

- Analyse von Volumenbildern und Modellierung von Mikrostrukturen
- Oberflächeninspektion
- Signalanalyse im Eisenbahnbereich
- Szenenanalyse und Stereo-Sehen

## Adaptive Systeme

- CAD für Anlogschaltungen
- Monitoring und Regelung
- Biosignalverarbeitung und Diagnoseunterstützung

- Prognose von Material- und Produkteigenschaften
- Multiskalen-Strukturmechanik

## Optimierung

- Interaktive Therapieplanung
- Optimierung im Virtual Engineering
- Krankenhauslogistik
- Supply Chain Management und Verkehrsplanung
- Materialflussplanung und Produktionssteuerung
- Knowledge-Management und E-Commerce

## Finanzmathematik

- Optionsbewertung
- Kreditderivate
- Zinsmodelle
- Kreditrisiko
- Portfolio-Optimierung

## Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit

- Simulation nachgiebiger Strukturen
- Finite-Element-Berechnungen und Mehrkörpersimulation
- Simulation mechatronischer Systeme
- Gießsimulation

## Competence Center High Performance Computing

- Molekulardynamik
- Visualisierung
- Parallelisierung
- Benchmarking
- Grid Computing
- Cluster Computing

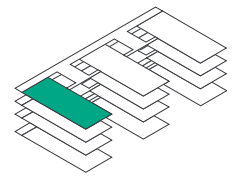
## Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC

- Geometrie und Bewegungsplanung
- Materialermüdung und Belastungsanalyse
- Computational Electromagnetics
- Bioinformatik und Systembiologie

# Kunden und Kooperationspartner

Das ITWM arbeitet seit Jahren mit Auftraggebern aus vielen Branchen mit unterschiedlicher Unternehmensgröße erfolgreich zusammen; im Jahr 2005 u. a. mit:

- Adam Opel AG, Rüsselsheim und Kaiserslautern
- ARNOLD & RICHTER Cine Technik, Stephanskirchen
- Audi AG, Ingolstadt
- BASF AG, Ludwigshafen
- Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin
- Biotronik GmbH, Berlin
- Blue Order AG, Kaiserslautern
- BMW AG, München und Landshut
- BorgTec Systemhaus GmbH, Dresden
- Cadence Design Systems GmbH, Feldkirchen
- COMEXAR Engineering AG, Lachen (Schweiz)
- DaimlerChrysler AG, Stuttgart
- Deutsche Apotheker- und Ärztebank, Düsseldorf
- Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern
- Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg
- Eberspächer GmbH & Co. KG, Esslingen
- EKF diagnostic sales GmbH, Barleben
- Elmo Leather AB, Svenljunga (Schweden)
- Energie-Control GmbH, Wien (Österreich)
- ESI-Group, Paris (Frankreich)
- Eurofilters AG, Overpelt (Belgien)
- Fachhochschulen Aschaffenburg, Darmstadt, Kaiserslautern, Landshut, Zwickau
- Faurecia, Sassenburg
- FCC Göteborg (Schweden)
- Freudenberg Vliesstoffe KG, Weinheim und Kaiserslautern
- FSM! GmbH, Landstuhl
- ganiMed GmbH, Villingen
- GE Global Research, München
- GE Transportation Systems, Bad Dürkheim
- Gebrüder Gienanth-Eisenberg GmbH, Eisenberg
- Gießerei-Institut Technische Universität Bergakademie Freiberg
- HegerGuss GmbH, Enkenbach-Alsenborn
- Hüttenes-Albertus, Chemische Werke GmbH, Düsseldorf
- HypoVereinsbank, München
- IBS Filtran GmbH, Morsbach
- Infineon Technologies AG, München
- Institut für spanende Fertigung, Universität Dortmund
- Institut für Verbundwerkstoffe IVW, Kaiserslautern
- Johnson Control GmbH, Burscheid
- Landesbank Baden-Württemberg, Stuttgart
- Landesbank Rheinland-Pfalz, Mainz
- Lima-Lto spa, Medical Systems, Villanova di San Daniele (Italien)
- Linux NetworX, Salt Lake City (USA) und Kaiserslautern
- MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen
- Mann + Hummel GmbH, Ludwigsburg
- Maschinenfabrik Rieter AG, Winterthur (Schweiz)
- Massachusetts General Hospital, Boston (USA)
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching
- MiniTec GmbH & Co KG, Waldmohr
- Mobotix AG, Kaiserslautern
- müllers büro, Erzenhausen
- NEUMAG GmbH, Neumünster
- Odenwald-Faserplattenwerke GmbH, Amorbach
- Paul Wild GmbH, partu lapidaries GmbH, Kirschweiler
- Procter & Gamble, Schwalbach im Taunus und Cincinnati (USA)
- ProTurbo Überwachungssysteme GmbH, Ratingen
- psb GmbH, Pirmasens
- Rayonex Schwingungstechnik GmbH, Lennestad
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart und Waiblingen
- Roche Diagnostics, Mannheim
- Römheld & Moelle, Mainz
- Ruck Ventilatoren GmbH, Boxberg
- RWE Power AG, Biblis
- Saint-Gobain, Auberville (Frankreich)
- SAP AG, Walldorf
- Schott Glas, Mainz
- Shell International, Den Haag (Niederlande)
- SIEDA GmbH, Kaiserslautern
- Siemens AG (Medical Solutions OCS), Heidelberg, und Siemens AG (Power Generation), Mülheim
- Städtische Kliniken Frankfurt am Main-Höchst
- Stryker Leibinger GmbH, Freiburg
- Tehalit GmbH & Co. KG, Heltersberg
- Ultrafilter international AG, Haan
- Universitäten Freiburg, Graz, Hannover, Kaiserslautern, Karlsruhe
- Universitätskliniken Heidelberg, Homburg, Tübingen
- URSA International GmbH, Neu-Isenburg
- Verein Deutscher Gießereifachleute (VDG), Düsseldorf
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Zentrum für Europäische Wirtschaftsförderung, Mannheim
- ZF Lemförder Fahrwerktechnik, Lemförde
- Zimmermann Formtechnik GmbH, Weilerbach
- Horst Zimmermann Modell-/Formenbau, Kaiserslautern



Für das Kuratorium konnten namhafte Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik gewonnen werden. Dazu gehören:

Dr. Jürgen Amendinger  
Bayerische Hypo- und Vereinsbank AG,  
München

Prof. Dr. Peter Jagers  
Chalmers Tekniska Högskolan,  
Göteborg, Schweden

Dr. Werner Sack  
Hilti AG, Schaan, Liechtenstein

Prof. Dr. Achim Bachem  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e.V. DLR, Köln

Dr. Wilhelm Krüger  
tecmath AG, Kaiserslautern

Prof. Dr. Helmut Schmidt  
Präsident der Technischen  
Universität Kaiserslautern

Dr.-Ing. Erwin Flender  
MAGMA Gießereitechnologie, Aachen

Dr. Martin Kühn  
SAP AG, Walldorf

Dr. Jörg Steeb  
Tehalit GmbH & Co. KG, Heltersberg

Dr. Werner Groh  
Johns Manville Europe GmbH,  
Bobingen

Kurt Lechner  
Mitglied des Europäischen Parlaments,  
Kaiserslautern

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster  
Deutsches Forschungszentrum  
für Künstliche Intelligenz GmbH,  
Saarbrücken

Wolfgang Habelitz  
Ministerialrat im Ministerium für Wis-  
senschaft, Weiterbildung, Forschung  
und Kultur, Mainz

Dr. Ulrich Müller  
Leitender Ministerialrat im Ministerium  
für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft  
und Weinbau, Mainz

Prof. Dr. Wolfgang Hackbusch  
Max-Planck-Institut für Mathematik  
in den Naturwissenschaften, Leipzig

Dr. Bernd Reuse  
Ministerialrat im Bundesministerium  
für Bildung und Forschung, Bonn

## Organigramm

Institutsleitung	Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters	06 31/3 16 00-10 01	
Scientific Advisory Board	Prof. Dr. Axel Klar	06 31/3 16 00-44 17	
	Prof. Dr. Ralf Korn	06 31/3 16 00-46 58	
	Prof. Dr. Helmut Neunzert	06 31/3 16 00-43 10	
	Prof. Dr. Stefan Nickel	06 31/3 16 00-46 42	
Competence Center »High Performance Computing«	Dr. Franz-Josef Pfreundt (CIO)	06 31/3 16 00-44 59	
Zentrale Bereiche	Leitung	Dr. Marion Schulz-Reese	06 31/3 16 00-45 12
	EDV	Dieter Eubell	06 31/3 16 00-42 43
	Presse- und Öffentlichkeitsarbeit	Ilka Blauth	06 31/3 16 00-46 74
		Dipl.-Math. Steffen Grützner	06 31/3 16 00-44 00
Abteilungen	Transportvorgänge	Dr. Raimund Wegener	06 31/3 16 00-42 31
	Strömungen und komplexe Strukturen	Dr. Konrad Steiner	06 31/3 16 00-43 42
	Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung	Dr. Ronald Rösch	06 31/3 16 00-44 86
	Adaptive Systeme	Dr. Patrick Lang	06 31/3 16 00-46 39
	Optimierung	Priv.-Doz. Dr. Karl-Heinz Küfer	06 31/3 16 00-44 91
	Finanzmathematik	Prof. Dr. Ralf Korn	06 31/3 16 00-46 58
	Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit	Dr. Klaus Dreßler	06 31/3 16 00-44 66

## Haushalt

Auch 2005 hat das ITWM wieder kräftig zugelegt. Beim Betriebshaushalt betrug die Steigerungsrate 8 Prozent und bei den Wirtschaftserträgen sagenhafte 22 Prozent. Insgesamt konnte das ITWM 50 Prozent des betriebshaushaltes durch Industrieerträge finanzieren. Damit liegt das ITWM weiterhin ganz weit vorne im interen Fraunhofer-Ranking bei dem für den Erfolg eines Institutes entscheidenden Kriterium.

Die Entwicklung der öffentlichen Erträge bereitet jedoch nach wie vor Kopfzerbrechen. Da ging es in 2005 nämlich immer noch – wie befürchtet – abwärts. Insgesamt sanken in diesem Bereich die Erträge um weitere 15 Prozent, absolut um rund 300.000 EUR.

Doch damit scheint jetzt hoffentlich die »Talsole« erreicht zu sein. Schon jetzt sind im öffentlichen Bereich, auch beim BMBF, nicht unerhebliche Steigerungsraten für 2006 sichergestellt. Insbesondere konnte im rheinland-pfälzischen Exzellenzprogramm »Wissen schafft Zukunft«, das Mittel zur Förderung der Spitzenforschung an Universitäten und Forschungseinrichtungen zur Verfügung stellt, zusammen mit der TU Kaiserslautern ein prestigeträchtiges Exzellenzcluster und signifikante Fördermittel akquiriert werden. Insgesamt besteht also Hoffnung, dass mittelfristig eine Trendwende bei den öffentlichen Erträgen eingeläutet ist.

Sehr optimistisch wird jedoch die weitere Entwicklung der Wirtschaftserträge gesehen. Durch das breite

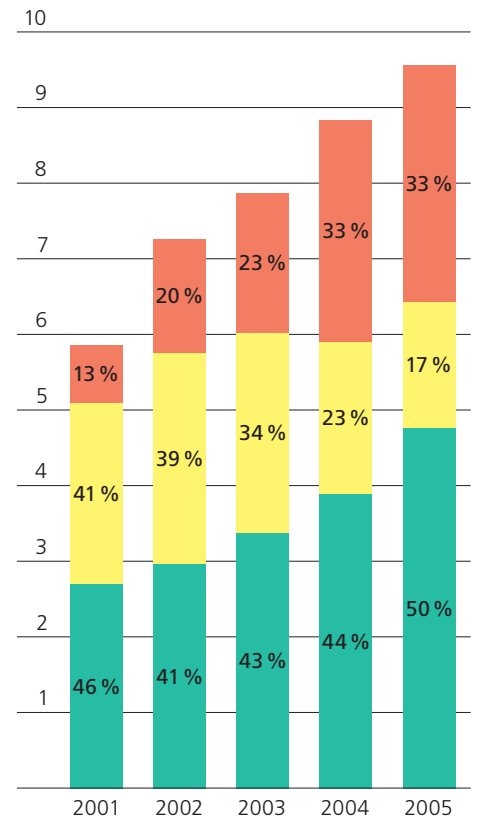
Kompetenzspektrum des ITWM konnten auch 2005 eine Vielzahl von neuen Kunden gewonnen sowie weitere Kooperationen mit langjährigen Industriepartnern eingegangen werden und damit eine signifikante Steigerung der Wirtschaftserträge erreicht werden. Alle Indizes weisen darauf hin, dass dies auch 2006 der Fall sein wird. Speziell vom neugegründeten »Simulationszentrum Rheinland-Pfalz (SRP)«, einer Kooperation mit dem Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern, können weitere Industrieerträge in der überregionalen und insbesondere auch in der regionalen Automobil- und Zulieferindustrie erwartet werden.

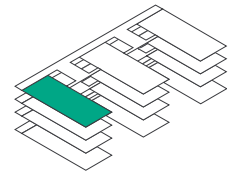
Insgesamt besteht der begründete Verdacht, dass es mit dem ITWM auch 2006 weiter nach oben geht.

Entwicklung Betriebshaushalt in Mio. €

- Industrie
- Öffentliche Hand
- Grundfinanzierung und Fraunhofer-interne Programme

Haushaltsentwicklung [Tausend €]	2001	2002	2003	2004	2005
Betriebshaushalt	5866	7267	7872	8844	9560
Investitionshaushalt	756	878	563	376	499
<b>Gesamt</b>	<b>6622</b>	<b>8145</b>	<b>8435</b>	<b>9220</b>	<b>10059</b>

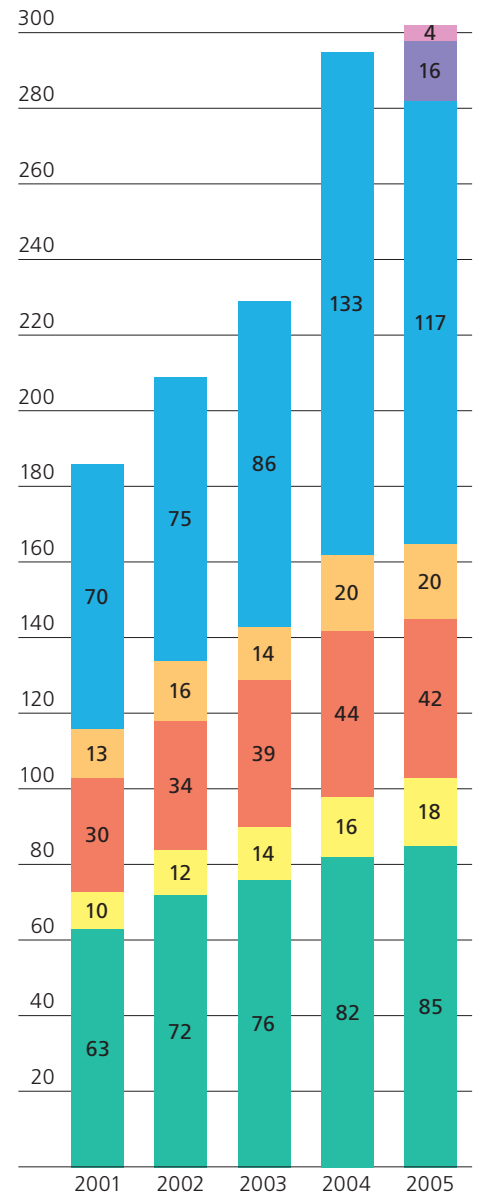
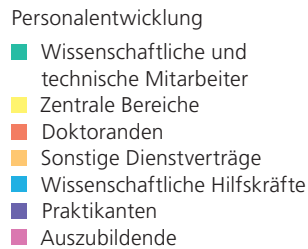




## Personalentwicklung

2005 beschäftigte das Fraunhofer ITWM 145 Mitarbeiter, davon 85 Wissenschaftler, 42 Doktoranden und 18 Mitarbeiter in Verwaltung, EDV und Öffentlichkeitsarbeit. Hinzu kamen 117 wissenschaftliche Hilfskräften, 16 Praktikanten und 4 Auszubildende. Die Nachwuchsarbeit am ITWM, insbesondere in der Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern, ist damit weiterhin vorbildlich. Der relativ moderate Anstieg des wissenschaftlichen Personals 2005 ist sicher auch mit den knappen Raumressourcen in den angemieteten Büroflächen zu erklären. Nach dem Umzug in das neue Fraunhofer-Zentrum zeigt sich schon jetzt ein signifikanter Personalanstieg im wissenschaftlichen Bereich.

Im November 2005 nahm das ITWM sein zehnjähriges Bestehen zum Anlass, alle ehemaligen Mitarbeiter und Doktoranden zu einem ersten Alumni-Treffen nach Kaiserslautern einzuladen. Immerhin folgten 20 der insgesamt 60 »Ehemaligen« der Einladung des früheren Institutsleiters, Prof. Helmut Neunzert. Es gab interessante Einblicke in deren neue Arbeitsgebiete und natürlich einen regen Gedankenaustausch. Es ist geplant, dieses Treffen zu einer ständigen Einrichtung werden zu lassen.



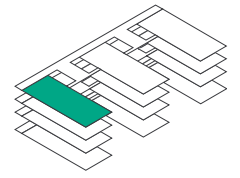
Aluminitreffen anlässlich des zehnjährigen Bestehens des Fraunhofer ITWM

## Vorgeschichte

- 1980 Einrichtung der Studiengänge Technomathematik und Wirtschaftsmathematik an der Uni Kaiserslautern
- 1983 Volkswagen-Stiftung finanziert größeres Projekt (Beginn der Forschungskooperationen mit der Industrie)
- 1986 1. Ausgründung: »tecmath« durch ehemalige Mitglieder der AG Technomathe
- 1991 Gründung des »Zentrums für Techno- und Wirtschaftsmathematik« (ZTWM)
- 1994 Evaluierung von wissenschaftlichen Arbeitsgruppen in Rheinland-Pfalz im Hinblick auf ihre Fraunhofer-Tauglichkeit, darunter auch das ZTWM

## Gründung

- 9. Nov. 1995 Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik e. V. wird gegründet, Standorte sind Kaiserslautern und Trier
- Jan. 1996 ITWM Kaiserslautern nimmt seine Arbeit auf mit den Abteilungen »Adaptive Systeme«, »Transportvorgänge«, »Berechnung, Visualisierung, Bildverarbeitung«, Leiter ist Prof. Helmut Neunzert
- Okt. 1997 Einzug in das neue Gebäude auf dem Campus
- Jan. 1998 Abspaltung des Standorts Trier, Aufbau der Abteilung »Optimierung« in Kaiserslautern
- Dez. 1998 Umzug der umbenannten Abteilung »Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung« in angemietete Räume im PRE-Park
- März 1999 Gründung der Abteilung »Strömung in komplexen Strukturen«
- 1999/2000 weiteres Wachstum sowie erfolgreiche Evaluierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft
- Jan. 2001 ITWM wird in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen (als 1. Institut mit mathematischem Schwerpunkt), unter der Leitung von Prof. Dieter Prätzel-Wolters
- Okt. 2001 Verleihung des Fraunhofer-Preises an die AG Mikrostruktursimulation
- Nov. 2001 Verleihung des Akademie-Preises des Landes Rheinland-Pfalz an Prof. Helmut Neunzert
- März 2002 Umzug der Abteilung »Strömung in komplexen Strukturen« in den PRE-Park
- Sep. 2002 Gründung des »Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC« in Göteborg
- Feb. 2003 Kuratoriumssitzung: ITWM 2002 IuK-Institut mit den höchsten Wirtschaftserträgen
- Mai 2003 Mathematische Forschungsplattform für regionale Unternehmen wird am ITWM eingerichtet
- März 2004 Umzug der Abteilung »Optimierung« in den PRE-Park
- Okt. 2005 Verleihung des Fraunhofer-Preises an Carsten Lojewski für die Visualisierungssoftware PV-4D
- Jan. 2006 Einzug in das neue Fraunhofer-Zentrum Kaiserslautern



- Februar Richtfest am Fraunhofer-Zentrum
- März Bundesinnovationspreis für NESPRI
- Juli ITWM arbeitet mit im Landesexzellenzcluster »Dependable adaptive Systems and mathematical Modelling«
- September ITWM beteiligt sich an der Ausstellung »Mathematik begreifen«
- Oktober Ehrenmitgliedschaft der Österreichischen Mathematischen Gesellschaft für Prof. Helmut Neunzert  
Fraunhofer-Preis für Dr. Carsten Lojewski, CC HPC, für die Visualisierungssoftware PV-4D
- November PV-4D läuft erstmals auf einem IBM Cell Cluster-Prototypen bei der SuperComputing in Seattle  
Edelstahlskulptur »Hyperboloid« vor Fraunhofer-Neubau aufgestellt  
KMU-IT-Netzwerk gegründet – unter Beteiligung des ITWM  
erstes Treffen von ITWM-Alumnis  
ITWM wird zehn Jahre alt



Bei der Fraunhofer-Jahrestagung in Magdeburg erhielt Dr. Carsten Lojewski aus dem Competence Center High Performance Computing einen der drei Preise für »hervorragende, wissenschaftliche Leistungen bei der Lösung anwendungsnaher Probleme.« Gegenstand seiner Arbeit ist die Beschleunigung der Visualisierung großer Datenmengen durch besonders schnelle Rechenvorschriften. Der Preis geht bereits zum zweiten Mal seit der Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft 2001 an das ITWM.

Wie strömt Erdöl in unterirdischen Lagerstätten? Was geschieht mit flüssigem Metall, während ein Bauteil gegossen wird? Die Software PV-4D setzt die gewaltigen Datenmengen solcher komplexen Vorgänge in anschauliche Animationen um und erleichtert so deren Interpretation. Simulationen helfen, komplexe Vorgänge zu verstehen. Dabei entstehen immense Datenmengen – etliche Giga- und Terabyte. Ein Problem ist es, die gewonnenen Daten anschaulich umzusetzen. Perfekte Bilder liefert die Software PV-4D, die gänzlich ohne Graphikhardware auskommt.

Wenn es darum geht, komplexe Simulationen darzustellen, kommen Graphikkarten, die vorrangig für den Spielmarkt konzipiert sind, an ihr Ende. Anders die Software des ITWM: Sie verarbeitet volumenorientierte Daten, also Daten mit drei Dimensionen. Das ist dann von Interesse, wenn man nicht nur die Oberfläche eines Objekts betrachten will, sondern sehen will, was darunter liegt und wie sich das verändert. Wichtig ist das beispielsweise beim Gießen von Metallen oder bei der Analyse seismischer Daten für die Erdölexploration. PV-4D steht für Parallele Visualisierung in vier Dimensionen und macht Simulationsdaten anschaulich und interpretierbar. Es entstehen Animationen, in denen sich Objekte beliebig drehen, beschneiden und durchfliegen lassen – mit Spezialbrillen sogar stereoskopisch.

Kernstück der Entwicklung sind stark optimierte Algorithmen in der Software. Sie übernehmen die Arbeit der Graphikkarte. Alle Arbeits- und Speichereinheiten des Computers werden so für die Visualisierung genutzt. Besonders effektiv arbeitet die Software, wenn sie auf mehreren zusammengeschalteten Rechnern läuft, also im Cluster arbeitet. Computercluster werden von Unternehmen heute bereits häufig eingesetzt, denn so werden Simulationen schneller und bleiben dennoch kostengünstig. Eine solche Grid-Lösung bringt zusätzlich den Vorteil, dass Nutzer an jedem angeschlossenen Computer auf die Daten zugreifen können. Die Software ist das weltweit leistungsfähigste Werkzeug, um die gigantischen Volumendaten schnell und interaktiv darzustellen. Das überzeugt auch Pilotkunden wie DaimlerChrysler, die Shell AG oder die Berkeley Labs in Kalifornien. Neues-

te Entwicklung: der parallele PV-4D Ray Tracing Kernel. Dieser wurde speziell für den Cell-Prozessor von IBM, Sony und Toshiba entwickelt und wurde nach erfolgreichem Probelauf bei der Magdeburger Fraunhofer-Tagung auch bei der SCJ2005 in Seattle und auf der CeBIT 2006 präsentiert.

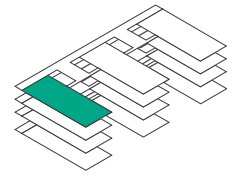
Profil: Joseph-von-Fraunhofer-Preis –  
Forschen für die Praxis

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft alljährlich Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiter, die anwendungsnahe Probleme lösen. Mehr als 200 Forscherinnen und Forscher haben diesen Preis inzwischen gewonnen; 2005 wurden drei Preise mit jeweils 10 000 Euro vergeben.



Schneller rechnen im Verbund: Carsten Lojewski vorm Cluster des ITWM





Zufriedenheit und vor allem Freude auf den Gesichtern, als das Kaiserslauterer Fraunhofer-Zentrum am 21. Februar 2006 offiziell eingeweiht wurde; die gelöste Stimmung ist allen anzusehen, den Geldgebern, den Ideengebern und natürlich den Institutsleitern von ITWM und IESE, deren Mitarbeitern die neue Adresse »Fraunhofer-Platz 1« auch Verpflichtung sein soll, so Fraunhofer-Präsident Hans-Jörg Bullinger ...

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die größte Organisation für angewandte Forschung in Europa. Als gemeinnützige Einrichtung betreibt sie derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen – darunter 58 Institute – an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter – überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung – erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über einer Milliarde Euro. Mehr als die Hälfte der Industrieerlöse stammen von kleinen und mittleren Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft führt Forschungs- und Entwicklungsaufträge für Wirtschaft, Staat und öffentliche Hand durch. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in den USA und in Asien gefördert.

## Felder der Fraunhofer-Forschung:

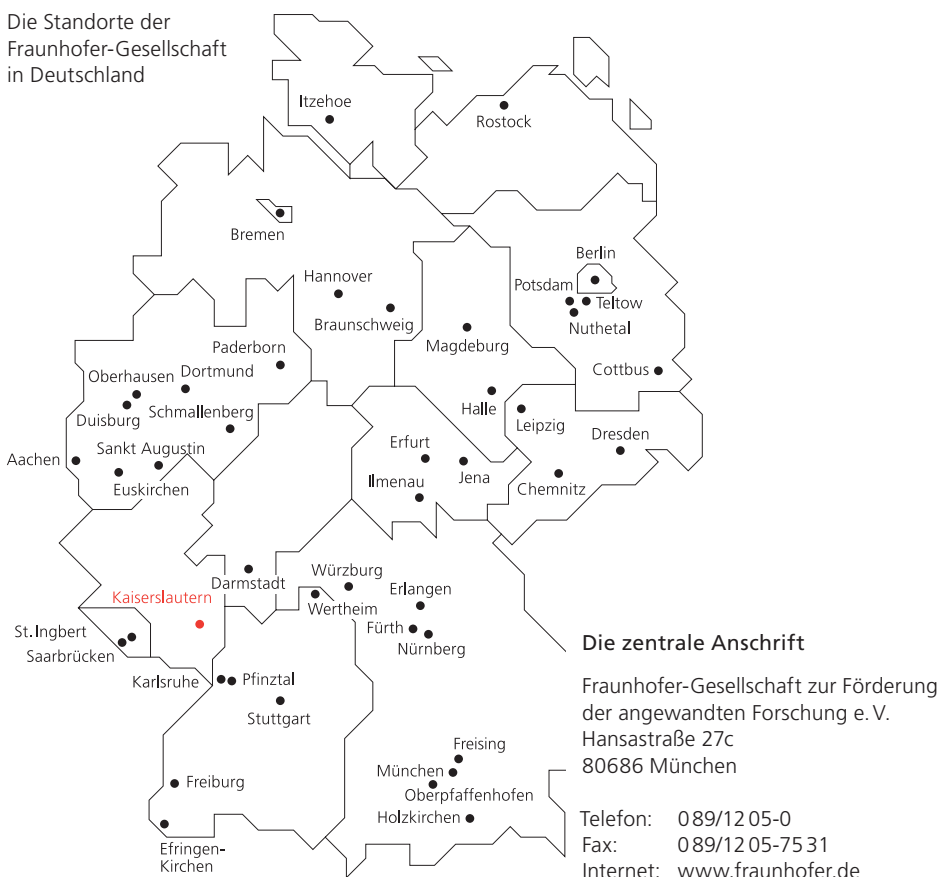
- Werkstofftechnik, Bauteilverhalten
- Produktionstechnik, Fertigungstechnologie
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik
- Prüftechnik, Sensorsysteme
- Verfahrenstechnik
- Energie- und Bautechnik, Umwelt- und Gesundheitsforschung
- Technisch-ökonomische Studien, Informationsvermittlung

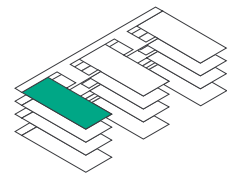
Als größter europäischer Forschungsverbund für Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) ist die Fraunhofer-IuK-Gruppe eine erste Anlaufstelle für Industriekunden und Medien auf der Suche nach dem richtigen Ansprechpartner. Stärken der 17 Mitgliedsinstitute werden in strategischen Allianzen gebündelt und gemeinsam vermarktet. Diese Vernetzung ermöglicht gezielte, branchenspezifische und ganzheitliche Lösungen aus der anwendungsorientierten Forschung: maßgeschneiderte IT-Lösungen, kompetente Technologieberatung sowie Vorlauforschung für neue Produkte und Dienstleistungen. Regelmäßige Wirtschafts-Summits bringen die richtigen Partner aus Industrie und Forschung an einen Tisch.

Die insgesamt 3 000 Mitarbeiter der 17 Institute sowie ein Jahresbudget von mehr als 176 Millionen Euro machen die IuK-Gruppe zum größten Forschungsverbund Europas. Daher decken auch die Technologien in unseren zehn Geschäftsfeldern die gesamte Wertschöpfungskette ab:

- E-Business
- E-Government
- Medizin und Life Sciences
- Verkehr und Mobilität
- Produktion
- Digitale Medien
- Security
- Kultur und Unterhaltung
- Software
- Kommunikationssysteme und interdisziplinäre Anwendungen

Die Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland





Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters, Prof. Dr. Helmut Neunzert, Brigitte Williard, Prof. Dr. Axel Klar, Dr. Marion Schulz-Reese, Prof. Dr. Stefan Nickel, Sandra Leugner, Steffen Grützner, Manuela Hoffmann, Ilka Blauth, Markus Pfeffer, Gesa Ermel

# Transportvorgänge

Die Abteilung TRANSPORTVORGÄNGE entwickelt mathematische Modelle für komplexe industrielle Problemstellungen und effiziente numerische Algorithmen zur simulationsbasierten Lösung dieser Modelle. Die Problemstellungen kommen dabei aus technisch-naturwissenschaftlichen Bereichen wie Strömungsdynamik, Strahlungstransport, Akustik und Strukturmechanik. Sie führen auf mathematische Modelle, deren Kern partielle Differentialgleichungen bilden, die zumeist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind. Gerade die Kopplung verschiedener Problembereiche und Lösungsansätze bildet eine der Stärken der Abteilung.

In den vergangenen Jahren lag der Schwerpunkt der Auftragsforschung in der Erarbeitung technischer Studien, beispielsweise zur Optimierung von Produkten oder zur Auslegung von Produktionsprozessen. Primär zur Erarbeitung solcher Studien und damit zur eigenen Nutzung in der Abteilung wurde Software entwickelt. Eine langfristig verfolgte thematische Schwerpunktbildung in den Bereichen

- Fluid-Struktur-Interaktion
- Gitterfreie Methoden
- Strahlungstransport und Parameteridentifikation
- Kontinuumsmechanische Produkt- und Prozessauslegung

hat mittlerweile in verschieden starker Ausprägung zur Entwicklung spezifischer Softwaretools geführt. Neben den technischen Studien gewinnt daher die Auslieferung von fertigen Softwarelösungen zunehmend an Bedeutung. Für die kommenden Jahre dürfte sich dieser Trend weiter verstärken. Deshalb setzt die Abteilung insbesondere in öffentlich geförderten und Fraunhofer-internen Projekten verstärkt auf die Erar-

beitung und Weiterentwicklung solcher Softwarelösungen. Die nachfolgenden Projektbeispiele vertiefen diesen Aspekt.

Wirtschaftlich verlief das Jahr erneut sehr erfolgreich. Insgesamt wurden ca. 40 Projekte bei einem Industrieanteil von 44 % am Abteilungsbudget bearbeitet. Von den zahlreichen Industrieprojekten vermittelt dieser Jahresbericht aus Geheimhaltungsgründen aber nur einen schwachen Eindruck.

Die stete Befruchtung der Auftragsforschung durch Grundlagenforschung wird nach wie vor hauptsächlich über ein umfangreiches Promotionsprogramm verfolgt und realisiert. So wurden 2005 im Umfeld der Abteilung vier Promotionen erfolgreich abgeschlossen.

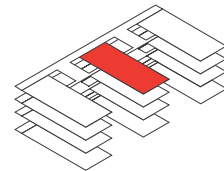
---

## Abteilungsleiter:

Dr. Raimund Wegener

☎ 06 31/3 16 00-42 31

raimund.wegener@itwm.fraunhofer.de



Die Arbeiten im Schwerpunkt Fluid-Struktur-Interaktion konzentrieren sich immer stärker auf die Interaktion von Fäden mit Luftströmungen. Die Gruppe hat in das Zentrum ihrer Arbeiten die Entwicklung des Simulationstools FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) gestellt, das innerhalb der Projektarbeit bereits massiv eingesetzt und Anfang 2006 auch bei ersten Industriekunden installiert wird. Die Arbeiten an FIDYST sind eng mit dem Fraunhofer-internen Projekt SR-PRO (siehe nachfolgendes Projektbeispiel) verbunden.

Mit FIDYST kann zurzeit die Dynamik von elastischen und viskosen Fasern in Luftströmungen simuliert werden, wobei die Interaktion der Fasern mit Maschinenteilen vollständig einbezogen ist. FIDYST erlaubt den Austausch von Strömungsdaten mit kommerziellen CFD-Tools wie FLUENT und ANSYS-CFX, um so die Wirkung der Luft auf die Fasern abzubilden. Durch Rückführung von Daten über die Faserdynamik an ein CFD-Tool kann aber auch die Wirkung der Faserbewegung auf die Luftströmung berücksichtigt werden. In einem iterativen Prozess kann dies zu einer vollständigen Kopplung der

Dynamiken genutzt werden. Im so skizzierten Simulationsumfeld werden momentan in der Hauptsache zahlreiche Industrieprojekte zur Vlieslegung und zu Spinnprozessen bearbeitet.

Im Jahr 2005 konnte dabei das industrielle Kundenspektrum und das Volumen an Industrieprojekten sehr stark erweitert werden. Mittelfristiges Ziel der Gruppe ist es, FIDYST zu einem möglichst umfassenden und flexibel einsetzbaren Tool zu erweitern. Dabei gilt es, weitere Materialmodelle einzubeziehen (viskoelastisch, Kristallisation etc.) und die Problematik interagierender Fasern algorithmisch effizient beherrschbar zu machen. Mit den erweiterten Funktionalitäten von FIDYST wird auch das Anwendungsspektrum weiter anwachsen können. So sind für das kommende Jahr Projekte zum aerodynamischen Spinnen und zur Garnbildung geplant.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Dietmar Hietel

☎ 06 31/3 1600-4627

dietmar.hietel@itwm.fraunhofer.de

## SR-PRO – Simulierte Realität zur Auslegung und Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen

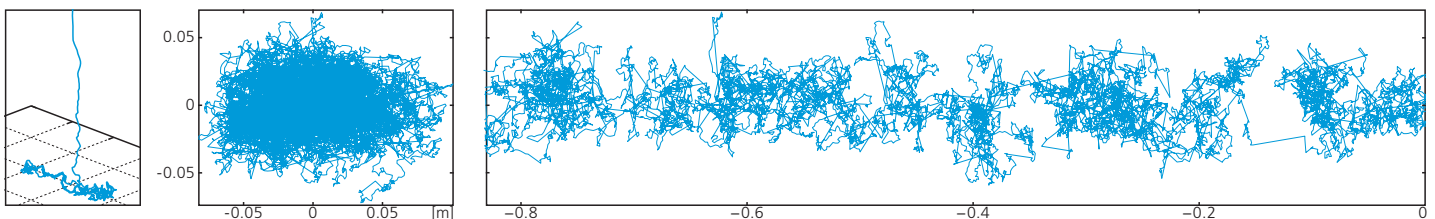
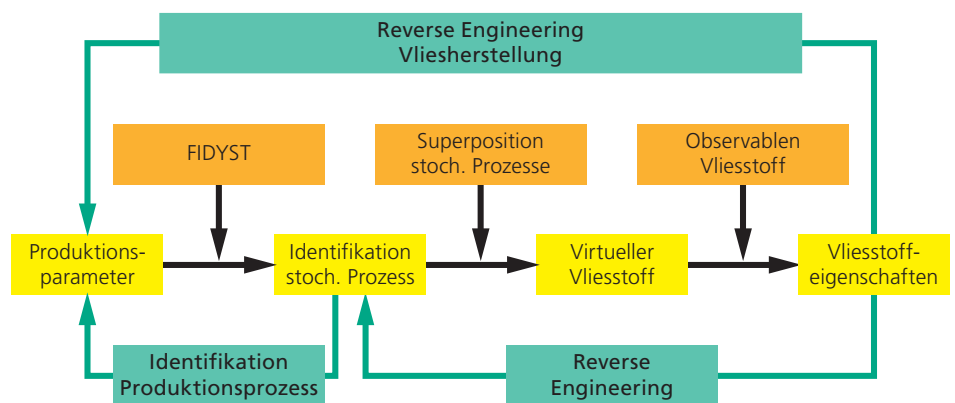
SR-PRO ist ein größeres Verbundprojekt, finanziert durch interne Mittel der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen der Marktorientierten Strategischen Vorlaufforschung – kurz MAVO. Unter dem Begriff Simulierte Realität verstehen wir die Zusammenführung der Bereiche technische Simulation und Optimierung mit Visualisierung und Entscheidungsunterstützung. Wesentliche Grundlagen hierzu werden in der MAVO SR-PRO unter Führung des ITWM gelegt. Das Gesamtkonzept wird für die beiden Pilotanwendungen Karosserie (SCAI mit IGD) und Vliesproduktion (ITWM mit IGD) realisiert. Das problemspezifische Fundament für die Vliesproduktion bildet dabei die Modellierung und Simulation von Fadedynamiken. Dazu werden durch Anwendung der Kirchhoff-Love-Theorie entlang eines Fadens die angreifenden Kräfte bilanziert. Die inneren

Kräfte (Spannung, Dehnung, Biegung) werden entscheidend durch die Materialeigenschaften (elastisch, viskos, viskoelastisch) beeinflusst. Für die äußeren Kräfte spielt neben Gravitation die Wirkung der Luft die entscheidende Rolle. Diese wird durch ein experimentell abgesichertes aerodynamisches Widerstandsmodell erfasst. Der Durchbruch zur korrekten Erfassung der Turbulenzwirkung gelang im Rahmen einer Promotion. Das entwickelte und mathematisch abgesicherte Modell führt im numerischen Verfahren auf die lokale Auswertung der charakteristischen Turbulenzgrößen  $k$  und  $\varepsilon$  zur Bestimmung einer stochastischen Kraft, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem kleinen Fadenstück angreift. Zur Simulation von Faserdynamiken wird das Softwaretool FIDYST eingesetzt, dessen Entwicklung durch die Gruppe Fluid-Struktur-Interaktion innerhalb von SR-PRO entscheidend vorangetrieben wurde. Eine konkrete Anwendung von FIDYST zur Simulation der Vlieslegung wird im nachfolgenden Projektbeispiel gezeigt. Die

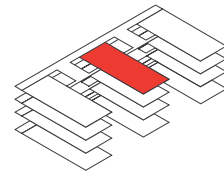
zugehörigen Strömungen werden dabei mit kommerziellen Werkzeugen wie FLUENT oder ANSYS-CFX simuliert.

Auf Basis von FIDYST sind bereits zahlreiche Industrieprojekte im Umfeld der Vliesstoffindustrie erfolgreich bearbeitet worden. Das Anwendungsspektrum erweitert sich fortlaufend und umfasst mittlerweile eine ganze Reihe von Projekten aus der Garnherstellung sowie den nachfolgenden Be- und Verarbeitungsschritten. Die Verknüpfung mit einer systematischen Optimierung spielt dabei eine große Rolle und erfolgt in Kooperation mit der Abteilung OPTIMIERUNG. Der bereits verfügbare Demonstrator basiert auf einem vereinfachten Modell der Vliesablage. Neben dem Forward Engineering, d. h. dem Vergleich simulierter Alternativen, ist hier bereits ein Reverse Engineering implementiert, d. h. durch Vorgabe gewünschter Zielvorgaben werden durch eine systematische Optimierung geeignete Betriebsparameter zurückgeliefert.

Reverse Engineering für den Herstellungsprozess von Vliesstoffen



Von links: Turbulenzeinfluss auf Ablage einzelner Fäden; typisches Ablagedepot eines Fadens bezogen auf Spinndüse; typisches Ablagestruktur eines einzelnen Fadens



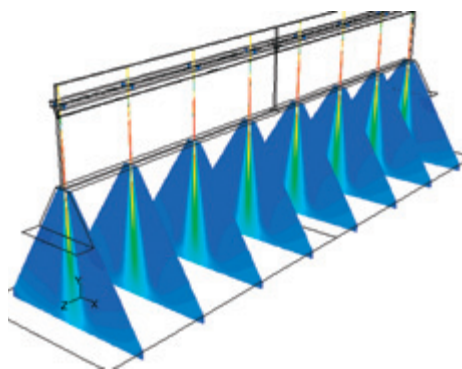
## Innovative Maschinenentwicklung von Spinnvliesanlagen durch Simulationsunterstützung

Im Bereich der Entwicklung von Spinnvliesanlagen ist die Firma Neumag | Saurer ein wichtiger strategischer Partner in Verbindung mit dem Projekt SR-PRO. Langfristig ist die Nutzung des Simulationstools FIDYST durch Neumag mit einer Schnittstelle zu deren kommerziellem CFD-Tool FloWorks geplant. Unabhängig davon erfolgt bereits jetzt eine Unterstützung der Maschinenentwicklung durch das ITWM. Dabei werden Simulationen einerseits eingesetzt, um vorab neue Ideen zu bewerten oder auch zu entwickeln. Andererseits sind diese eng mit der realen Umsetzung an der Maschine verbunden, um den Prozess besser verstehen und optimieren zu können.

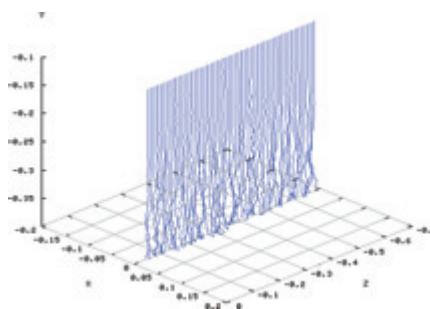
Unter diesen Gesichtspunkten wurde bereits eine ganze Reihe von Simulationen durchgeführt. Die gezielte Beeinflussung des Ablageprozesses spielt dabei für die Qualität des Vliesstoffes eine wichtige Rolle. Ein typisches Problem aufgrund des Herstellungsprozesses von Spinnvliesstoffen sind unterschiedliche Festigkeiten in Längs- und Querrichtung (MD/CD-Verhältnis).

Viele Ideen in diesem Bereich können nur mit größerem Aufwand umgesetzt und erprobt werden, so dass die Simulationsunterstützung ein wichtiges Instrument für eine innovative und dabei auch effiziente Maschinenentwicklung ist.

Neben der simulationsbasierten Bewertung neuer Ideen zur Beeinflussung des MD/CD-Verhältnisses wird auch die Frage untersucht, auf welche Weise die Ablagezone am besten verändert werden sollte. Bei einem offenen Prozess wird durch den Freistrahle ein Mehrfaches an zusätzlicher Luft abgesaugt, wogegen im geschlossenen Fall diese Menge durch gezielte Öffnungen gesteuert werden kann. Grundsätzlich ist damit eine bessere Kontrolle des Ablageprozesses möglich. Die Grafiken zeigen eine Idee zur Schließung der Ablagezone. Der auftretende Coanda-Effekt führt zu einer Ablenkung der Strömung in Richtung der Wände, die sich auch auf die Fadenbewegung auswirkt und der Depotbreite in Maschinenrichtung (MD) tendenziell vergrößert. In Verbindung mit weiteren Maßnahmen zur Beeinflussung der Ablage in Querrichtung (CD) soll damit das MD/CD-Verhältnis verbessert und in gewissem Umfang auch gezielt einstellbar gemacht werden.



Luftgeschwindigkeiten in einer Neumag-Spinnvliesanlage in verschiedenen Schnittebenen



Simulierter Fadenvorhang im Ablagebereich unterhalb der Abzugsdüse

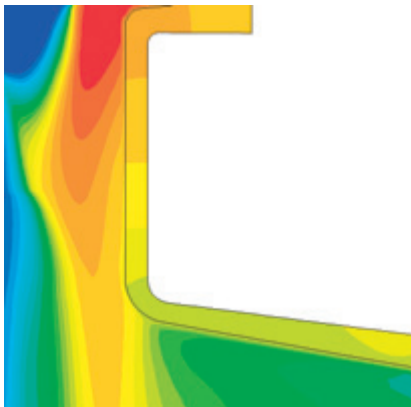
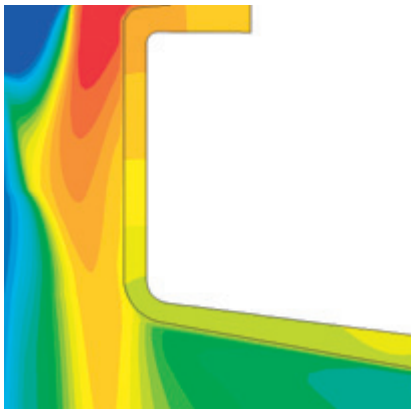
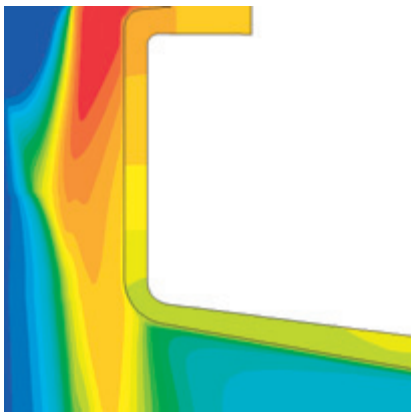
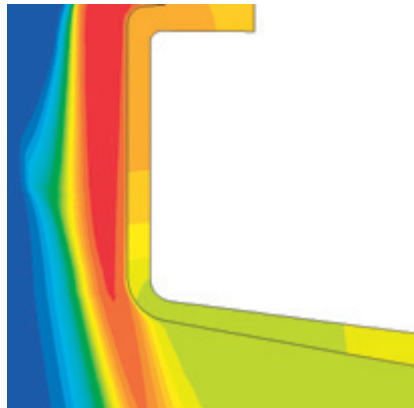
## Spinnen von Glasfasern

In der Kooperation mit der URSA International GmbH werden verschiedene Aspekte der Glaswolleproduktion mit mathematischen Methoden untersucht. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Faserbildungsprozess. Für die Herstellung einzelner Glasfäden wird flüssiges Glas durch eine schnell rotierende Lochscheibe gepresst. Die entstehenden Fäden werden mittels der angreifenden Luftströmungen und der Rotationsbewegung verstreckt. Ein einzelner Faden wird dabei sehr dünn und bricht. So entsteht aus tausenden von Düsen eine immense Zahl einzelner kurzer Glasfasern, die auf einem Band gesammelt und mit Bindemittel zur Glaswolle fixiert werden.

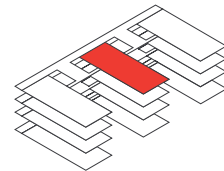
In einem spezifischen Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit der Firma URSA der Faserbildungsprozess modelliert und simuliert. Der eigentliche Ziehprozess wird dabei mithilfe des Software-Tools FIDYST simuliert. Dabei wird die Wirkung der Luft auf den Faden

und die temperaturabhängigen Eigenschaften des Glases berücksichtigt. Die Temperatur nimmt mit der Fadenlänge ab, so dass das Glas entlang des Fadens stärker viskos wird und sich letztlich nicht mehr verstrecken lässt. Die Rückwirkung der Fäden auf die Luft ist aufgrund der großen Zahl der Fäden nicht vernachlässigbar. Dabei wird über einen Homogenisierungsansatz der Strömungswiderstand und die Wärmeabgabe der Fäden erfasst. Die numerische Umsetzung erfolgt im CFD-Tool FLUENT innerhalb einer sogenannten UDF (User Defined Function) als Impuls- und Energiequelle. Für die Simulation des Gesamtvorgangs wird die Strömungssimulation (FLUENT) mit der Fasersimulation (FIDYST) gekoppelt und durch gegenseitige Iteration die Wechselwirkung erfasst – dazu sind nur wenige Iterationen erforderlich. Durch diese Vorgehensweise wird trotz der hohen Komplexität des Problems eine Simulation des Prozesses möglich. Durch systematische Parametervariationen wurde der Prozess studiert und kann auf dieser Basis weiter optimiert werden.

Wechselwirkung zwischen Strömung und Fadenbewegung anhand der Temperaturverteilung; Konvergenz über die Anzahl der Iterationsschritte, beginnend mit einer Strömung ohne Fäden.







Die Abteilung Transportvorgänge entwickelt mit FPM (Finite Pointset Methode) ein eigenes Softwaretool zur Simulation kontinuumsmechanischer und insbesondere strömungsdynamischer Problemstellungen. FPM ist eine Partikelmethode, also eine gitterfreie Methode, die im Gegensatz zu klassischen numerischen Verfahren wie Finite Elemente oder Finite Volumen kein Gitter und damit keine Vernetzung benötigt. Damit hat FPM prinzipbedingte Vorzüge bei all solchen Problemen, bei denen gitterbasierte Verfahren aufgrund notwendigen Remeshings an ihre Grenzen stoßen. Beispiele sind im Bereich der Strömungsdynamik Probleme mit freien Oberflächen, Mehrphasenströmungen und Fluid-Struktur-Interaktionen mit starker Veränderung des Rechengebiets.

FPM existiert mittlerweile als kompressibler und inkompressibler Strömungssolver, mit stetig wachsenden Funktionalitäten im Bereich des Pre- und Postprocessings. Insbesondere für klar umrissene Anwendungsfelder bereitet das ITWM die Software so auf, dass sie nach entsprechender Schulung unmit-

telbar vom Industriekunden eingesetzt werden kann. Auf diese Weise konnte im vergangenen Jahr eine Reihe von Lizenznehmern gewonnen werden, bei denen die Software in der Regel im Anschluss oder begleitend zu Industrieprojekten installiert wurde. Zu nennen sind hier Simulationsprojekte mit FPM zur Flachglasproduktion, zu verschiedenen Verfahrensschritten in der Glasbearbeitung, zur Betankung von Kraftfahrzeugen oder zur Dynamik eines Rückschlagventils. Darüber hinaus wurde die ursprünglich für die Simulation der Airbagentfaltung initiierte Kooperation mit ESI-Group, Paris, auf das volle Anwendungsspektrum von FPM ausgedehnt. Im Forschungsbereich konnten im Rahmen einer Promotion erste Erfolge mit FPM für elastische Festkörper erzielt werden.

## Ansprechpartner:

Dr. Jörg Kuhnert

☎ 06 31/3 1600-4448

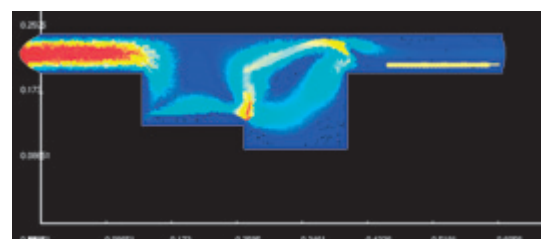
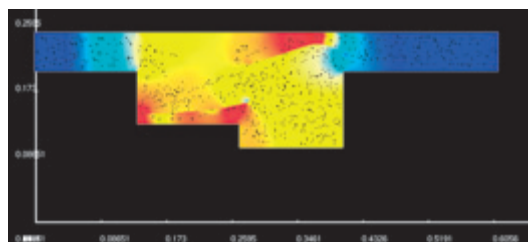
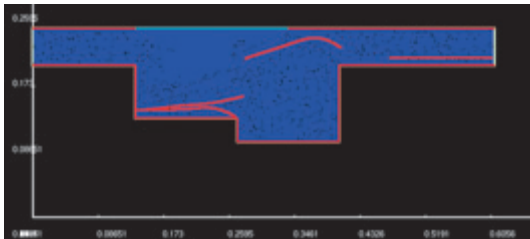
joerg.kuhnert@itwm.fraunhofer.de

## Dynamik flexibler Strukturen in Wechselwirkung mit Strömungen

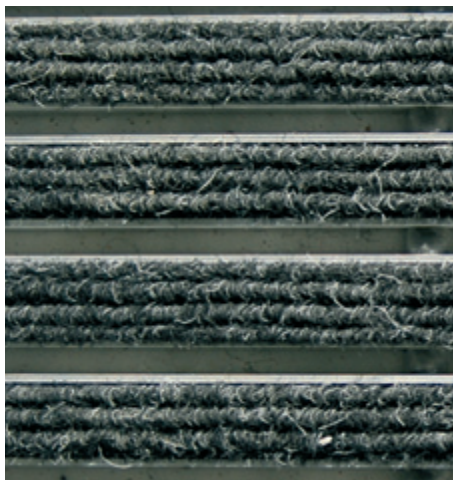
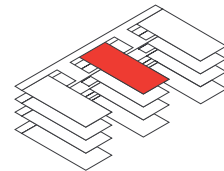
In vielen Produktionsprozessen und Applikationen wird die Dynamik flexibler Strukturen wie Bögen, Folien, Geweben, Fäden oder Tröpfchen durch die Wechselwirkung mit Strömungen bestimmt. Das hier beschriebene, von der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation geförderte Projekt zielt auf die Erarbeitung von Softwarelösungen zur Simulation der Wechselwirkung von Strömungen mit linienförmigen und flächigen Strukturen (Fäden und Papierbögen). Aufgrund ihrer völlig unterschiedlichen Rückwirkung auf die Strömung kann die Dynamik von Fäden und Bögen adäquat nur mit unterschiedlichen Strategien behandelt werden. Während die Rückwirkung eines Fadens auf die umgebende Luft zumeist vernachlässigt

werden kann, ist für einen Papierbogen die vollständige Kopplung der Dynamik von Fluid und Struktur zwingend erforderlich. Die Forschungsarbeiten im Umfeld des Themenbereichs Fäden zielen daher hauptsächlich auf die Erarbeitung von Kraftmodellen unter Berücksichtigung von Turbulenzeinflüssen. Diese Kraftmodelle sind in die ITWM Software FIDYST integriert, die in der MAVO SR-PRO zu einem umfangreichen Tool weiterentwickelt wird (siehe Seite 20) Für flächige Strukturen ist eine vollständige transiente Kopplung zwischen Bogendynamik und Strömung innerhalb des am ITWM entwickelten gitterfreien Strömungscodes FPM umgesetzt. Für diesen wichtigen Projekterfolg war insbesondere die Entwicklung und Realisierung eines stabilen FPM-Kerns zur Simulation inkompressibler Strömungen entscheidend.

Der gitterfreie Strömungscod generiert in der gekoppelten Berechnung in jedem Zeitschritt die Druckdaten auf beiden Seiten des Bogens, die als Kraftterm in die Bogendynamik einbezogen werden, um nach entsprechender Bewegung des Bogens die veränderte neue Geometrie des Strömungsgebiets zu generieren. Gegenüber gitterbasierten Methoden für die Strömungsberechnung erweist sich die FPM-Lösung als äußerst effizient. Die flexible Struktur wird in der Strömung als geometrisches Hindernis behandelt, dessen Bewegung für die Strömungsrechnung keinen relevanten Mehraufwand mit sich bringt. In gitterbasierten Verfahren muss dagegen die Dynamik der flexiblen Struktur durch Gitterverzerrung, Remeshing oder Schneiden der Gitterzellen berücksichtigt werden.



Position der Strömungs- und Bogenpartikel (oben), Druckverteilung (Mitte) und Geschwindigkeitsfeld (unten) in einem Zeitpunkt



Ausgangspunkt der Arbeiten am Fraunhofer ITWM zum Strahlungstransport war die Modellierung und Simulation der Abkühlung von Glas für die Firma Schott Glas, Mainz. Wärmestrahlung in semitransparenten Materialien wie Glas ist ein hochdimensionales nichtlineares Problem, das in vollen dreidimensionalen Geometrien zu einem kaum vertretbaren Rechenaufwand führt. Am ITWM wurde unter dem Namen RADEFF ein Verfahren zur numerischen approximativen Lösung der Strahlungstransportgleichung entwickelt. RADEFF beruht auf einer formalen Integration der Strahlungstransportgleichung, die auf eine neuartige Approximation der Quell- und Diffusionsterme in den Energiebilanzen führt. Insgesamt ist das Verfahren ein guter Kompromiss zwischen schnellen, aber groben Verfahren (z. B. Rosseland-Approximation) und genauen, aber aufwändigen Verfahren (z. B. DOM – Diskrete Ordinate Methode). Es berücksichtigt sowohl wellenlängenabhängige Absorption als auch alle Geometrieinformationen. Bei hinreichend guter Genauigkeit ist RADEFF dabei bis zu zehnmals schneller als die klassische DOM. Das Verfahren ist als UDF (User Defined Function) in FLUENT implementiert und bietet so für Unternehmen die Basis von maßgeschneiderten Simulationslösungen für den Wärmetransport in semitransparenten Materialien.

Ausgehend von den Kompetenzen zur Modellierung und Simulation von Strahlungstransportproblemen hat die Gruppe in den vergangenen Jahren ihr Spektrum deutlich in den Bereich von Optimierungsfragestellungen und Inversen Problemen (z. B. indirekte Temperaturmessungen und andere Identifikationsprobleme) erweitert. Dazu kommen in jüngster Zeit auch immer stärker generelle Fragen des Energie- und Temperaturmanagements in diversen Maschinen und Anlagen. Solche Aufgabenstellungen führen häufig zu einer kombinierten Betrachtung von Wärmeleitungs-, Strahlungs- und Strömungsproblemen. Die nachfolgende Beschreibung eines typischen Industrieprojekts zeigt dies exemplarisch.

**Ansprechpartner:**  
Dr. Norbert Siedow  
☎ 06 31/3 16 00-42 47  
norbert.siedow@itwm.fraunhofer.de

## Gasdynamik bei der Quarzglasproduktion

Zur Produktion von Rohren und Stäben aus Quarzglas wird Quarzsand in einem Tiegel bei einer Temperatur von 2000 Grad Celsius geschmolzen. Dazu wird der Tiegel über elektrische Heizstäbe von außen beheizt. An der Unterseite des Tiegels befindet sich eine Düse, durch die die Quarzglasschmelze austritt und in Form eines Stabes oder Rohres gezogen wird. Um die Heizstäbe vor Korrosion zu schützen, werden sie von einem Schutzgasgemisch umströmt. Dieses Gasgemisch soll verhindern, dass Sauerstoff aus der Umgebungsluft mit den Heizstäben und dem Tiegel in Kontakt kommt. Die Glasschmelze verdampft bei Austritt aus der Düse oberflächlich und bildet Soot, der sich an den Heizstäben und der Tiegelwand ablagern kann. Diese Ablagerung

soll ebenfalls durch die Strömung des Gasgemischs vermieden werden.

Bei den derzeit eingesetzten Quarzglasöfen gelingt die Vermeidung der Sootablagerungen nur unzureichend. Deswegen sind regelmäßige Reinigungen der Öfen erforderlich, die sehr kostenintensiv sind. Projektziel war die Simulation der Gasströmung eines typischen Quarzglasofens, um den Ist-Zustand der Gasdynamik und des damit verbundenen Soottransports zu verstehen.

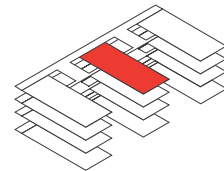
Aufbauend auf der CAD-Datei eines Ofens wurde ein Modell unter FLUENT entwickelt, das die volle Gasdynamik des Schutzgasgemischs und der Umgebungsluft simuliert. Die Simulationsergebnisse zeigen sehr deutlich, dass die Strömung des Schutzgasgemischs nicht optimal ist. Einige der Schutzgaszuführungen umströmen die Tiegelwand und

die Heizstäbe überhaupt nicht, sondern das schwere Gasgemisch verlässt den Tiegelraum auf kürzestem Weg nach draußen. Auf der anderen Seite zeigt sich in der Simulation, dass die Umgebungsluft, die sich am Glasstab erwärmt, aufgrund ihrer Auftriebskraft nach oben in den Tiegelraum steigen kann. Diese Luft transportiert den Soot recht effektiv in den Tiegelraum und lagert ihn dort ab.

Mit Hilfe der Simulation konnten viele Aspekte der Gasströmung detailliert untersucht werden und verschiedene Schwächen des derzeit genutzten Ofendesigns aufgezeigt werden. Diese Ergebnisse dienen als Basis für Verbesserungsmaßnahmen, die zu einer optimierten Gasströmung führen. Projektpartner des ITWM für das Vorhaben war die Firma Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG.



© Heraeus, Hanau



Dieser Schwerpunkt umfasst die Projekte der Abteilung, bei denen die technische Auslegung und Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen im Vordergrund steht. Gemeinsame Basis der Projekte sind im weitesten Sinne kontinuumsmechanische Modelle (d. h. Strömungsdynamik, Wärmeleitung, Strahlungstransport, Strukturmechanik, Akustik etc.). Zur Lösung der industriellen Probleme werden analytische und numerische Methoden angewandt. Auf Seiten der Simulation kommen dabei kommerzielle Softwareprodukte (wie MATLAB, FEMLAB, FLUENT, ANSYS-CFX, ANSYS), eigene Software und hybride Softwarelösungen zum Einsatz. Der Schwerpunkt überschneidet sich naturgemäß mit den übrigen Arbeitsbereichen der Abteilung und umfasst im Kern die Projekte, in denen verschiedene Modellierungs- und Simulationskompetenzen der Abteilung zusammengebracht werden. Insbesondere solche Projekte verlangen aus Komplexitätsgründen häufig nach geeigneter Modellreduktion. Hier spielen asymptotische und systemtheoretische Methoden im Wechselspiel mit Numerik eine wichtige Rolle. Als Beispiel sei die Teilaufgabe des ITWM im europäischen

Großprojekt InMAR genannt (siehe Seite 58), in dessen Zentrum Fragen der adaptiven Lärmreduktion stehen.

Zunehmend an Bedeutung gewinnen für die Produkt- und Prozessauslegung die Forschungsarbeiten zur »Simulierten Realität«. Im Zusammenhang mit den Arbeiten der Gruppe Fluid-Struktur-Interaktion wurde oben (siehe Seite 20) bereits über das Fraunhofer-interne Projekt SR-PRO berichtet. Das nachfolgende Projektbeispiel widmet sich dem Thema »Akustische Simulierte Realität«. Langfristig will die Abteilung unter dem Schlagwort »Simulierte Realität« Softwaretools zur Auslegung und Optimierung verschiedenartigster Produkte und Prozesse entwickeln. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat »Simulierte Realität« zu einem Fraunhofer-Innovations-thema gemacht.

---

**Ansprechpartner:**

Dr. Jan Mohring  
☎ 06 31/3 16 00-43 93  
jan.mohring@itwm.fraunhofer.de

## Akustische Simulierte Realität

Im Rahmen dieses durch die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation geförderten Forschungsvorhabens wird in Zusammenarbeit mit der AG Graphische Datenverarbeitung des FB Informatik der TU Kaiserslautern ein Virtual-Reality-Darstellungssystem aufgebaut, in dem ein zu planender Raum nicht nur optisch, sondern auch akustisch vorab erkundet werden kann. Ausgerüstet mit Space-Mouse und 3D-Brille taucht die Testperson in eine vor ihr auf die Powerwall projizierte Szene ein. Für die Schallfeldsynthese sorgt ein hochwertiges Surround-System. Die Forschungsschwerpunkte des Vorhabens sind die physikalisch korrekte Berechnung des Schallfeldes im virtuellen Raum und die intuitive Visualisierung akustischer Qualitätskriterien.

Zur Bewertung der akustischen Eigenschaften eines Raumes hat sich in der Beschallungstechnik eine Reihe von Kriterien herausgebildet (Nachhallzeit, Ortbarkeit, etc.). Mit herkömmlichen Raumakustikprogrammen lassen sich diese mit gewisser Güte berechnen und visualisieren. Für den Kunden eines Ingenieurbüros oder für einen Architekturstudenten sind diese Kennzahlen jedoch selten mit Erfahrung hinterlegt und die Abwägungen eines Akustikers daher nur schwer nachvollziehbar. Mit Hilfe des VR-Systems wird es dagegen auch ohne hinreichende Erfahrung möglich sein, z. B. Anforderungen an Akustik, Beleuchtung und Ästhetik eines Konzertsaales gegeneinander abzuwägen. Der von uns vorgeschlagene Zugang zeichnet sich gegenüber bestehenden Ansätzen durch wellenakustische Berücksichtigung der für industrielle Anwendungen wichtigen tiefen Frequenzen, hochwertige natürliche Visualisierung, Echtzeitbewegung des Hörers im virtuellen Raum, Realisierung des Prinzips fehlerorientierter Adaptivität in allen Simulationsaspekten



Powerwall im Democenter

sowie intuitive Visualisierung komplexer Qualitätskriterien aus.

Im laufenden Projektjahr wurde der Software-Kern für Schallfeldsimulation und -synthese und das optische Rendering aufgebaut. Während sich der hochfrequente Schallfeldanteil mit geometrischen Verfahren wie dem von der AG Graphische Datenverarbeitung implementierten Phonon-Tracing simulieren lässt, erfordern ausgeprägte Resonanz- und Beugungseffekte eine wellenakustische Beschreibung des Tieftonanteils. Hier entwickelte das ITWM Methoden zur automatisierten Reduktion großer akustischer FE-Modelle in echtzeitfähige Zustandsraummodelle mit vergleichbarem Übertragungsverhalten. Weitere Schwerpunkte bildeten die Schallfeldsynthese und Vergleichsmessungen. Zwei zentrale Forschungsaktivitäten – effiziente Simulationsverfahren für den Mitteltonbereich und adaptiver Detaillierungsgrad – werden nach Ablauf des Projekts im März 2006 in zwei Projekten des Landes-Exzellenz-Clusters Dependable Adaptive Systems and Mathematical Modeling fortgesetzt.



Dr. Dietmar Hietel, Dr. Raimund Wegener, Dr. Jörg Kuhnert, Dr. Ferdinand Olawsky, Sergiy Pereverzyev, Dr. Sudarshan Tiwari, Dr. Jan Mohring

# Strömungen und komplexe Strukturen

Seit Jahren konzentrieren sich die Aktivitäten der Abteilung auf Modellierung und Simulation von strömungsdynamischen und strukturelastischen Prozessen zum virtuellen Design von Materialien und Bauteilen. Zu unseren Kernkompetenzen zählt die effiziente numerische Behandlung der auftretenden Multiskalen- und Multiphysikprobleme. Der Anwendungsbereich Filtration ist typisch für die Entwicklung und den Einsatz mathematischer und softwaretechnischer Methoden für ein mehrskaliges Material- und Produktdesign durch enge Zusammenführung der Kompetenzen der Schwerpunkte

- Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign
- Hydrodynamik
- Komplexe Fluide
- Strukturoptimierung in Mechanik und Akustik

Eine Filtersimulation erfordert die Integration mehrerer Skalen ausgehend von Nanopartikeln über die Mikrostruktur einer Filterschicht und der Mesoskala des gefalteten mehrschichtigen Filtermaterials bis hin zum kompletten Filterbauteil. Die Auslegung eines Filters macht es je nach Designanforderungen erforderlich, unterschiedliche Skalen und Skalenübergänge zu beschreiben und gleichzeitig die vielfältigen physikalischen Phänomene zu beherrschen.

Im außerordentlich erfolgreichen Jahr 2005 verstetigten sich neben vielen neuen industriellen Kontakten langjährige Kundenkooperationen. Bei der IBS Filtran GmbH ist unser Simulationstool SuFiS zur Auslegung von Filtersystemen erfolgreich im Einsatz und gemeinsam mit der Robert Bosch GmbH wenden wir unsere Softwaretools GeoDict und FilterDict zum Design von Dieselpartikelfiltern an. Mit der MAGMA Gießerei-

technologie GmbH arbeiten wir aktuell an der Simulation granularer Strömungen für den Kernschießprozess und für die URSA International GmbH nutzen wir verschiedenste Simulationstechniken zur Optimierung von Isolationsmaterialien.

Die Forschungsaktivitäten konnten durch neue Projekte im Verbund mit der TU Kaiserslautern, innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und mit dem Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften in Leipzig stark erweitert werden. Somit ist die Abteilung für die kommenden Jahre sowohl wissenschaftlich wie auch wirtschaftlich sehr gut aufgestellt.

---

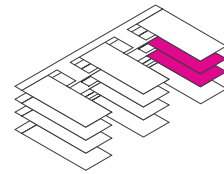
## Abteilungsleiter:

Dr. Konrad Steiner

☎ 06 31/3 16 00-43 42

konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de





Unter »Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign« verstehen wir die Optimierung dreidimensionaler geometrischer Strukturen von porösen Materialien und Verbundwerkstoffen im Rechner. Die Eigenschaften des Materials werden in den 3D-Strukturen berechnet, anschließend die Modellparameter variiert und die Eigenschaftsberechnungen wiederholt, um im Rechner ein verbessertes Material zu finden. Zwei wichtige Anwendungsfälle zeichnen sich ab: zum einen Filtrationsprozesse, zum anderen die Verbesserung von Brennstoffzellen.

Filtrationsprozesse spielen in fast allen Bereichen des täglichen Lebens und der Technik eine wichtige Rolle. Zellwände filtern Nährstoffe aus dem Blut, Dieselpartikelfilter entfernen Schadstoffe aus dem Abgas. Meist ist nur eine begrenzte Zahl von Mechanismen am Werk. Eine Schwierigkeit besteht darin zu beurteilen, mit welcher Stärke ein Effekt in die Filtrationswirkung eingeht. Von den möglichen Mechanismen wurden vor allem Strömung und elektrostatische Ladungen eingehender behandelt. Dieser Bereich wird langfristig durch viele Industriekontakte und

öffentliche Projekte als starker Wachstumsbereich eingeschätzt, in dem Projekte bearbeitet wie auch Software entwickelt und verkauft wird.

Der zweite Anwendungsfall ist die Berechnung und Verbesserung der Eigenschaften von Brennstoffzellschichten. Materialmodelle und Strömungssimulation produzieren Synergieeffekte mit der Filtrationssimulation. Dazu kommen wichtige Entwicklungen im Bereich der Zweiphasensimulation und der Diffusionssimulation, die nun die effiziente Bearbeitung einiger öffentlich und industriell finanzierter Projekte zulassen. Die Schwierigkeit ist zu beurteilen, inwieweit die Vereinfachungen gerechtfertigt sind und korrekte Ergebnisse liefern. Auch dieser Bereich verzeichnet starkes Wachstum.

Weitere wesentliche Entwicklungen im Schwerpunkt »Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign« waren die Bereitstellung eines anisotropen geschlossenzelligen Schaummoduls, die Berechnung effektiver thermischer Leitfähigkeiten und 3D-Strukturen aus Anfangs-, Zwischen- und Endzuständen des Sinterprozesses.

## **Ansprechpartner:**

Andreas Wiegmann, PhD

☎ 06 31/3 16 00-43 80

andreas.wiegmann@itwm.fraunhofer.de

## Simulationsgestütztes Design von Brennstoffzellen

Wasserstoff als alternativer Energieträger wird bei zunehmend dezentraler Energieversorgung und schwindenden Ölreserven in Zukunft eine immer größere Rolle spielen.

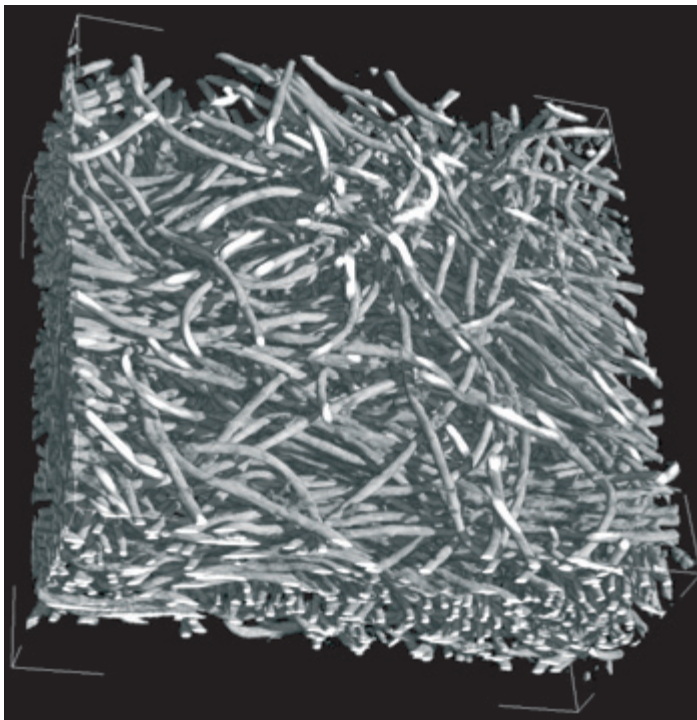
Die im Wasserstoff gespeicherte Energie kann mithilfe von Brennstoffzellen in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden. Vereinfacht gesprochen funktioniert eine solche Zelle wie folgt: Der zur Anode geführte Wasserstoff spaltet sich unter Abgabe von zwei Elektronen in  $H^+$ -Ionen auf. Während die Elektronen über einen externen Stromkreislauf zur Energiegewinnung genutzt werden, diffundieren die Protonen durch eine Membran zur Kathode. Dort reagieren sie mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser.

Um die optimale Zufuhr von Sauerstoff zur Kathode und den gleichzeitigen Abtransport des entstehenden Wassers zu garantieren, befindet sich zwischen Kathode und Luftzufuhrkanal eine sogenannte Gasdiffusionsschicht. Diese besteht in der Regel aus Kohlenstoff-Vliesstoffen. Durch Hydrophobisieren dieser Schicht wird für den Wasserabtransport gesorgt.

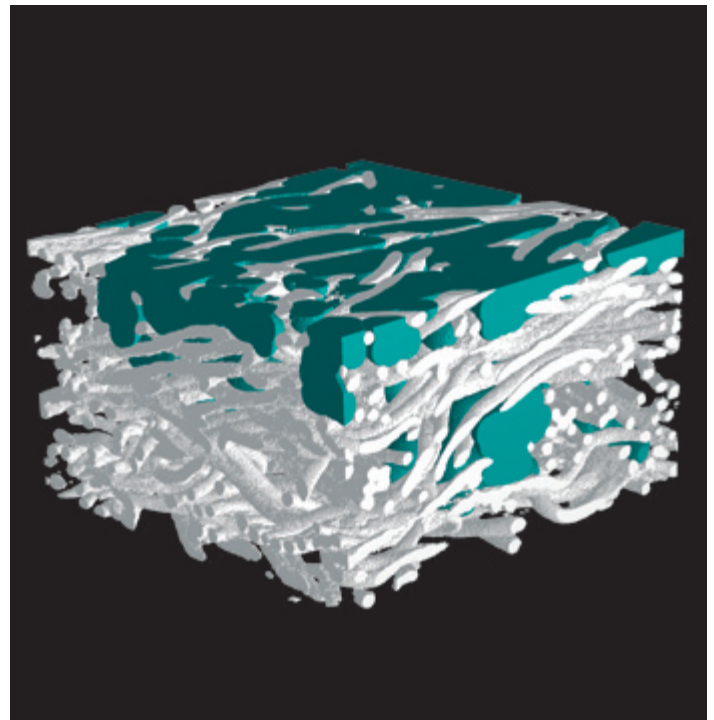
Innerhalb des vom BMBF geförderten Forschungsverbundes »PEMDesign« arbeitet das Fraunhofer ITWM daran, Gasverteilerschichten mit Hilfe der Software GeoDict zu modellieren und Materialeigenschaften wie Strömungswiderstand und Diffusionswiderstand zu berechnen. Insbesondere werden hierbei die Materialeigenschaften bei unterschiedlichen Wassersättigungen der Diffusionsschicht, wie sie auch im Betrieb der Brennstoffzelle vorkommen,

untersucht. Mit Hilfe der Porenmorphologiemethode können diese sättigungsabhängigen Materialkenngrößen auf einfache und effiziente Weise bestimmt werden.

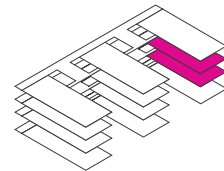
Ziel des Forschungsverbunds ist es, das rechnergestützte Design von Brennstoffzellen zu ermöglichen. Dazu werden gemeinsam mit den Verbundpartnern Methoden erarbeitet, die einen Skalenübergang zwischen Feinstruktur, Brennstoffzelle und Brennstoffzellenstack erlauben. So können die am ITWM errechneten Materialparameter der verschiedenen Gasdiffusionsschichten in CFD-Simulationen der Brennstoffzelle benutzt werden. Insgesamt kann somit der Einfluss eines unterschiedlichen Komponentendesigns auf die gesamte Zelle untersucht werden und die entsprechende Komponente dementsprechend optimiert werden.



Synchrotron-Tomographieaufnahme einer Gasdiffusionsschicht



Wasser dringt in die Gasdiffusionsschicht ein und verkleinert so den zur Sauerstoffzufuhr notwendigen Porenraum.



## Dieselpartikelfilter – Simulation unterstützt die Entwicklung moderner Abgasreinigungssysteme

Zusammen mit der Robert Bosch GmbH arbeitet das Fraunhofer ITWM an der Entwicklung neuester Partikelfiltersysteme für den Abgasstrang von Dieselfahrzeugen. Im Fokus der Forschung stehen gesinterte Metallfilter mit keramischer Faserauflage, die es in Bezug auf das Standzeitverhalten zu optimieren gilt.

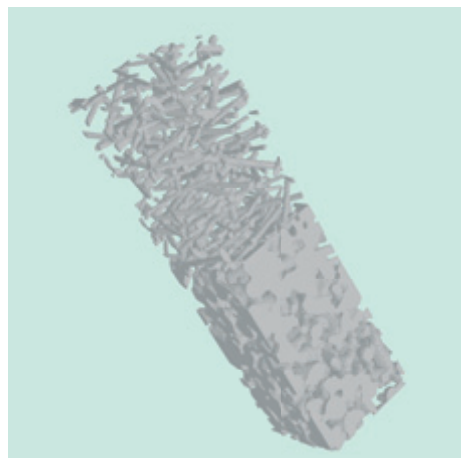
Ausgangspunkt der Betrachtungen ist die virtuelle Geometriegenerierung des Sintersubstrats und der Faserauflage mittels des institutseigenen Strukturgenerators GeoDict. Die Modellierung des Substrats erfolgt auf Grundlage einer virtuellen Packung aus Kugeln und Zylindern, deren Größenverteilung den realen Sinterkörnern ähnlich ist. Durch Anwendung morphologischer Dilation und Erosion erzielt man Strukturen, deren Eigenschaften – wie Porosität oder Sehnenlängenverteilung – mit Schliffbildern realer Proben verglichen und in Einklang gebracht werden. Die Faserauflage wird mithilfe des Vliesstoffgenerators von GeoDict erzeugt. Die benötigten Eingabeparameter wie Porosität

oder Faserorientierung werden ebenfalls aus Schliffbildern realer Proben extrahiert und sind durch den Generierungsprozess in der virtuellen Struktur innerhalb gewisser Schranken garantiert.

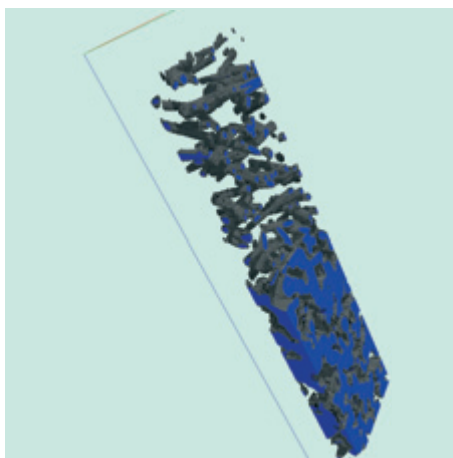
Die Filtrationssimulation in den virtuellen Materialien geschieht mit dem GeoDict-Modul FilterDict. Nach der Spezifikation von Rußpartikelverteilung und verschiedenen Prozessparametern wird iterativ das Strömungsfeld und die Partikelbewegung berechnet. Die Langrangesche Beschreibung der Partikelbewegung berücksichtigt Partikel-Fluid-Reibung, Partikelträgheit und den Einfluss der Brownschen Bewegung. Angelagerte Partikel werden protokolliert und modifizieren die Geometrie für den nächsten Iterationsschritt. Eine große Herausforderung bei der Simulation sind die Skalenunterschiede zwischen dem Filter und den Rußpartikeln. Typischerweise wird der eigentliche Filter im Bereich von wenigen Mikrometern aufgelöst. Die kleinsten Partikel sind dagegen nur einige Nanometer groß. Aus diesem Grund werden Ansammlungen von Partikeln als poröse Strukturen modelliert, an denen wiederum deponiert werden kann. In die Strömungssimula-

tion gehen sie im Rahmen eines Stokes-Brinkmann-Modells als Permeabilitäten ein. Erwähnenswert ist hierbei, dass der Aufbau der porösen Strukturen vorab an hochaufgelösten Einzelfasersimulationen studiert wird und entsprechende Modellparameter für die eigentliche Mikrosimulation abgeleitet werden. Die Simulationen sind im Allgemeinen sehr aufwändig und erfordern den mehrtagigen Einsatz des institutseigenen Parallelrechners.

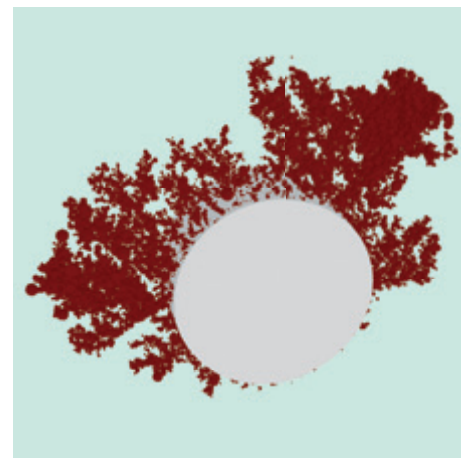
In der vergleichenden Simulation zweier Filter mit und ohne Faserauflage wurde die Verzögerung des Gegendruckanstiegs bei Benutzung einer Faserauflage beobachtet, was einer längeren Standzeit entspricht. Dieses Verhalten wird auch in Experimenten beobachtet.



Partikelfilter mit Faserauflage



Rußeinlagerung im Partikelfilter



Partikelanlagerung im Einzelfaserexperiment



Im Schwerpunkt »Hydrodynamik« werden bereits seit einigen Jahren erfolgreich strömungsdynamische Phänomene in den Bereichen Multiskalen und Multiphysik untersucht und für industrielle und ökologische Anwendungen simuliert. In enger Zusammenarbeit mit anderen Schwerpunkten unserer Abteilung entwickeln wir Algorithmen und Simulationssoftware für

- Überflutungen im städtischen Raum und angrenzenden Einzugsgebieten
- die Kopplung von freier Strömung mit Strömung in porösen Medien, wie sie z. B. beim Durchströmen von Ölfiltern, beim Zusammenspiel von ober- und unterirdischen Gewässerströmungen oder bei der Strömung durch perforierte Wände wirksam ist
- die Wechselwirkung von Strömungen mit deformierbaren Strukturen, die z. B. beim Durchströmen von Filtern zu beobachten sind
- Strömungen durch poröse Medien mit Strukturwechselwirkung auf makroskopischer (Poroelastizität) und mikroskopischer (Fluid-Struktur-Interaktion) Ebene

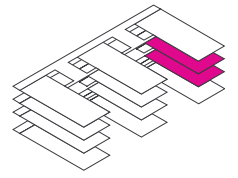
Robustheit und Effizienz der implementierten Algorithmen sind Ergebnisse unserer zielgerichteten Forschung in den Bereichen Finite-Volumen- und Gitter-Boltzmann-Methoden sowie optimale iterative Methoden. Besondere Aufmerksamkeit wird hierbei auch der Entwicklung von numerischen Upscalingverfahren zur Lösung von Multiskalenproblemen zuteil. Die dabei entwickelten Algorithmen finden Verwendung in der Analyse und Prozessoptimierung

- bei der maschinellen Produktion von Glaswolle
- bei der Herstellung von Filtern, speziell von Ölfiltern
- beim Hochwasserschutz im städtischen Raum

Im Bereich »Hochwassermanagement« wird im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts 3Z-Grimex die Software RisUrSim, die bereits die Kopplung zwischen Oberflächen- und Kanalnetzabfluss beinhaltet, auf die Kopplung mit den Grundwasserströmungen und damit auf die Simulation des gesamten urbanen Wasserhaushalts erweitert. Die Verwendung moderner Laserscanner-

datensätze erlaubt mittlerweile die Generierung sehr detaillierter Höhenmodelle der städtischen Oberfläche, so dass hydraulische Simulationen, etwa zur Führung von Überschwemmungsnachweisen, mit großer Realitätsnähe möglich sind.

**Ansprechpartner:**  
Priv.-Doz. Dr. habil. Oleg Iliev  
☎ 06 31/3 16 00-42 29  
oleg.iliev@itwm.fraunhofer.de



## Optimierung von Spinddüsen

In mehreren Projekten mit der URSA International GmbH ist das Fraunhofer ITWM beteiligt an der Simulation, Analyse und Optimierung des Glasfaser-spinnprozesses in der Produktion von Wärmedämmstoffen. Das Ziel des aktuellen Projektes ist die Optimierung von Größe und Verteilung der Spinddüsen in der Zerfaserungsmaschine. Dazu werden die gekoppelten Strömungsprozesse in der Glasreserve und den Spinddüsen untersucht.

Die zentralen Projektaufgaben sind:

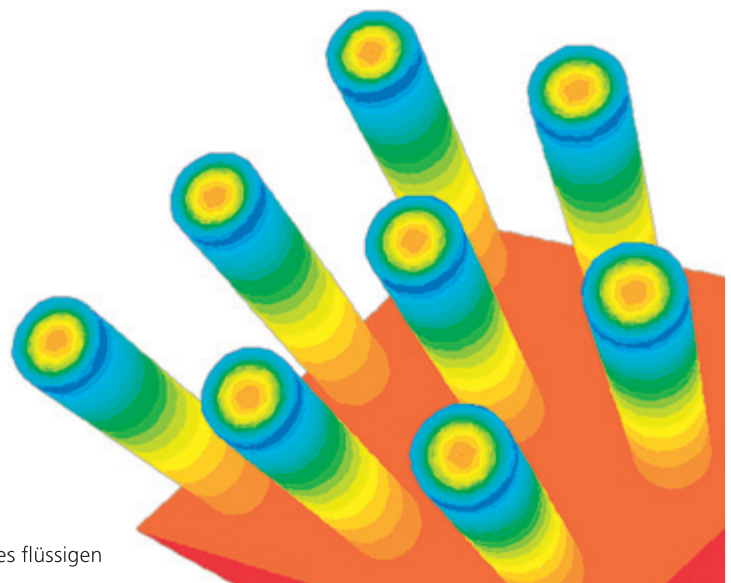
- Analyse der Deformation der Lochscheibe aufgrund mechanischer und thermischer Belastungen
- detaillierte Studie des Einflusses von Temperaturgradienten in den Düsen auf die Temperaturverteilung in den Fasern
- eine Studie der gekoppelten nichtisothermen Strömungen durch die Düsen sowie der Strömung innerhalb der Glasreserve
- Optimierung von Größe und Verteilung der Düsen

Wegen der großen Anzahl der Löcher sind die Spinddüsen klein im Vergleich zur Lochscheibe. Deshalb ist die direkte Simulation, bei der alle Details der Zerfaserungsmaschine aufgelöst werden, auf heute existierenden Computern nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde ein Multiskalenansatz zur Lösung des Problems gewählt. Zunächst wurde für eine kleine, aber repräsentative Anzahl von Düsen die Strömung berechnet. Auf dieser Skala sind alle Details der Düsen auf dem gewählten Berechnungsgitter aufgelöst, so dass die Geschwindigkeiten, der Druck und die Temperatur präzise

bestimmt werden können. Die Resultate werden dazu genutzt, mithilfe eines »Upscaling-Verfahrens« effektive Eigenschaften der Lochscheibe, die dann als effektives poröses Medium betrachtet wird, zu bestimmen. Diese fließen dann in eine Simulation der Zerfaserungsmaschine auf makroskopischer Ebene ein, auf der die einzelnen Düsen nicht mehr im Detail aufgelöst werden können. Die makroskopische Simulation ist eingebettet in eine Optimierungsprozedur. Das Ziel, die Optimierung der Größe und Verteilung der Düsen, wird erreicht durch Iteration der beschriebenen Simulationsschritte auf Mikro- und Makroskala.

Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung am Düsenaustritt sind die kritischen Größen für die Qualität der produzierten Glasfasern. Die Temperaturverteilung im flüssigen Glas in einem Teil der Lochscheibe, einschließlich einiger Düsen, ist unten abgebildet. Zur besseren Visualisierung wird das Scheibenmaterial nicht gezeigt



Temperaturverhalten des flüssigen Glases in den Düsen



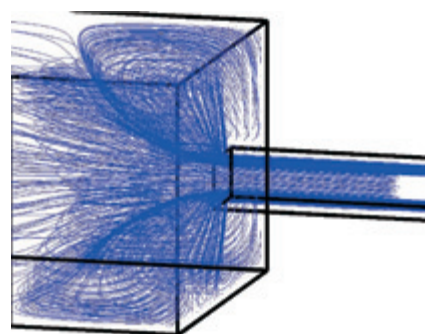
Im diesem Schwerpunkt befassen wir uns mit Strömungen von Flüssigkeiten, deren Fließverhalten stark von dem gewöhnlicher Fluide abweicht. Dazu gehören z. B. Flüssigkeiten oder Suspensionen, deren Viskosität – wie bei Honig oder Polymeren – richtungsabhängig sein kann, oder die sich je nach Strömungsbedingungen wie ein Festkörper, elastisch oder plastisch verhalten. Für die Anwendung besonders interessant sind granulare Medien, Polymerflüssigkeiten, kolloidale Flüssigkeiten, faserverstärkte Kunststoffe, Glasschmelzen sowie biologische Flüssigkeiten.

Für viele industrielle Anwendungen von komplexen Fluiden reichen die Simulationmöglichkeiten, die durch kommerzielle Softwareprodukte zur Verfügung stehen, nicht aus, da entweder die verwendeten mathematisch-physikalischen Modelle oder die eingesetzten numerischen Methoden nicht zur Anwendung passen. Für diese Fälle werden im Schwerpunkt »Komplexe Fluide« Speziallösungen gefunden. So werden zur Zeit in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt Modelle und Algorithmen zur Simulation von granularen Strö-

mungen entwickelt, die in Zusammenarbeit mit der MAGMA Gießereitechnologie GmbH zur Simulation des Fertigungsprozesses von Gussformen aus Sand verwendet werden. Andere industrielle Anwendungen, in denen die Modelle von granularen Strömungen benutzt werden können, sind die Auslegung von Aufgabetrichern und Prozesssimulationen in der pharmazeutischen Industrie, z. B. in der Tablettenproduktion oder in der Lebensmittelindustrie.

Kunststoffe gehören schon lange zu den wichtigsten Werkstoffen der modernen Industrie. Um die Fertigungsprozesse von Kunststoffprodukten optimieren zu können, ist es notwendig, die Strömung von Polymerschmelzen und Polymer-Faser-Suspensionen zu simulieren. Dazu werden eigene Strömungslöser für rheologisch komplizierte Polymerflüssigkeiten und das Verhalten von Kurz- und Langfasern in Polymerschmelzen entwickelt. Um schnell auf Industrieanforderungen reagieren zu können, wurden die einzelnen Module zu granularen Strömungen, Polymerströmungen und Fasersuspensionen in der ITWM-Software CoRheoS – Complex Rheology Solver vereinheitlicht.

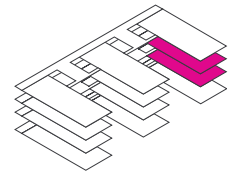
Ein weiterer Fokus der Entwicklungen ist die Simulation von Suspensionen, in denen die Dynamik elektrisch oder magnetisch polarisierbarer Partikel über äußere Felder gesteuert werden kann. Einsatzgebiete dieser Technologie sind z. B. die Simulation dielektrophoretischer Fallen (siehe Seite 37) oder des Verhaltens von Ferrofluiden.



Wirbelbildung in einer Polymerschmelze

## Ansprechpartner:

Priv.-Doz. Dr. habil. Arnulf Latz  
☎ 06 31/3 16 00-43 01  
arnulf.latz@itwm.fraunhofer.de



## Parallele Strömungssimulation mit ParPac

Mit der Entwicklung des parallelen Strömungslösers ParPac (Parallel Partikel Code) wurde bereits 1998 begonnen. Seither wird die Software ständig weiterentwickelt und für zusätzliche Anwendungsfelder nutzbar gemacht. Die wichtigsten Erweiterungen der letzten Jahre sind die Berücksichtigung scherratenabhängiger Viskositäten, die genaue Beschreibung des Strömungsgebiets mittels verbesserter Randbehandlung, die Berücksichtigung von Fluid-Struktur-Interaktion sowie die Modellierung poröser Hindernisse.

Bei Flüssigkeiten, die aus komplexen Molekülen bestehen, insbesondere bei flüssigen Polymeren, hängt die Viskosität – und damit das Fließverhalten – sehr oft von der lokalen Scherrate ab. Durch den Gitter-Boltzmann-Algorithmus, auf dem ParPac basiert, ist es möglich, das bei anderen Verfahren zur Bestimmung lokaler Scherraten notwendige, sehr störungsanfällige numerische Differenzieren zu vermeiden und die lokale Scherrate – und damit die Viskosität – an jedem Punkt des Strömungsgebiets direkt aus bekannten Größen zu berechnen. Ein solcher Algorithmus wurde in ParPac implementiert und erfolgreich zur Simulation der Ausformung flüssiger Kompositmaterialien eingesetzt.

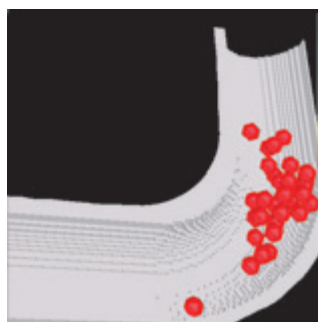
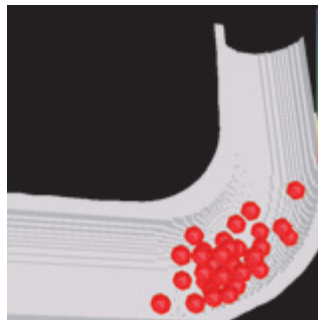
Eine kürzlich veröffentlichte neue Methode zur Randbehandlung in Gitter-Boltzmann-Simulationen hat es ermöglicht, die Form von Wänden und Hindernissen im Strömungsgebiet bei geringem Rechenaufwand exakt zu repräsentieren. Durch die Umsetzung dieses Verfahrens in ParPac wurde u. a. die Modellierung beweglicher Hindernisse im Strömungsgebiet ermöglicht. In einem von der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation geförderten Projekt wird gemeinsam mit dem Institut für

Mikrotechnik Mainz der neue Algorithmus derzeit erfolgreich zur Simulation von Dielektrophoresefällen eingesetzt.

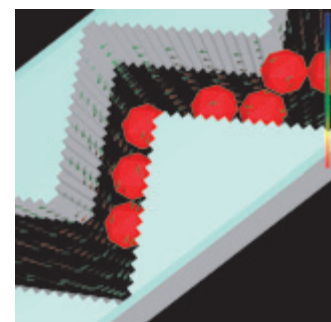
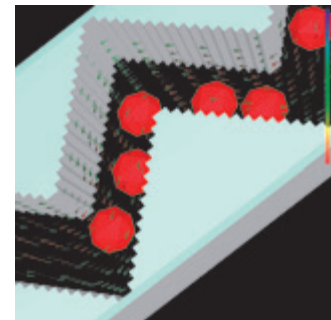
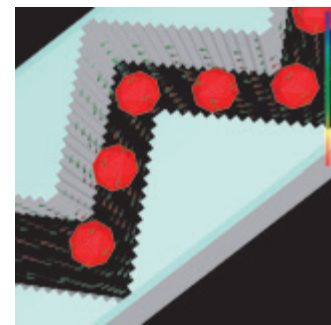
In der Simulation von Filtrationsvorgängen tritt oftmals das Problem auf, dass sich im Strömungsgebiet Partikel anlagern, die so klein sind, dass sie auch mit modernsten Rechenanlagen nicht mehr aufgelöst werden können. Um derartige Anlagerungen behandeln zu können, wurde ParPac um ein Modul erweitert, das es erlaubt, Teile des Rechengebiets als poröse Medien zu interpretieren und die Strömung dort entsprechend zu modellieren. Durch diese

Vorgehensweise können auch winzigste Anlagerungen berücksichtigt werden, ohne dass einzelne Partikel aufgelöst werden müssen. In der Simulation von Rußfiltern konnten mit diesem Ansatz bereits große Erfolge erzielt werden (siehe Seite 33).

Im Rahmen eines DFG-Verbundes zu Gitter-Boltzmann-Methoden werden Levelset-Verfahren zur Interfacerepräsentation mit der Gitter-Boltzmann-Methode kombiniert, um freie Oberflächen und Mehrphasenströmungen robust behandeln zu können.



Simulation von Partikeln in einem gekrümmten Rohr unter Berücksichtigung von Partikel-Partikel-Interaktion und Partikel-Wand-Wechselwirkung



Strömungsfeld und Partikel in einem Kanal vor der Aktivierung des elektrischen Felds, nachdem sich einige Partikel angelagert haben, und im Endzustand (von oben)

In den vergangenen Jahrzehnten wurden große Fortschritte bei der Entwicklung mathematischer Verfahren zur automatischen Bestimmung der optimalen Gestalt von Bauteilen hinsichtlich einzelner physikalischer Eigenschaften, wie z. B. mechanische Steifigkeit, Wärmeleitung oder Strömungswiderstand, erzielt. Die entsprechenden Methoden gewinnen zunehmend an Akzeptanz in der Industrie.

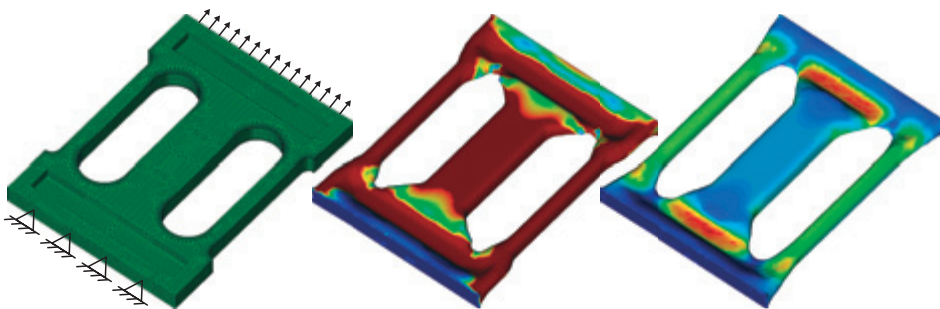
In diesem Bereich wird am ITWM u. a. im vom Land Rheinland-Pfalz und der Europäischen Union geförderten Projekt »MIDPAG – Innovative Methoden zur Integrierten Dimensionierung und Prozessauslegung« daran gearbeitet, diese Technologie auch kleineren Firmen ohne eigene Berechnungsabteilungen zugänglich zu machen und simultan mehrere Kriterien, wie z. B. Herstellungsprozess, Materialeigenschaften oder Bauteilgestalt, bei der Strukturoptimierung zu berücksichtigen.

Als Ziel der Strukturoptimierung wird eine ganzheitliche Verbesserung des Produkts/Bauteils angestrebt, d. h. keine einseitige Verbesserung einer Eigenschaft zulasten anderer Kriterien. Die Schwierigkeiten bestehen dabei in der geeigneten Gewichtung der einzelnen Bauteileigenschaften in einer Zielfunktion sowie in der aufwändigen Simulation, z. B. von Herstellungsprozess und Betriebsverhalten, zur Berechnung der Zielfunktion und ihrer Sensitivität.



Im Berichtszeitraum wurden mathematische Verfahren zur automatischen Topologie- und Gestaltoptimierung von Gussteilen kontinuierlich weiterentwickelt. Die dafür entwickelte Software wurde an CAD-Arbeitsplätzen bei den Kooperationspartnern installiert und getestet.

Die Wünsche und Anforderungen der Projektpartner an die Software wurde regelmäßig bilateral und in größeren Projekttreffen ausführlich diskutiert. Nur so kann Schritt für Schritt ein praxistaugliches Tool entwickelt werden.



Von links: Lagerung und Lastfall der Ausgangsstruktur; Verlauf des topologischen Gradienten in einem Zwischenergebnis der Optimierung; Von Mises-Spannung der optimierten Struktur

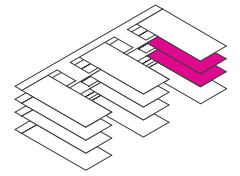
## Ansprechpartner:

Priv.-Doz. Dr. habil. Heiko Andrä

☎ 06 31/3 16 00-44 70

heiko.andrae@itwm.fraunhofer.de





**Biomechanische Simulationssoftware für die präoperative Planung von Knieprothesen**

Knieprothesen werden bei fortgeschrittenem Verschleiß oder bei hochgradiger Zerstörung der Gelenkflächen als künstliches Kniegelenk eingesetzt. Da die Knochen der Patienten unterschiedlich groß sind und eine unterschiedliche innere Struktur besitzen, muss der Chirurg für jeden Patienten einen geeigneten Prothesentyp auswählen und die optimale Position dieses Prothesentyps relativ zu den Knochen bestimmen. Da der Chirurg nicht alle Prothesen direkt am Patienten durchprobieren kann, müssen die Prothesentypen virtuell durch Computersimulation getestet werden. Entsprechende Algorithmen bzw. Softwarepakete werden am Fraunhofer ITWM gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Catania und der Fa. Lima-Lto spa (Italien) entwickelt.

Das Ziel des Projektes ist es, in enger Zusammenarbeit zwischen Ärzten, Ingenieuren und Mathematikern solche Methoden und Algorithmen zu entwickeln, welche die Wahl und die Positionierung der Prothese erleichtern und verbessern, um so die Lebensqualität des Patienten zu verbessern.

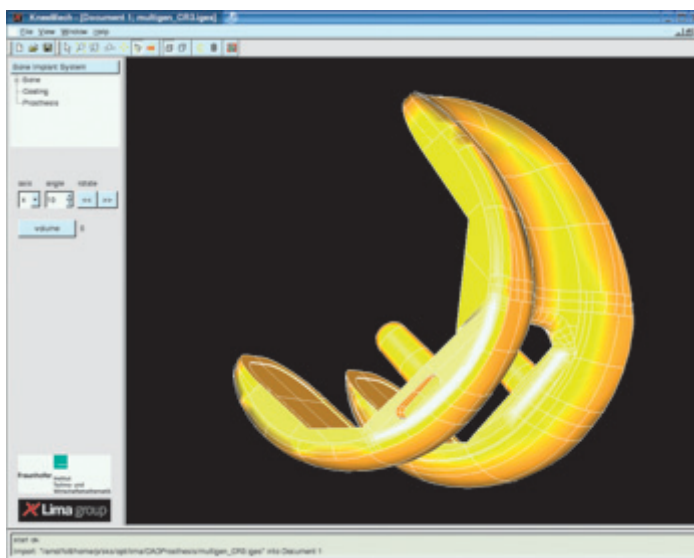
Die entsprechenden Modelle müssen die individuellen Eigenschaften der Knochen des Patienten und der Prothese möglichst genau berücksichtigen. Diese Eigenschaften werden über entsprechende Materialgesetze und deren Parameter in den biomechanischen Modellen berücksichtigt. Eine besondere Bedeutung hat die Kontaktzone zwischen Knochen und Prothese. Die lokale mechanische Beanspruchung der Kontaktzone erzeugt biologische Reize, die zum Knochenaufbau, d.h. zum Einwachsen der Prothese führen. Gerade für die Analyse dieser Zone werden hochgenaue Modelle, welche die Mikrostruktur der Prothesenoberfläche und der Knochen berücksichtigen, entwickelt. Die sogenannten mechanischen Kontaktprobleme für das Prothese-Knochen-System werden mit der Finite-Elemente-Methode numerisch gelöst. Eine hohe Genauigkeit der FE-Simulationen kann nur dann erreicht werden, wenn die Triangulierung des Knochens und der Prothese ausrei-

chend fein ist. Feine Netze führen zu großen linearen Gleichungssystemen, in diesem Fall mit mehreren Millionen Unbekannten. Die Lösung der linearen Gleichungssysteme wird durch speziell für (kostengünstige) Parallelrechner und Mehrprozessor-PCs entwickelte Gebietszerlegungsmethoden wesentlich beschleunigt. Somit können in kurzer Zeit zahlreiche Varianten des Prothese-Knochen-Systems simuliert werden.

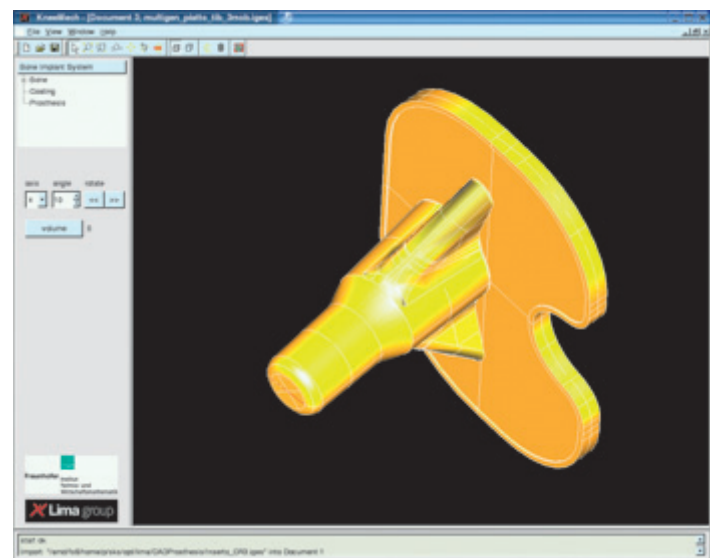
Eine benutzerfreundliche graphische Oberfläche soll dem Chirurg helfen, die Operation des Knochens und die Positionierung der Prothese zuerst virtuell zu realisieren und die mechanische Beanspruchung des Prothese-Knochen-Systems per Computersimulation zu testen. Solche virtuellen Operationen können mehrmals durchgeführt werden, um die beste Entscheidung zu treffen.

Das Ziel des Projektes ist es, in enger Zusammenarbeit zwischen Ärzten, Ingenieuren und Mathematikern solche Methoden und Algorithmen zu entwickeln, welche die Wahl und die Positionierung der Prothese erleichtern und verbessern, um so die Lebensqualität des Patienten zu verbessern.

Die entsprechenden Modelle müssen die individuellen Eigenschaften der Knochen des Patienten und der Prothese möglichst genau berücksichtigen. Diese Eigenschaften werden über entsprechende Materialgesetze und deren Parameter in den biomechanischen Modellen berücksichtigt. Eine besondere Bedeutung hat die Kontaktzone zwischen Knochen und Prothese. Die lokale mechanische Beanspruchung der Kontaktzone erzeugt biologische Reize, die zum Knochenaufbau, d.h. zum Einwachsen der Prothese führen. Gerade für die Analyse dieser Zone werden hochgenaue Modelle, welche die Mikrostruktur der Prothesenoberfläche und der Knochen berücksichtigen, entwickelt. Die sogenannten mechanischen Kontaktprobleme für das Prothese-Knochen-System werden mit der Finite-Elemente-Methode numerisch gelöst. Eine hohe Genauigkeit der FE-Simulationen kann nur dann erreicht werden, wenn die Triangulierung des Knochens und der Prothese ausrei-



Zum Oberschenkel gehörende kreuzbanderhaltende Komponente der Prothese



Tibiale Platte (tibia: Schienbein)

## Modelle und Eigenschaften von Sinterstrukturen

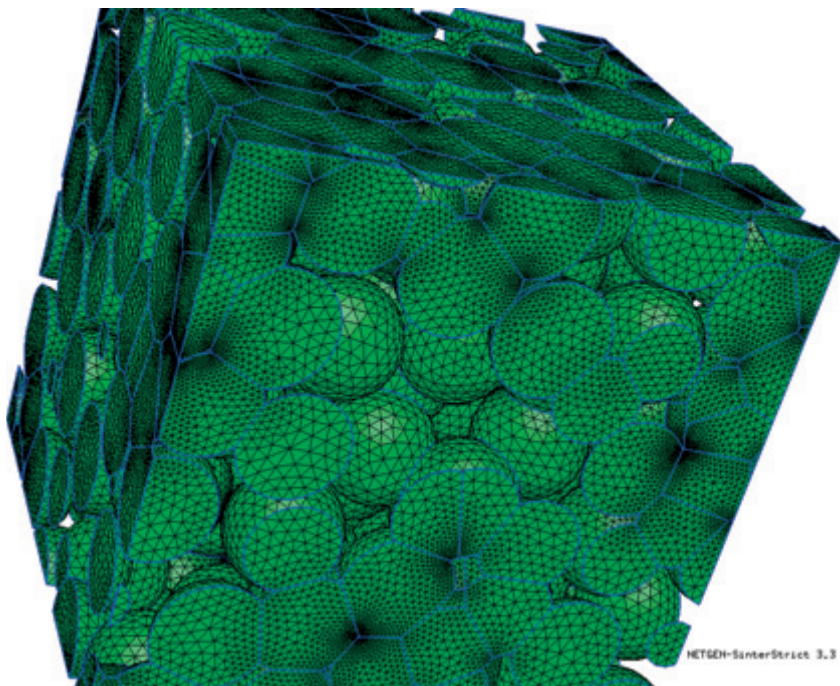
Für jede mesoskopische Simulation zu Herstellungsprozessen und physikalischen Eigenschaften von Bauteilen werden effektive Materialeigenschaften benötigt, die sich aus der zugrundeliegenden Mikrostruktur der verwendeten Materialien berechnen lassen.

Das Fraunhofer ITWM hat im Rahmen des Projekts »MMM-Tools« für den Bereich gesinterter Werkstoffe den Mikrostrukturgenerator SinterDict nach gemeinsam mit Partnern der Fraunhofer-Institute EMI, ISC und IWM spezifizierten Vorgaben entwickelt. Die Software generiert Modelle von Sinterstrukturen für die anfänglichen Grünkörper, die teilgesinterten Gefüge der Zwischenzustände und die Endzustände unter Vorgabe qualitativer und quantitativer Zielgrößen wie Dichte, Korngrößenverteilung, Ein-/Mehrphasigkeit des Gefüges, Körnerart, Formfaktoren und Sehnenlängen, 3D-Periodizität, Fehlstellen

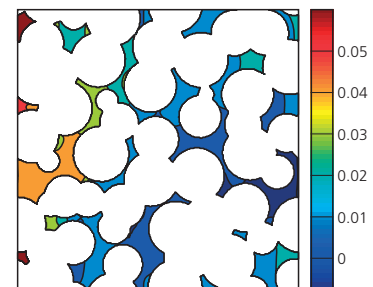
und Agglomerationen. Die erzeugten Strukturen liegen als Dreiecksnetze der Oberflächen und der Schnittflächen sich überlappender Körper, als Volumentetraedernetze und als Voxelgeometrien vor, so dass für weiterführende Eigenschaftsberechnungen verschiedene Methoden auf das jeweils adäquate Format zugreifen können. Einzelkörner der Gefüge sind Ellipsoide, Platelets und Kugeln; Letztgenannte erlauben aufgrund der analytischen Handhabbarkeit der Schnittflächen die Generierung komplexer Polyederstrukturen für Zwischen- und Endzustände. Trotz der Einfachheit kugelförmiger Ausgangskörper gelingt durch geschicktes Arrangieren der Kugelpackungen und der aus ihnen abgeleiteten Mosaik eine gute Übereinstimmung zwischen den geometrischen Eigenschaften der generierten Strukturen und denen realer  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schliffbilder (siehe Seite 45).

In der Abteilung liegt eine Vielzahl effizienter Lösungsverfahren vor, um die effektiven Materialkenngrößen der Sin-

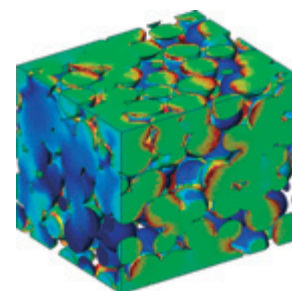
terstrukturen in einem genügend großen repräsentativen Ausschnitt von Hunderten von Sinterkörnern innerhalb weniger Minuten berechnen zu können. Zu den in Projektarbeit einsetzbaren weil mehrfach validierten und auf Effizienz getrimmten Prozessen gehören die Berechnung von Strömungs- und Diffusionseigenschaften im Porenraum sowie von effektiven Wärmeleitkoeffizienten und Steifigkeitstensors, auch bei hoch kontrastierenden Materialkomponenten. Neben den absoluten Permeabilitätstensors unter Stokes- und Navier-Stokes-Bedingungen lassen sich Kapillardruckkurven und sättigungsabhängige relative Größen berechnen sowie auch Filtrationseigenschaften (siehe Seite 33). Für die thermomechanischen Größen können die Lösungsmethoden sowohl auf den Voxel- als auch der Tetraedervernetzung durchgeführt werden.



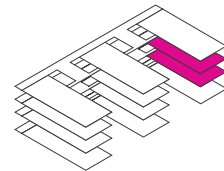
Qualitätsdreiecksgitter der Oberflächen eines generierter Sinterzwischenzustand, dreiphasig, 25% Porosität mit Fehlstellen und Agglomerationen, 3D-periodisch



Fluss in z-Richtung, Druckverteilung in Bar in einem 2D-Schnitt



Spannungsverteilung für Zugbelastung der Probe



Dr. Andreas Wiegmann, Dr. Norman Ettrich, Shankar Maddu, Dr. Guido Thömmes, Dr. Volker Schulz, Dr. Jürgen Becker, Dr. Konrad Steiner, Ashok Kumar Vaikuntam, Alfonso Caiazzo, Emanuel Teichmann, Dr. Aivars Zemitis, Priv.-Doz. Dr. Heiko André, Priv.-Doz. Dr. Arnolf Latz, Dr. Stefan Rief, Sebastian Schmidt, Uldis Strautins, Inga Shklyar, Iuliana Matei, Zahra Lakdawala, Sabine Muntz, Dr. Dariusz Niedziela, Priv.-Doz. Dr. Oleg Iliev

# Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung

Die Abteilung MODELLE UND ALGORITHMEN IN DER BILDVERARBEITUNG entwickelt in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung maßgeschneiderte Lösungen auf dem Gebiet der Bild- und Signalverarbeitung, insbesondere in den Bereichen

- Analyse räumlicher Mikrostrukturen
- Signalanalyse im Eisenbahnbereich
- Oberflächeninspektion
- Szenenanalyse und Stereo-Sehen

Auch 2005 können wir auf ein erfolgreiches Geschäftsjahr zurückblicken. Basierend auf umfangreichen Erfahrungen bei der Entwicklung effizienter komplexer Algorithmen und deren Integration in industrielle Produktionsprozesse haben wir unser Leistungsspektrum sowohl durch eigene Forschung als auch durch Kooperation mit anderen Arbeitsgruppen ständig verbessert und erweitert.

Die Auftragslage bei den Oberflächeninspektionssystemen entwickelt sich sehr gut. Im letzten Jahr wurden die bereits installierten Systeme weiterentwickelt sowie neue Anlagen in Betrieb genommen. Für 2006 sind erneut mehrere Projekte zur Prüfung texturierter Oberflächen geplant (z. B. Leder, Papier, Faserplatten, Metallstanzteile, Fasermaterialien). Im Eisenbahnbereich hat es im vergangenen Jahr viele projektbezogene Entwicklungen gegeben. Im kommenden Jahr wird die Modernisierung der Software zentrales Thema sein.

Das Gebiet der räumlichen Bildanalyse gewinnt durch verbesserte technische Möglichkeiten zur dreidimensionalen Bildgebung zunehmend an Bedeutung. Unsere Arbeiten konzentrieren sich auf die Bestimmung geometrischer Charakteristika der Mikrostruktur von Werkstoffen. Mit MAVI 1.0 wurde ein eigen-

es kommerzielles Softwarepaket zur Analyse von 3D-Bildern entwickelt und auf den Markt gebracht. Um den Kundenanforderungen noch besser gerecht werden zu können, werden 2006 erweiterte Versionen verfügbar sein. So ist unter anderem eine Nutzer-Programmierschnittstelle vorgesehen.

Im Schwerpunkt Szenenanalyse und Stereo-Sehen wurde die Weiterentwicklung des gemeinsam mit Partnern entstandenen Systems zur Suche in Datenbanken oder Videosequenzen kontinuierlich fortgesetzt.

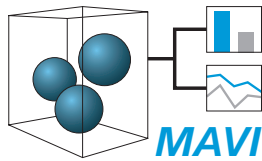
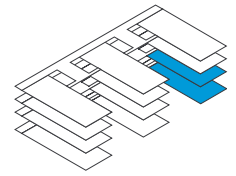
---

## Abteilungsleiter:

Dr. Ronald Rösch

☎ 06 31/3 16 00-44 86

ronald.roesch@itwm.fraunhofer.de



Modular Algorithms for Volume Images



Die Entwicklung neuer Materialien und deren Einsatz z. B. im Leichtbau werfen neue Fragen bei Charakterisierung und Qualitätssicherung auf. Korrelieren das Auftreten großer Poren und die Treibmittelreste in Aluminiumschäumen? Wie sind Lunken in einem Kunststoffgussteil verteilt und welche Größe und Form haben sie? Sind Haarrisse in Keramiken Ergebnis des Herstellungsprozesses oder Artefakte der Präparation von ebenen Anschliffen? Wie bewegen sich Sinterpartikel zu Beginn des Sinterprozesses? Wie sind Mineralschaumkörner aufgeschäumt und wie sind sie im Verbundwerkstoff verteilt? Gibt die räumliche Anordnung von Luft einschüssen Aufschluss über das Alter polaren Eises? Moderne räumliche Abbildungsverfahren, insbesondere Computertomographie, kombiniert mit Verarbeitung und Analyse der resultierenden dreidimensionalen Bild-daten liefern Antworten auf diese und viele weitere Fragen. Am Fraunhofer ITWM wurde MAVI entwickelt – ein plattformunabhängiges Komplettsystem zur Analyse von Volumenbildern, dessen Kern ebenfalls am ITWM entstandene Analyseverfahren bilden.

Die Kombination von Methoden aus stochastischer Geometrie, räumlicher Statistik und Bildanalyse erlaubt neben der anwendungsspezifischen Analyse verschiedenster räumlicher Strukturen auch die Entwicklung und Anpassung geometrischer Modelle als Ausgangspunkt für die numerische Simulation makroskopischer Materialeigenschaften. Interessant ist dieser Zugang nicht nur für das virtuelle Materialdesign (siehe Seite 31), sondern auch für Werkstoffe, von deren Mikrostruktur aufgrund ihrer Feinheit (Nanometerbereich) noch keine Volumenbilder zur Verfügung stehen.

---

#### **Ansprechpartnerin:**

Dr. Katja Schladitz

☎ 06 31/3 16 00-46 25

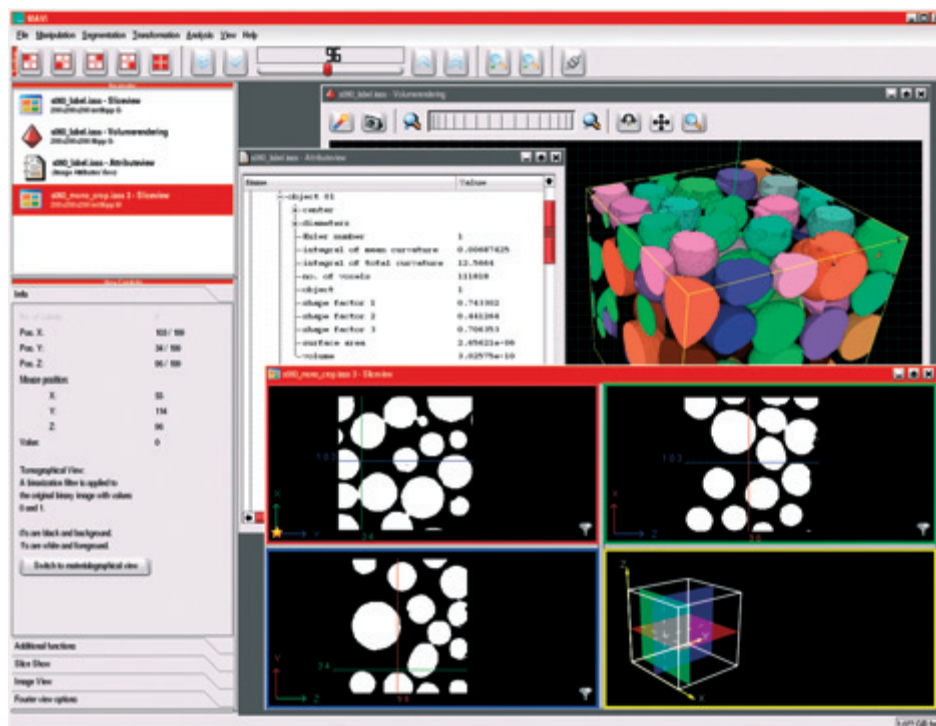
katja.schladitz@itwm.fraunhofer.de

## MAVI – Modulare Algorithmen für Volumenbilder

MAVI ist ein modulares Softwaresystem für die Verarbeitung und Analyse von Volumenbildern, wie sie z. B. in der Microcomputertomographie erzeugt werden.

MAVI ist besonders geeignet für die quantitative Analyse von Mikrostrukturen verschiedenster Werkstoffe, z. B. von Schäumen, Faserverbundwerkstoffen, Vlies, Keramik oder Beton. Aufgrund seiner modularen Struktur ist MAVI jedoch auch für dreidimensionale Bilder anderer Strukturen wie Knochen oder Schnee sofort anwendbar. Wegen seiner graphischen Benutzeroberfläche ist das Programm einfach zu handhaben und ermöglicht es so auch ungeübten Benutzern, zügig erste Ergebnisse zu erzielen. MAVI konzentriert sich auf Funktionen zur Charakterisierung der komplexen Geometrie von Mikrostrukturen. Volumen, Oberfläche, Krümmungsintegrale und die Eulerzahl werden für die vollständige Struktur oder für einzelne Objekte bestimmt. Anisotropien und bevorzugte Richtungen werden nicht nur gefunden, sondern auch quantifiziert. Weiterhin stehen verschiedene Filter und Transformationen, wie die aus der zweidimensionalen Bildverarbeitung bekannten Funktionen wie Filter, morphologische Transformationen, arithmetische und logische Operationen oder Fouriertransformation, vielfältige Techniken zur Segmentierung und Objektisolierung sowie Funktionen zur Manipulation und Aufbereitung von Datensätzen zur Verfügung.

Die Kombination der Funktionen erlaubt z. B. die Bestimmung von Anzahl und Dicke perkolierender Poren oder der mittleren Koordinationszahl zusammenhängender Teilchen sowie die bildanalytische Messung der Tortuosität. Für einige komplexe, aber häufig benö-

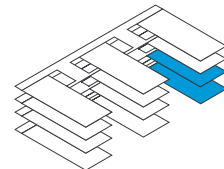


Grafische Oberfläche zu MAVI

tigte Anwendungen wie die Entfernung von Rauschpartikeln oder die Trennung zusammenhängender Objekte wurden die Algorithmen zu benutzerfreundlichen Modulen zusammengefasst. Offenporige Schäume können mittels einer eigenen Analysefunktion untersucht werden.

Neben dem eigenen Bildformat für Volumenbilder kann MAVI Bilddaten in verschiedenen Datenformaten einlesen. Die Möglichkeiten reichen vom Import von Rohdaten und dem Einlesen von AVS-Datensätzen bis zum Import von 2D-Bildstapeln und DICOM-Datensätzen. Bilder können im eigenen Bildformat gespeichert werden oder als 2D-Bildscheiben exportiert werden. Die Messergebnisse können als CSV-Datei (Character Separated Values, die einzelnen Werte durch ein spezielles Trennzeichen getrennt) exportiert werden. Neben den Bildverarbeitungs- und Analysefunktionen bietet MAVI drei Visualisierungsmöglichkeiten für Volumenbilder.

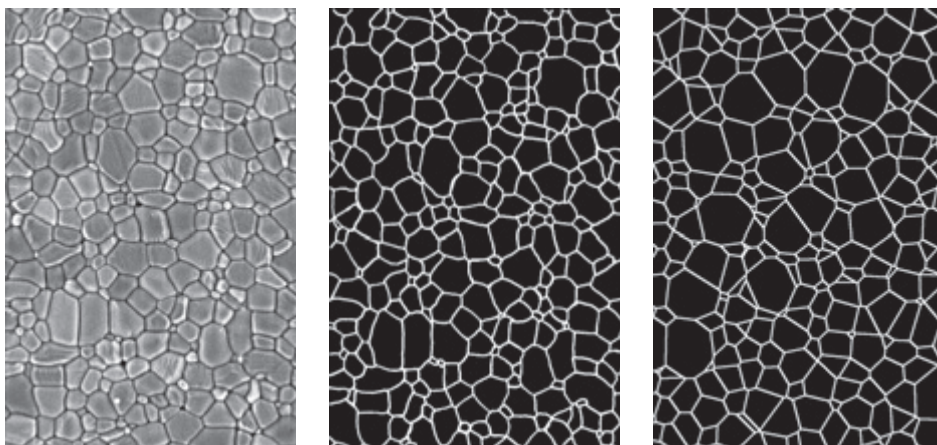
Das ITWM bietet die Analyse von Mikrostrukturen auch als Serviceleistung an. Die Bandbreite der untersuchten Materialien reicht dabei von Metall- und Polymerschäumen, Keramikmaterialien, Beton, Faservliesen für Staubsaugertüten bis zu Schnee.



## Modellierung von Sinterstrukturen

Mathematische Modelle für die Geometrie von Sinterstrukturen sind in der Werkstoffforschung gefragt, weil sie ein gezieltes Material- und Prozessdesign und damit die Optimierung der Eigenschaften von Werkstoffen und Bauteilen ermöglichen. Innerhalb des Teilprojekts »Sinterwerkstoffe« des Fraunhofer-internen MAVO-Projektes »Entwicklung von durchgängigen Multiskalen-Material-Modellierungen (MMM-Tools)« entwickelte die Abteilung Modelle zur Beschreibung der geometrischen Struktur von Sintermaterialien in verschiedenen Phasen des Sinterprozesses. Die anhand des Modells generierten Werkstoffstrukturen dienen dann als Startkonfiguration für die Berechnung von Materialeigenschaften (siehe Seite 40).

Für den Anfangszustand haben sich dichte Packungen als geeignete Modelle erwiesen. Der verwendete Algorithmus erlaubt die Erzeugung von Systemen von Kugeln oder Ellipsoiden mit verschiedenen Form- und Größenverteilungen; Volumendichten über 60 % sind dabei möglich. Der Endzustand, in dem das Material den Raum vollständig ausfüllt, wird durch ein räumliches Mosaik beschrieben. Besonders geeignet ist hierfür das Laguerre-Mosaik, eine

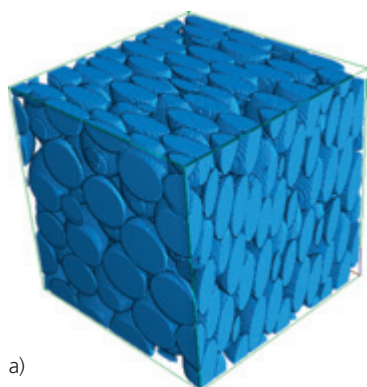


Von links:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mikroskopische Aufnahme eines ebenen Anschliffs (Fraunhofer IKTS, Dr. A. Krell); korrespondierendes Kantenbild; Schnitt durch 3D-Modell

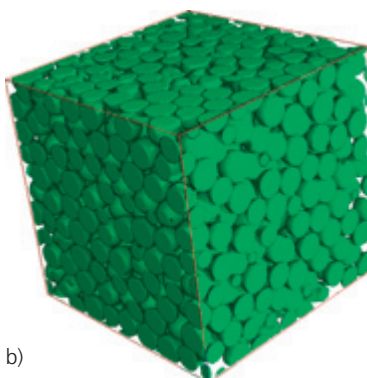
gewichtete Verallgemeinerung des Voronoi-Mosaiks. Zwischenzustände, in denen die Porosität noch nicht vollständig geschlossen ist, können mittels eines Wachstumsprozesses kontinuierlich aus dem Anfangszustand generiert werden.

Die Anpassung der Modelle erfolgt anhand geometrischer Kenngrößen der Werkstoffe, wie mittlere Korngröße oder Porosität, die durch Analyse von Aufnahmen des Materials bestimmt werden. Hierzu werden bevorzugt Volumenbilder herangezogen. Teilweise ist die Erstellung dreidimensionaler Aufnahmen jedoch aufgrund der Feinheit der Werkstoffe nicht möglich.

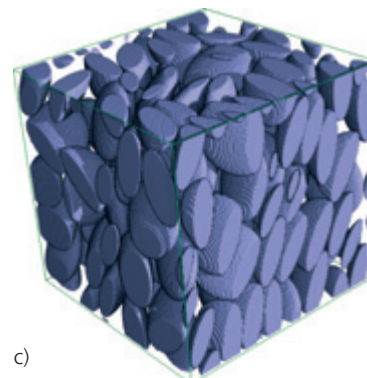
Die Auflösungsgrenze für Mikro-Computertomographie ( $\mu\text{CT}$ ) liegt derzeit bei etwa  $1\ \mu\text{m}$ . In gesintertem Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) beispielsweise hat man dagegen mittlere Partikelgrößen von  $0,1\text{--}0,15\ \mu\text{m}$  im Anfangszustand bzw.  $0,4\text{--}0,7\ \mu\text{m}$  im Endzustand. Diese Auflösungen sind durch mikroskopische Verfahren erreichbar, allerdings können so lediglich zweidimensionale Schnittbilder gewonnen werden. Aus diesen werden die benötigten Informationen mittels stereologischer Methoden bestimmt. Weitere Charakteristiken, z. B. die Paarkorrelationsfunktion der Partikelzentren oder die Sehnenlängenverteilung, dienen der Validierung der erzeugten Strukturen.



a)



b)



c)

Simulierte dichte Packungen:

a) Rotationsellipsoide, anisotrop b) Kugeln c) Rotationsellipsoide, isotrop



Die Qualität eines Produkts hängt in sehr vielen Fällen direkt mit der Qualität der Produktoberfläche zusammen. Der Kunde erwartet eine einwandfreie Optik; Kratzer auf Autotüren, Flecken auf Papier, Farbfehler in Holzoberflächen sind unerwünscht. Darüber hinaus bestimmen Eigenschaften der Materialoberfläche häufig auch unmittelbar die Funktionalität des Produkts. So machen Risse in Gussteilen diese zum Ausschuss, fehlerhafte Gummibeschichtungen vermindern das Dichtverhalten, und Zubehörteile für medizinische Mess-Systeme müssen einwandfrei sein, um zuverlässige Ergebnisse zu liefern.

Viele Firmen setzen auf manuelle Qualitätskontrollen, die von speziell geschultem Prüfpersonal durchgeführt werden. Auch wenn ein Mensch solche Prüfaufgaben sehr flexibel lösen kann, hat die manuelle Kontrolle nicht nur Vorteile. Je nach Tagesform schwanken die Prüfergebnisse, und es muss ein Kompromiss eingegangen werden zwischen einer nur stichprobenhaften Kontrolle direkt in der Produktion und einer Hundert-Prozent-Kontrolle – diese allerdings mit zeitlicher Verzögerung.

Die Abteilung MODELLE UND ALGORITHMEN IN DER BILDVERARBEITUNG entwickelt Systeme zur automatischen Online-Oberflächeninspektion von verschiedensten Materialien und Pro-

dukten. Dadurch gewinnt der Hersteller die Möglichkeit, hundert Prozent seiner Produktion objektiv und direkt im Produktionsprozess zu untersuchen und gegebenenfalls zeitnah einzugreifen.

Die Anwendungsgebiete sind weitreichend, sowohl bezüglich der untersuchten Materialien als auch bezüglich der interessierenden Oberflächeneigenschaften. Mit MASC (Modular Algorithms for Surface Control) existiert ein modulares System, das eine Vielzahl an einsatzbereiten Tools und Systemkomponenten umfasst. Somit bietet es eine geeignete Basis für schnelle und flexible Lösungen, um der Vielzahl an Anwendungsbereichen gerecht zu werden.

In den beiden folgenden Projektbeispielen werden aktuelle Entwicklungen am ITWM vorgestellt.

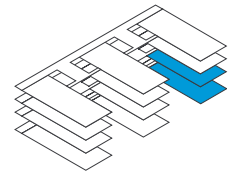
#### **Ansprechpartner:**

Dipl.-Inform. Markus Rauhut

☎ 06 31/3 16 00-45 95

markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de





## Qualitätskontrolle von Deckenplatten

Deckenplatten werden in Gebäuden u. a. als Brandschutz, zur Wärmedämmung und zur Verbesserung der Raumakustik eingesetzt. Sie sind in einer Vielzahl verschiedener Oberflächendesigns verfügbar, die – abgesehen vom optischen Erscheinungsbild – jeweils unterschiedliche akustische Eigenschaften aufweisen.

Schwankende Qualität der Rohmaterialien, aber auch Unregelmäßigkeiten während des Herstellungsprozesses können sich in einer breiten Palette von sichtbaren Defekten auf den Platten ausdrücken: Einrisse oder Ausbrüche, Erhebungen, Vertiefungen oder Verfärbungen der Oberfläche, fehlende oder falsche Musterungen sind nur einige Beispiele. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die genannten Defekte meist inmitten der erwünschten Oberflächengestaltung befinden und selbst vom menschlichen Auge nur schwer auszumachen sind. Raue Produktionsbedingungen mit Staub- und Hitzeentwicklung stellen darüber hinaus besondere Anforderungen an die Robustheit von Hard- und Software gegenüber störenden Umgebungseinflüssen.

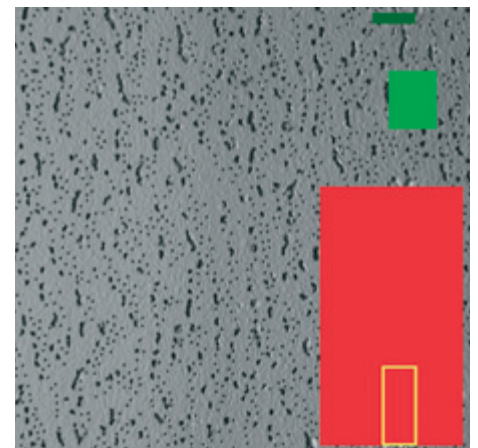
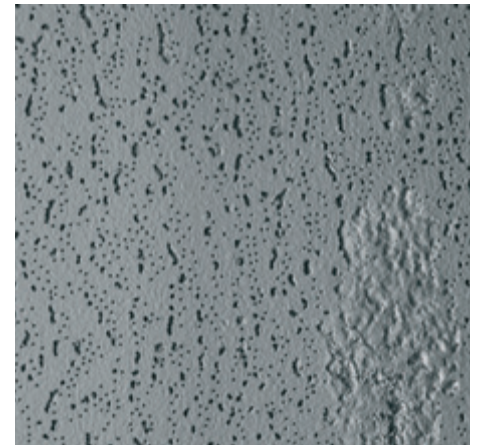
In Kooperation des ITWM mit der Fachhochschule Aschaffenburg und einem großen deutschen Hersteller wurde im letzten Jahr, nach mehrjähriger Forschungs- und Entwicklungsphase, ein automatisches Inspektionssystem für Deckenplatten erfolgreich in Betrieb genommen.

### Systemaufbau und Bildverarbeitung

Das System besteht aus acht hochauflösenden Kameras, die zusammen eine Produktion von 2,50 m Breite mit Geschwindigkeiten bis 45 m/min überwachen. Ausgewertet werden die Daten

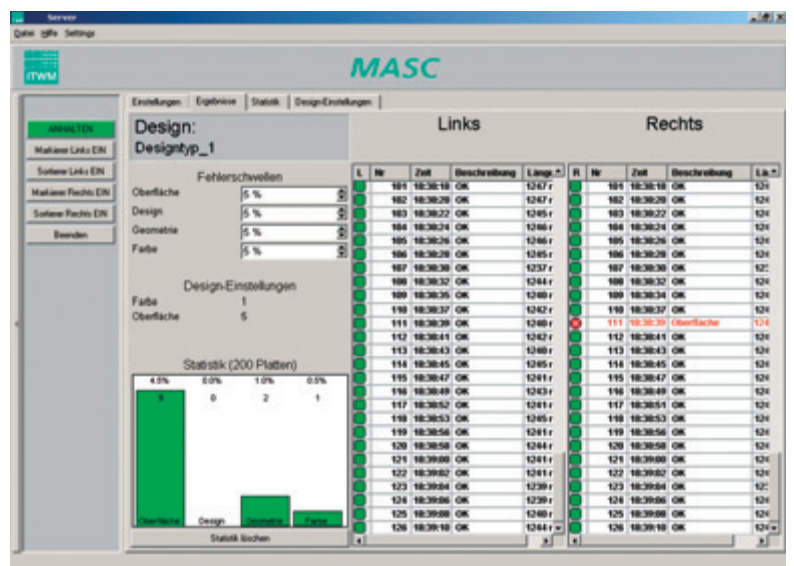
von insgesamt neun Rechnern – acht zur Bildanalyse und einem Server, der als Leitstand fungiert. Bei der Bilderfassung werden zwei verschiedene Beleuchtungsarten (Auflicht und Schrägllicht) eingesetzt, da bestimmte Oberflächendefekte (z. B. Kratzer und raue Stellen auf der Oberfläche) jeweils nur aus bestimmten Blickwinkeln sichtbar sind.

Für die Detektionssoftware wurde ein modulares und frei konfigurierbares Framework entwickelt, welches es erlaubt, Operationen (z. B. Faltungen, Filter, Segmentierungen) effizient auf den Kameradaten durchzuführen. Die Bilder werden von hochoptimierten Algorithmen in einem mehrstufigen Prozess gezielt auf Defektregionen hin untersucht. Das Oberflächendesign der Deckenplatten wird für die Analyse ausgeblendet. Die Systemsoftware ist als Komponente des MASC-Systems realisiert und wird, mit dem Ziel einer hohen Detektionsqualität bei gesteigerter Geschwindigkeit, kontinuierlich weiterentwickelt.



Deckenplatte mit Fehlern (oben) und das Ergebnis der Inspektion

Grafische Oberfläche des Inspektionssystems



## Qualitätskontrolle von Leder

Im Jahr 2005 wurden die Arbeiten an einem Inspektionssystem für Naturleder fortgesetzt. Beim Kunden wurde eine Prototypanlage installiert, wodurch es nun möglich ist, das Verhalten des Systems unter nahezu realen Bedingungen zu testen und zu optimieren. Dank der Prototypanlage stehen jetzt zum ersten Mal größere Mengen an Bildmaterial zur Verfügung. Damit sind nun die Voraussetzungen gegeben, die Auswertelgorithmen zu optimieren.

Aufgrund der großen Datenmengen müssen die Berechnungen von einem Rechnerverbund durchgeführt werden. Dies stellt besonders hohe Anforderungen an die Systemsoftware, die nicht nur eine schnelle zuverlässige Bildaufnahme leisten muss, sondern auch für eine optimale adaptive Verteilung der Berechnungslast auf die einzelnen Verbundknoten sorgt. Die ersten Versuche mit dem Gesamtsystem verliefen positiv. Anfängliche Schwierigkeiten konnten schnell überwunden werden, das System arbeitet jetzt stabil. In wiederholten Tests konnte die Echtzeitfähigkeit der Software demonstriert werden, die Detektionsergebnisse liegen gleichzeitig mit dem Beenden der Bildaufnahme vor. Der Detektionsalgorithmus arbeitet schnell und zuverlässig, die Ergebnisse sind nahezu zufriedenstellend. Vereinzelt schwächere Defekte werden nicht gefunden, und die Anzahl der detektierten Regionen, die nicht Fehlern, sondern natürlichen Lederstrukturen entsprechen, muss noch reduziert werden. Eine erste Version des Grading-Verfahrens konnte realisiert und getestet werden. Auch diese Komponente liefert bereits sehr vernünftige Resultate.

In der nächsten Phase werden große Mengen an Bildbeispielen gesammelt und zusammen mit den Mitarbeitern vor Ort bewertet und sortiert. Die-



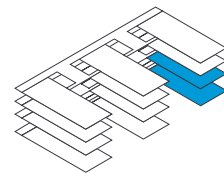
se große Datenbasis ist notwendig, damit alle möglichen Erscheinungen von Lederstrukturen erfasst werden. Nur unter diesen Bedingungen kann ein elektronisches System mit menschlichen Prüfern konkurrieren.

Die sehr vielfältigen und quantitativ nur sehr schwer fassbaren natürlichen Ledermuster machen das Vorhaben aus Sicht der Algorithmik zu einer besonderen Herausforderung. Nichtsdestotrotz bestärken uns die erzielten Teilerfolge und gewonnenen Erfahrungen in der Überzeugung, ein funktionstüchtiges Inspektionssystem in nicht allzu ferner Zukunft realisieren zu können.

Das Ziel des Projekts – ein System für die automatische Bewertung von Naturleder zu konstruieren – ist in greifbare Nähe gerückt.

Leder in Naturtrocknung (oben) und beim Abwalken (rechts)





Heißgelaufene Achslager und feststehende Bremsen an Eisenbahnzügen können erhebliche Kosten durch Materialschäden verursachen. Um kritische Zustände zu erkennen und Probleme zu vermeiden, ist eine Kontrolle dieser Bauteile im laufenden Betrieb notwendig. Die Lösung besteht darin, mit Hilfe von Sensoren im Gleisbett die Wärmeabstrahlung der vorbeifahrenden Fahrgestelle zu ermitteln und mittels mathematischer Methoden zu analysieren.

In langjähriger erfolgreicher Zusammenarbeit mit der Firma GE Transportation Systems wird am Fraunhofer ITWM die Software der Fahrwerküberwachungsschwelle (FÜS) entwickelt, die bereits auf über 600 Anlagen in Europa eingesetzt wird. Die Software analysiert Strahlungsprofile, die mithilfe von Infrarotsensoren aufgezeichnet werden, erkennt Überhitzung und signalisiert dies einer Meldestelle der Bahngesellschaft. Spezielle Klassifikationsalgorithmen ermitteln anhand der Messdaten die Fahrstell- und Bremsenbauart und erlauben das Einstellen individueller Alarmparameter für einzelne Fahrzeugtypen. Zur Vermeidung von Fehlalarmen wird darüber hinaus eine Erkennung und Filterung unerwünschter Störstrahlung, etwa von Bremsklötzen, durchgeführt.

Der Auswerterechner besteht aus einem Industrie-PC mit speziellen Zusatzkomponenten und läuft unter Linux.

Die Auswertung der Daten erfolgt in Echtzeit; somit ist es möglich, kritische Betriebstemperaturen ohne Zeitverzögerung an die Bahnzentrale oder, z. B. per Funk, an den Zugführer zu melden, um Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Um einen unbeaufsichtigten Dauerbetrieb zu ermöglichen, existieren darüber hinaus eine Reihe von Selbstdiagnose- und Korrekturverfahren, die permanent die Hardware überwachen und selbst bei Teilausfällen einen Weiterbetrieb ermöglichen. Auch schleichende Veränderungen, wie etwa das Abdriften der Messwerte durch alternde Hardware, lassen sich damit kompensieren.

---

#### **Ansprechpartner:**

Dipl.-Inform. Thomas Redenbach  
☎ 06 31/3 16 00-45 37  
thomas.redenbach@itwm.fraunhofer.de

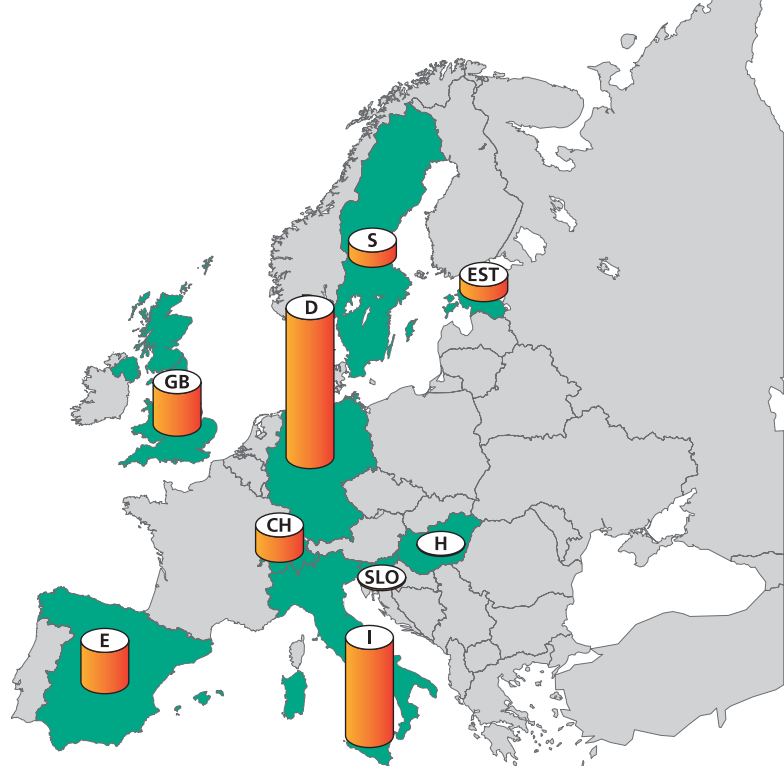
Im vergangenen Jahr wurden Neuinstallationen des FÜS-Systems in mehreren europäischen Ländern vorgenommen. Bedingt durch die Anforderungen der jeweiligen Bahngesellschaft sind dabei oft spezielle Anpassungen und Erweiterungen am System notwendig.

Eine wichtige Aufgabe der Softwareentwicklung besteht darin, Erweiterungen und Modifikationen möglichst konsistent in das Gesamtsystem zu integrieren, so dass auch Endkunden in anderen Ländern von den neuen Funktionen profitieren. Das FÜS-System besteht zu diesem Zweck aus modularen Komponenten, die es uns ermöglichen, regionale Anpassungen zusammen mit der allgemeinen Grundfunktionalität in einer einheitlichen Softwaredatenbank zu verwalten und spezielle Anpassungen für einzelne Kunden durch einfache Konfigurationsänderungen ein- oder auszuschalten.

## Neuentwicklungen in der Software

Insbesondere auf abschüssigen Strecken, wie sie z. B. in Gebirgsregionen häufig zu finden sind, müssen Züge oft über längere Wegstrecken abgebremst werden. Als Folge erhitzen sich die Bremsen nicht selten auf mehrere hundert Grad Celsius. Während Scheibenbremsen dies problemlos verkraften, erreichen Klotzbremsen dabei schnell kritische Betriebstemperaturen.

Um einerseits Schäden am Material, andererseits aber auch Fehlalarme zu vermeiden, muss das System zuverlässig zwischen den eingesetzten Bremstypen unterscheiden und seine Alarmgrenzen entsprechend anpassen. Zu diesem Zweck wurde im letzten Jahr ein neues Klassifikatormodul entwickelt, welches mit dem Verfahren der Diskriminanzklassifikation arbeitet und Erkennungsraten von nahezu hundert Prozent erreicht.



FÜS-Anlagen in Europa

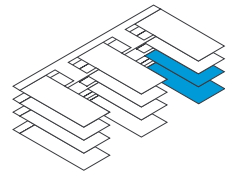
Das entwickelte Modul eignet sich ebenso für die Erkennung störender Sonneneinstrahlung auf den Mess-Sensoren. Diese tritt vorwiegend bei einer bestimmten geographischen Ausrichtung der Anlage und bei tiefem Sonnenstand im Frühjahr bzw. Herbst auf und kann Messungen negativ beeinflussen. Wird durch den Klassifikator das Auftreten der Strahlung erkannt, so können spezielle Algorithmen den Sonnenanteil aus den Daten herausfiltern.

Weitere Verbesserungen wurden im Bereich der Fahrzeugerkennung selbst

vorgenommen. Einzelne Fahrzeugtypen – aber auch ganze Verbände – lassen sich grundsätzlich anhand ihrer Achsabstände identifizieren. Die Qualität dieser Identifikation konnte im vergangenen Jahr deutlich gesteigert werden. Durch verbesserte Verfahren zur Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsberechnung eines Zuges lassen sich nun Abstände bis auf wenige Millimeter genau bestimmen. Neu ist auch die Möglichkeit, zulässige Waggonkombinationen zu definieren, was zusätzlich hilft, Fehlklassifikationen zu vermeiden.

FÜS-Mess-Schwelle mit Steuerschrank





lich leistungsfähigen Instrument entwickelt. Die Suche nach bestimmten Begriffen und Texten ist weltweit in kürzester Zeit möglich. Maschinen zur Suche von Bildern bzw. Bildinformationen beschränken sich jedoch meist auf die Suche in den Begleittexten der Bilddaten. Deshalb sollen zukünftige Internetsuchmaschinen auch die Suche nach ähnlichen Bildern ermöglichen.

- Kameragestützte Überwachungssysteme

Für verteilte Kamerasysteme gab es noch keine Lösungen, die ereignisgesteuert mit hoher Geschwindigkeit Objekte lokalisieren. Die besonderen Anforderungen in diesem Bereich sind verbunden mit einer Prozess-Synchronisation und der schnellen Abarbeitung der Analyseprozesse. Die zu erwartenden Datenmengen stellen daher hohe Anforderungen an eine frühzeitige Datenreduktion und an die Systemleistung.

Hauptaufgabe des Fraunhofer ITWM war die Entwicklung einer Architektur für verteilte Systeme, die als Basisplattform für die notwendigen Bildverarbeitungs- und Datenbankmodule eingesetzt werden kann, um obige Anwendungsszenarien umzusetzen. Weitere Aufgaben waren:

- Integration der Partnerkomponenten in das Gesamtsystem
- Qualitätssicherung
- Realisierung automatischer Optimierungsverfahren innerhalb des Systems

## **Ansprechpartner:**

Dipl.-Inform. Markus Rauhut  
☎ 06 31/3 16 00-45 95  
markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## **I-Search: Entwicklung einer inhaltsbasierten Bildsuchmaschine auf verteilten Systemen**

Existierende Bildanalyzesysteme sind meist sehr langsam und von ihrem Einsatzbereich her eingeschränkt. Durch die Zusammenarbeit mit Partnern aus dem Bereich der inhaltsbasierten Bildanalyse, der parallelen Online-Bildverarbeitung und mit mittelständischen Unternehmen sollte ein neues leistungsfähiges System entstehen.

Für dieses System sollten Algorithmen und eine parallele Softwarearchitektur entwickelt werden, die es ermöglichen, eine leistungsfähige inhaltsbasierte Bildsuchmaschine aufzubauen. Dazu mussten Verfahren der schnellen Online-Bildverarbeitung auf verteilten Systemen mit leistungsfähigen Algorithmen kombiniert und mit Datenbank- und Internet-Technologie verknüpft werden.

Ein Kernpunkt dieses Projektes basiert auf den folgenden Anwendungsszenarien:

- Internetsuchmaschine

Internetsuchmaschinen haben sich in vielen Bereichen zu einem außerordent-

## I-Search: Ergebnisse

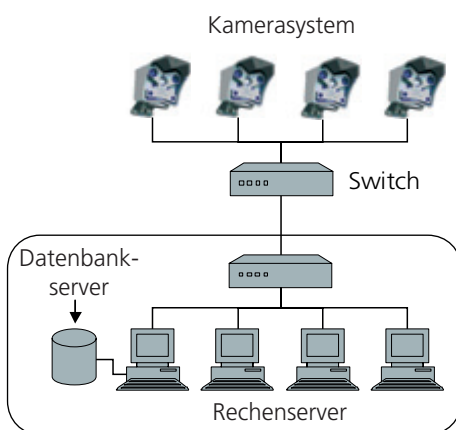
Das I-Search Projekt wurde im Juni 2005 erfolgreich abgeschlossen.

Die entwickelte Architektur für ein spezialisiertes verteiltes System zur Bildanalyse (Kameraüberwachung, Bildähnlichkeitssuche) wurde auf einem realen Rechnercluster, bestehend aus 15 Rechnerknoten, implementiert und getestet. Weiterhin wurden Mechanismen zur Optimierung und Stabilisierung von Bildverarbeitungsalgorithmen entwickelt und implementiert.

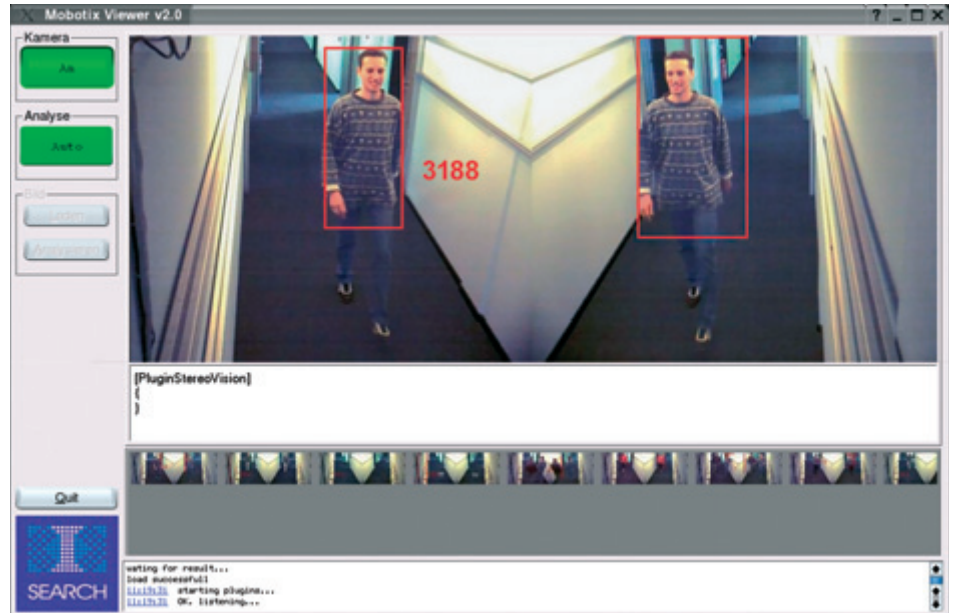
Im Rahmen des Projekts wurde am ITWM eine vollständige Testumgebung bestehend aus dem Rechner-Cluster, mehreren verschiedenen Kameras und speziell angepasster Beleuchtung installiert. Alle entwickelten Verfahren können mithilfe der Testumgebung online getestet werden.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Integration vieler Einzellösungen aus den Bereichen Bildähnlichkeitssuche und Kameraüberwachung sowie die Entwicklung neuer Verfahren zur Verbesserung der Praxistauglichkeit.

Die Partner im I-Search-Projekt lieferten dazu verschiedene Module, die durch



Infrastruktur der I-Search-Hardware



Benutzeroberfläche für die Stereobildanalyse

einheitliche Schnittstellen zu einem Gesamtsystem kombiniert wurden. So entwickelte die Universität Freiburg ein Gesichtsfindungsmodul, das Bilder, in denen Gesichter zu sehen sind, herausfiltert. Zur Bestimmung von Entfernung, Größe und Bewegung von Personen und Gegenständen implementierte die Firma Mobotix ein Stereobildanalysemodul.

Eine weitere wichtige Komponente war die inhaltsbasierte Bildähnlichkeitssuche der Universität Freiburg, die es ermöglicht, zu einem vorgegebenen Eingabebild ähnliche Bilder in einer Datenbank zu finden. Alle Bilddaten wurden in das von der Firma Tecmath entwickelte Medienarchiv abgelegt. Über das Medienarchiv kann dann nach Bildmetadaten wie z. B. dem Aufnahmedatum gesucht werden.

Folgende Einzelziele wurden bei Abschluss des Projekts erreicht:

- Entwicklung neuer Organisationsformen für verteilte Systeme mit effizienter Auslastung von Rechner-Clustern

- Entwicklung einer ausfallsicheren, verteilten Systemarchitektur für Bildanalysesysteme
- neue Verfahren zum statischen Scheduling von Bildverarbeitungsalgorithmen
- neue Verfahren zur Kombination von verschiedenen Bildanalysen zur Verbesserung von Bilderkennungsraten
- Entwicklung eines praxistauglichen Gesamtkonzepts zur Überwachung von öffentlichen Räumen, bestehend aus Hardware, Kameratechnik, Systemarchitektur, Datenverwaltung und Bildverarbeitungssoftware
- neue Konzepte und Werkzeuge zur Parallelisierung von Bildverarbeitungsalgorithmen
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse aus den Bereichen Scheduling, Optimierung von Bildverarbeitungsalgorithmen, Lastverteilung und Ausfallsicherheit von verteilten Systemen.



Stefanie Peters, Björn Wagner, Tetyana Sych, Monika Muszkieta, Martin Braun, Falco Hirschenberger, Oliver Wirjadi, Kai Taeubner, Andreas Dinges, Kai Krüger, Mark Maasland, Andreas Jablonski, Kristina Kohrt, Prof. Dr. Martin Böhm, Claudia Lautensack, Thomas Redenbach, Steffen Polanski, Franz Schreiber, Markus Rauhut, Dr. Ronald Rösch, Dr. Katja Schladitz, Michael Godehardt

# Adaptive Systeme

Die daten- und wissensbasierte Modellierung komplexer technischer und biologischer Systeme und Prozesse steht im Zentrum der Aktivitäten der Abteilung ADAPTIVE SYSTEME. Die resultierenden Modelle erlauben dann die Simulation und Klassifikation des Prozessverhaltens, die Ableitung neuen Prozesswissens oder die Prognose der zukünftigen Prozessentwicklung. Andererseits sind die identifizierten Modelle aber auch Ausgangspunkt und Kernbestandteil für die Entwicklung effizienter Steuerungs- und Regelungsansätze.

Die thematischen Schwerpunkte der Abteilung im Einzelnen:

- CAD für Analogschaltungen
- Monitoring und Regelung
- Biosignalverarbeitung und Diagnoseunterstützung
- Prognose von Material- und Produkteigenschaften
- Multiskalen-Strukturmechanik

Mathematische Kernkompetenzen der Abteilung sind System- und Kontrolltheorie, Stochastik und Statistik, Data Mining, Symbolic Computation und asymptotische Homogenisierung; die weitere Vertiefung dieser Abteilungskompetenzen wird durch eine Vielzahl von Graduerungs- und Promotionsarbeiten unterstützt.

2005 gab es in den Arbeitsschwerpunkten die folgenden wesentlichen Entwicklungen: Im Bereich »CAD für Analogschaltungen« wurde der Transfer des symbolischen Systemanalyse-Knowhows und der Analog Insydes-Technologie auf Problemstellungen außerhalb des Analogschaltungsentwurfs wie der Analyse von enzymkinetischen Reaktionsnetzwerken und Stromversorgungsnetzen fortgesetzt. Im Schwer-

punkt »Biosignalverarbeitung und Diagnoseunterstützung« wurde eine vielversprechende Kooperation im Kontext des HomeMonitoring begonnen und eine netzwerktaugliche Version der Ernährungsoftware CENA entwickelt. Im Bereich »Monitoring und Regelung« wurden im Rahmen des europäischen InMAR-Projektes Reglerkonzepte zur Berücksichtigung nichtlinearen Aktuatorverhaltens entwickelt. Im Schwerpunkt »Prognose von Material- und Produkteigenschaften« wurden die Gray- und Blackbox-Identifikationsverfahren zur Abbildung hysteretischen Systemverhaltens konsequent weiterentwickelt. Im Bereich »Multiskalen-Strukturmechanik« wurde zusammen mit italienischen Forschungspartnern und Lima Industries die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungswerkzeuges für die optimale Auswahl und Platzierung von Knieprothesen aufgenommen.

---

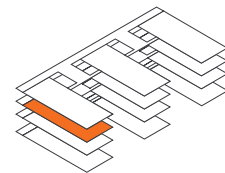
## Abteilungsleiter:

Dr. Patrick Lang

☎ 06 31/3 16 00-46 39

patrick.lang@itwm.fraunhofer.de





Dieser Schwerpunkt beschäftigt sich mit Methoden und Werkzeugen zur Modellierung, Analyse und Dimensionierung linearer und nichtlinearer Analogschaltungen mit Hilfe symbolischer Methoden. In diesem Zusammenhang wird in der Abteilung das EDA-Werkzeug Analog Insydes® ([www.analog-insydes.de](http://www.analog-insydes.de)) entwickelt. Ziel ist es, die symbolischen Verfahren in den industriellen Designflow zu integrieren und so den Schaltungsentwickler bei seiner täglichen Arbeit zu unterstützen. Das industrielle Anwendungsspektrum symbolischer Verfahren ist vielschichtig und reicht vom klassischen Schaltungsverständnis bis hin zur Fehleranalyse, von der Schaltungsdimensionierung und -optimierung bis hin zur automatisierten Verhaltensmodellierung auf der Mixed-Signal- oder System-Ebene.

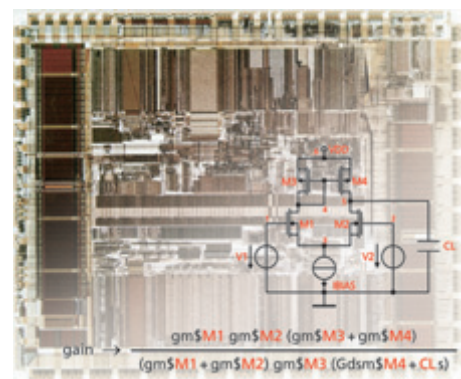
Die mathematischen Grundlagen sind dabei gemischt symbolisch/numerische Algorithmen für lineare sowie nichtlineare differential-algebraische Gleichungssysteme (DAE-Systeme), die auch außerhalb des Mikroelektronikumsfelds zur Modellierung und Analyse angewendet werden können. Beispiele hierzu sind die automatisierte Modellierung von regionalen und nationalen Gaspipeline-Netzen zur Optimierung des Gasflusses sowie die Analyse von komplexen biochemischen Reaktionsnetzen.

Die Möglichkeit zur automatisierten Modellierung von Systemen aus unterschiedlichen physikalischen Bereichen öffnet neue Perspektiven für die Simulation heterogener Systeme (Systemsimulation). Insbesondere bei der industriellen Geräteentwicklung gewinnt die Systemsimulation zunehmend an Bedeutung. Zwar kann das Verhalten der einzelnen Komponenten durch eine Simulation häufig gut abgebildet werden, jedoch stellt die mathematische Nachbildung ihres Zusammenspiels auch heute noch eine besondere Herausforderung dar. Ein vielversprechender Lö-

sungsansatz ist hier die Anwendung von symbolischen Modellreduktionsverfahren, die ein zentraler Bestandteil der Arbeiten im Schwerpunkt »CAD für Analogschaltungen« sind.

## Anwenderseminare

Das ITWM bietet für professionelle Produktanwender ein mehrtägiges Seminar an, in dem theoretische und praktische Kenntnisse zum Einsatz von Analog Insydes® in der Schaltungsentwicklung vermittelt werden.



Symbolische Verfahren im IC-Entwurf

## Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Thomas Halfmann

☎ 06 31/3 16 00-45 26

[thomas.halfmann@itwm.fraunhofer.de](mailto:thomas.halfmann@itwm.fraunhofer.de)

## Enzymkinetische Reaktionsnetze

Wegen der hohen Komplexität biochemischer Reaktionsnetze wie z. B. zelluläre Signal- oder Stoffwechselketten sind symbolische Verfahren und Approximationstechniken ein vielversprechender Ansatz u. a. für die Identifikation und Analyse. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics eine Schnittstelle zwischen dem Enzymkinetik-Simulator PathwayLab ([www.innetics.com](http://www.innetics.com)) und Analog Insydes entwickelt.

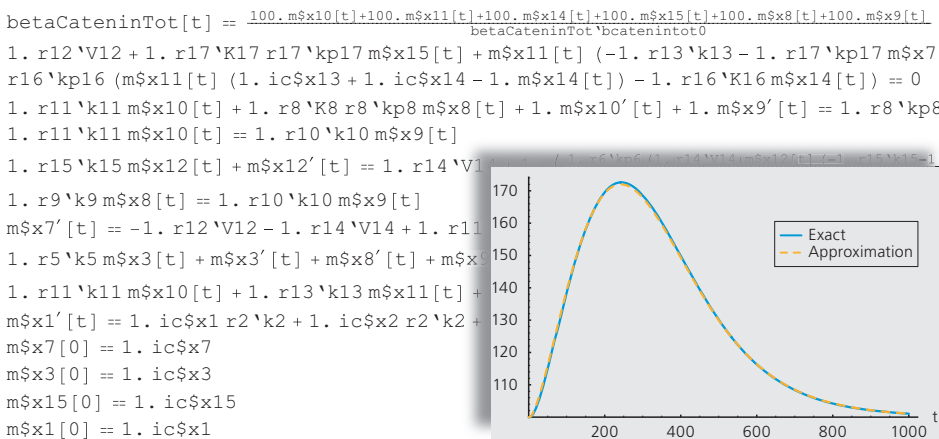
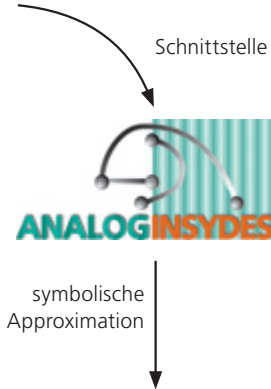
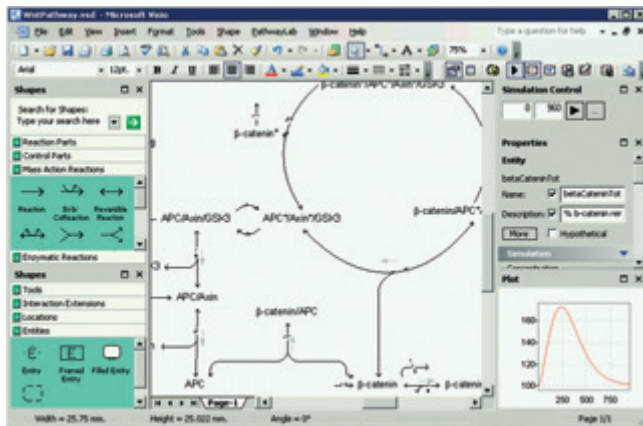
Ausgehend von PathwayLab können mit Hilfe dieser Schnittstelle die Systemgleichungen in Form eines symbolischen differentiell-algebraischen Gleichungssystems im Analog Insydes-Format aufgestellt werden.

Die in Analog Insydes bereits vorhandene Funktionalität zur symbolischen Analyse kann dann auf dieses System z. B. zur Modellreduktion angewendet werden. Darüber hinaus wurden Verfahren zur automatischen Detektion von Erhaltungsgleichungen und zu in der Chemie üblichen Approximationstechniken (z. B. Gleichgewichts-Approximation) implementiert. Diese vereinfachen das System, indem bestimmte Differentialgleichungen durch algebraische Ausdrücke ersetzt werden. Beispielsweise können von den ursprünglich 15 Differentialgleichungen eines Modells der Wnt/ $\beta$ -Catenin-Signalkette elf automatisch durch algebraische Gleichungen ersetzt werden. Dabei wird sichergestellt, dass der Fehler des reduzierten Modells für die  $\beta$ -Catenin-Gesamtkonzentration unter einem Prozent liegt.

## Intervall-Arithmetik

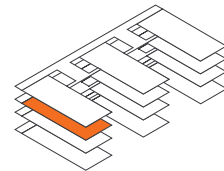
Bei der Analyse des Einflusses produktionsbedingter Bauelemente-Toleranzen auf das Verhalten analoger Schaltungen stößt die symbolische Analyse aufgrund komplexer Formulierungen häufig an ihre Grenzen. Die Resultate numerischer Methoden hingegen erfassen nicht immer den ganzen Wertebereich möglicher Parameter-Abweichungen.

Mittels Intervall-Arithmetik lassen sich verlässliche Grenzen für das Schaltungsverhalten bestimmen und so die Lücke zwischen symbolischer Behandlung und numerischer Simulation schließen. Um schnell genaue Lösungen zu erhalten, wurden spezielle Verfahren entwickelt, die die typischen Strukturen in Gleichungssystemen analoger Schaltungen berücksichtigen und diese geschickt ausnutzen.



Interface PathwayLab/Analog Insydes

Wesentlicher Bestandteil dieser Strategie ist es, Ausfüllmuster bezüglich solcher Parameter auszunutzen, die unsicheren Komponenten entsprechen. Diese Muster ergeben sich aus der linearen Schaltungsanalyse, wo sie benutzt werden, um Gleichungen effizient aufzustellen. Im Hinblick auf die Integration der Methoden in den industriellen Entwurfsablauf wurden Prozeduren entwickelt, die die simultane Behandlung vieler toleranzbehafteter Komponenten zulassen. Dabei wurden alternative Herangehensweisen entworfen, die eine anwenderbasierte Auswahl zwischen Genauigkeit und Rechenzeit ermöglichen. Zur effizienten Nutzung wurde die Funktionalität für eine nahtlose Integration von Intervall-Techniken in das Schaltungsanalysewerkzeug Analog Insydes geschaffen.



Die Entwicklung und Implementierung mathematischer Verfahren zur Systemmodellierung sowie zum Systemmonitoring und Reglerdesign sind Schwerpunkte dieses Arbeitsbereiches. Hauptanwendungsgebiet sind technische Systeme wie z. B. Turbosätze.

## Modellbildung und Simulation

Bei der Simulation, der Steuerung oder beim Monitoring des Verhaltens eines technischen Systems stellt ein mathematisches Ersatzmodell häufig einen fundamentalen Baustein dar. Abhängig von den vorhandenen Systeminformationen und den jeweils interessierenden Systemaspekten kommen unterschiedliche Modellierungs- und Identifikationsverfahren zum Einsatz. Sofern ein exaktes physikalisches Modell nicht verfügbar ist, werden lineare und nichtlineare Identifikationsverfahren sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich verwendet. Ein Schwerpunkt im Bereich Modellbildung liegt in der Approximation komplexer nichtlinearer Systeme durch sogenannte Local Model Networks (LMN), die sich aus einer Überlagerung von meist linearen Teilsystemen zusammensetzen.

## Systemmonitoring

Der Fokus im Bereich Monitoring liegt in der Entwicklung online-tauglicher modellbasierter Beobachter z. B. zur Vorhersage des Schwingungsverhaltens elastomechanischer Systeme an unzugänglichen Positionen sowie in der Weiterentwicklung von Verfahren aus der Signalverarbeitung zur Systemüberwachung und -charakterisierung.

## Reglerdesign

Im Rahmen des Reglerdesigns werden überwiegend robuste Kontrollstrategien, wie beispielsweise Methoden der



$H_\infty$ -Kontrolltheorie, eingesetzt. Mit diesem Ansatz können geforderte Stabilitäts- und Performanceanforderungen auch bei Modellunsicherheiten und Systemstörungen bestmöglich erreicht werden.

Die Anwendung weiterer Kontrollstrategien wie beispielsweise Adaptive Control, Precompensation and Control, Gain Scheduling, Neural Control und Iterative Learning Control runden die Kompetenzen der Gruppe ab. So wurden z. B. Methoden im Bereich »Iterative Learning Control« für den Einsatz mit LMN-Modellen erweitert.

### Ansprechpartner:

Dr. Andreas Wirsen  
☎ 06 31/3 16 00-46 29  
andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de

## Intelligent Materials for Active Noise Reduction – InMAR

Im Rahmen des europäischen Projektes *InMAR – Intelligent Materials for Active Noise Reduction* arbeitet die Gruppe gemeinsam mit 41 namhaften Einrichtungen aus 13 Ländern an der Entwicklung neuer, intelligenter Materialsysteme sowie deren Anwendung zur Lärmreduktion in den Feldern Gebäudetechnik, Automobil- und Schienenverkehr.

Intelligente Materialsysteme, wie z. B. piezokeramische Aktuatoren, können unter Zufuhr von Energie, z. B. durch Anlegen einer elektrischen Spannung, definiert und kontrollierbar verformt werden. In Abhängigkeit vom Arbeitsbereich und der Größe der angelegten Spannungen zeigen die Aktuatoren ein lineares bzw. nichtlineares Übertragungsverhalten.

Durch die Gruppe werden verschiedene Reglerkonzepte analysiert und weiterentwickelt, mit denen die bei piezoelektrischen Aktuatoren beim Anlegen von großen Spannungen auftretenden nichtlinearen Effekte wie Hysterese und Sättigung berücksichtigt werden.

Gute Performance und Robustheit wurden mit dem Ansatz »Precompensation

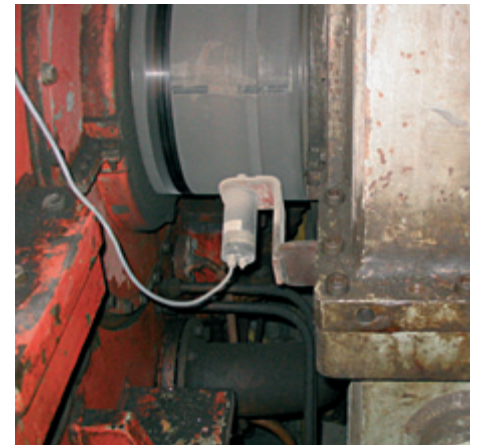
and Control« erzielt. Die Idee des Verfahrens ist es, z. B. die Hysterese durch Vorschalten eines invertierten Hysterese Modells zu kompensieren und die eigentliche Regelung mit einem linearen Regler durchzuführen. Für das Reglerdesign wurden Strategien entwickelt, mit denen die Robustheit gegenüber nichtkompensierten Nichtlinearitäten bzw. Modellierungsunsicherheiten bei der Minimierung der abgestrahlten Schallleistung verbessert wird.

Des Weiteren wurde der Einsatz neuronaler Regler untersucht. Bei diesem Ansatz wird zunächst das Hystereseverhalten mit einem neuronalen Netz identifiziert. Basierend auf dem identifizierten neuronalen Netz und durch Anwendung von Stabilitätsaussagen der NLQ-Theorie wurde ein neuronaler Regler entworfen, mit dem eine signifikante Schwingungsdämpfung erzielt wurde.

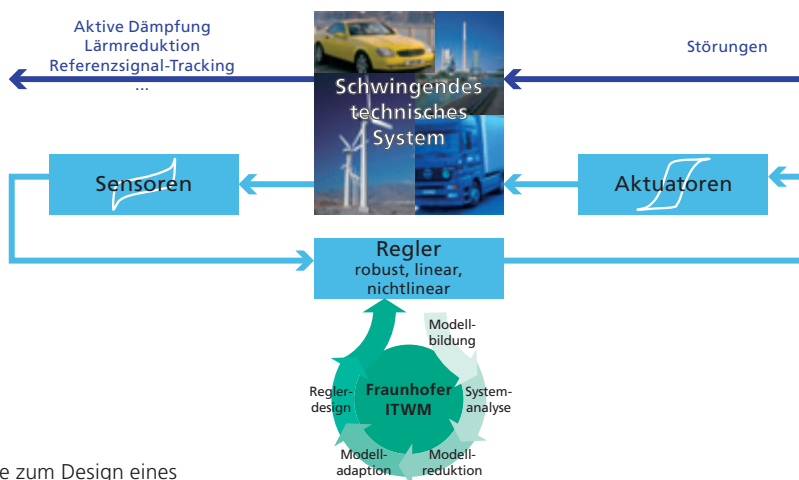
Weiterhin untersucht wurde der Einsatz eines lokalen Reglernetzwerkes. Bei diesem Ansatz wird basierend auf identifizierten lokalen Modellen für jedes der Modelle ein robuster linearer Regler entworfen. In Abhängigkeit vom Systemzustand setzt sich der Regler für das nichtlineare reale System aus einer zeitlich variierenden Linearkombination der einzelnen Regler zusammen.

## Torsionsmonitoringsysteme

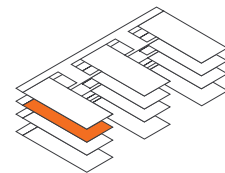
In den vergangenen Jahren wurden innerhalb dieses Arbeitsgebietes die Softwarepakete TorStor, TorFat und TorAn entwickelt, die zusammen mit einem exklusiv vom Fraunhofer ITWM vertriebenen berührungslosen Drehmomentensensor jeweils ein eigenständiges Torsionserfassungs- und -analysesystem mit unterschiedlichem Analysefokus darstellen. Einsatzgebiete der Online-Monitoring-Systeme sind rotierende Wellen; insbesondere beim Langzeitmonitoring von Kraftwerksturbinen haben sie ihre Praxistauglichkeit bewiesen.



Berührungsloser Drehmomentsensor an einer Welle mit 450 mm Durchmesser eines 400 MW Kraftwerksturbinensatzes



Schritte zum Design eines modellbasierten robusten Reglers



Die Analyse von Signalen, die von lebenden Organismen erzeugt werden, ist ein mathematisch anspruchsvolles und interessantes Unterfangen. Die signalerzeugenden Systeme wie z. B. das Herz im Fall des Elektrokardiogramms (EKGs) sind komplex und daher schwierig zu modellieren. Häufig ist es notwendig, gänzlich auf eine Modellierung zu verzichten und statt dessen mit rein datenbasierten Verfahren aus dem Bereich der multivariaten Statistik bzw. des Data Mining zu arbeiten.

Die Relevanz der Biosignalanalyse für die Praxis ergibt sich u.a. aus der Tatsache, dass sich jede medizinische Diagnose auf die Auswertung menschlicher Biosignale wie z. B. der Konzentration bestimmter chemischer Stoffe im Blut stützt. Mit dem wachsenden medizinischen Wissen nimmt auch die Zahl diagnostischer Verfahren zu. Dies erklärt die Tendenz, den Arzt bei der Diagnose durch spezialisierte Software zu unterstützen und eröffnet ein weites Feld von Anwendungen der Biosignalanalyse.

Datenbasierte Verfahren wie z. B. die Zeitreihenanalyse oder Klassifikations-

bäume finden auch im Bereich des systematischen Data Mining in medizinischen Datenbanken Anwendung. Das Ziel besteht hier in der Erkennung relevanter Muster und auf diesem Weg in der Gewinnung neuer Einblicke in die Funktionen des menschlichen Organismus.

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund stand das Jahr 2005 im Bereich Biosignalverarbeitung und Diagnoseunterstützung im Zeichen der Erweiterung der vorhandenen Kompetenz im Gebiet der Signalanalyse.

Die vielfältigen Kontakte in den medizinischen Bereich wurden ausgebaut und führten zu teilweise noch laufenden Projekten im Bereich der diagnostischen EKG-Auswertung.

Die 2004 entwickelte Software CENASANA zur Ernährungsanalyse und -beratung wurde zu einer netzwerkfähigen Version weiterentwickelt; die neue Version wird seit dem 2. Quartal 2005 vertrieben.

---

## **Ansprechpartner:**

Dr. Hagen Knaf

☎ 06 31/3 16 00-44 28

hagen.knaf@itwm.fraunhofer.de

## Analyse kardiologischer Daten

Für die kardiologische Diagnostik relevante Daten werden zunehmend nicht mehr nur in Arztpraxen oder entsprechenden Stationen von Krankenhäusern produziert, sondern auch im sogenannten Home-Monitoring-Bereich: Am Körper getragene Messgeräte übermitteln zum Beispiel die Herzfrequenz drahtlos an eine Basisstation, die wiederum regelmäßig eine verdichtete Version der aufgelaufenen Messwerte telefonisch an eine medizinische Überwachungszentrale weiterleitet. Dort werden die Daten von medizinischem Personal diagnostisch bewertet. Sowohl in der Basisstation als auch in der Überwachungszentrale kann Signalanalyse- bzw. Mustererkennungssoftware eingesetzt werden, um die gemessenen Signale in bezug auf spezielle diagnostisch relevante Muster zu überprüfen. Das Ergebnis kann genutzt werden, um in der Überwachungszentrale gegebenenfalls automatisch einen Alarm auszulösen oder zur Unterstützung bei der Diagnose selbst.

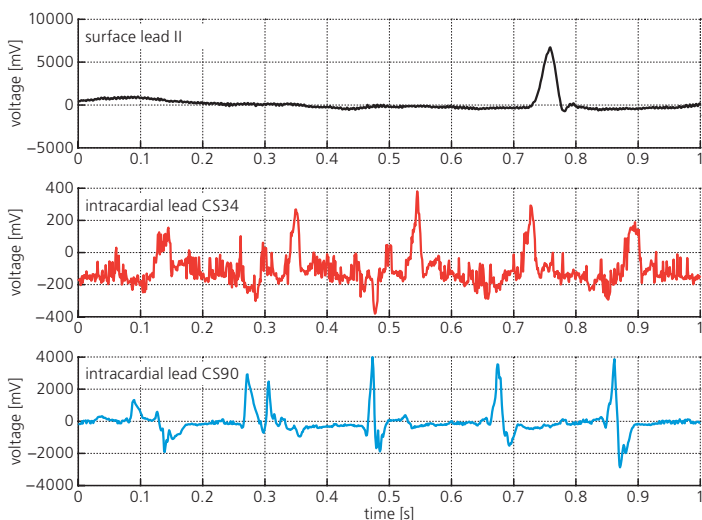
Im Home-Monitoring-Sektor wurde im Jahr 2005 eine Kooperation mit einem namhaften Unternehmen der Medizintechnikbranche begonnen. In dem noch laufenden Projekt wird das Problem der automatischen Bewertung einer Kombination kardiologisch relevanter Parameter in bezug auf das Eintreten von Ereignissen untersucht, die zur Hospitalisierung der betroffenen Person führen.

## Klassifikation

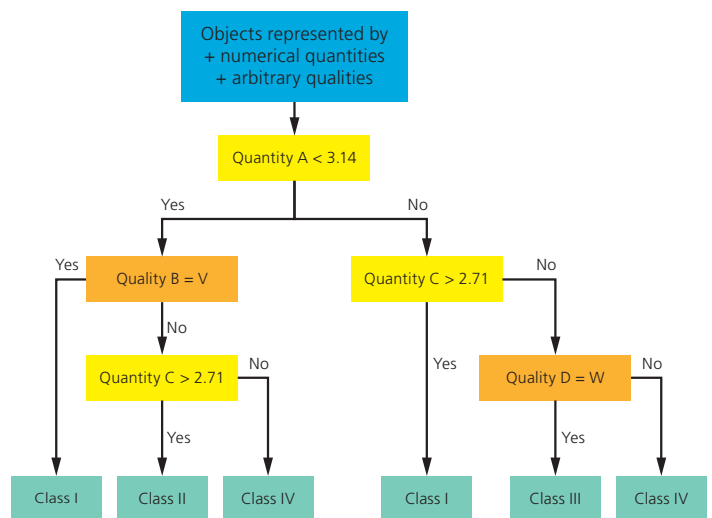
Die medizinische Diagnose einer Erkrankung basierend auf beobachteten Symptomen und Messwerten ist mathematisch betrachtet ein Klassifikationsproblem: Ein gegebenes Objekt soll anhand der Werte gegebener Merkmale einer von mehreren Klassen zugeteilt werden. Die Klassen selbst sind nicht immer exakt charakterisiert; häufig besteht ein Teil des Problems gerade darin, datenbasiert hinreichend genaue Beschreibungen der Klassen zu ermitteln.

Faszinierend an der mathematischen Klassifikationstheorie ist ihre Anwendbarkeit in sehr unterschiedlichen Gebieten: Neben dem Einsatz in der oben beschriebenen Analyse kardiologischer Daten wurde 2005 weiter an einer verbesserten Auswertung von Elektroenzephalogrammen mittels nichtharmonischer Fourieranalyse gearbeitet.

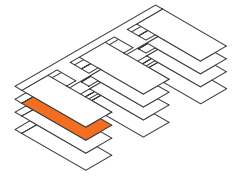
Zur Erweiterung der Kompetenz im Bereich der Klassifikations- und allgemeiner Data Mining-Methoden wurde 2005 im Rahmen der »Mathematischen Forschungsplattform für regionale, kleine und mittelständische Unternehmen« die Verwendung von Data Mining-Techniken für die Typisierung von Versicherungskunden untersucht. Am Projekt beteiligt war die Unternehmensberatung teckpro AG, mit deren Unterstützung im März 2005 der Workshop »Data Mining im Einsatz – Methoden, Anwendung, Nutzen« durchgeführt wurde, an dem Vertreter von Unternehmen aus der Medizintechnik, der Versicherungswirtschaft und dem Automobilbau teilnahmen.



Drei Ableitungen eines Einsekunden-Elektrokardiogramms



Binärer Entscheidungsbaum



## Dynamische Systemidentifikation

Als geeignete Modellklassen zur Identifikation multivariater dynamischer Systeme werden neben Delayed feed-forward und rekurrenten neuronalen Netzen auch verschiedene Preisach-Modelle und systemtheoretisch motivierte hybride Modellvarianten eingesetzt. Auf Basis solcher Modelle wurden langfristige Vorhersagen für verschiedene zeitabhängige industrielle Fertigungsprozesse und dynamische mechanische Systeme erfolgreich durchgeführt.

Überdies wurden sowohl im statischen als auch im dynamischen Fall im Rahmen einer Reihe von Industrieprojekten leistungsfähige MATLAB-Tools entwickelt, mit denen sich die verschiedenen Teilprobleme wie Variablenwahl, Modellwahl und Parameterschätzung adäquat lösen lassen.

In vielen komplexen Systemen und Prozessen ist es oft entweder wegen des Mangels adäquater physikalischer Modelle oder wegen ihrer hohen Komplexität zunächst einmal völlig unklar, von welchen der potenziellen Einflussfaktoren eine ausgewählte Performancegröße abhängt. Insbesondere sind die vorhandenen Abhängigkeiten dann oft nichtlinear und variieren mit dem Zustand des betrachteten dynamischen Systems.

In vielen Fällen liegen jedoch entweder ausreichend repräsentative Daten, beispielsweise aus systematischen Versuchsreihen des Input-Output-Verhaltens, bereits vor oder lassen sich zeit- und kostengünstig experimentell erzeugen. Unter solchen Umständen lässt sich mit geeigneten Techniken der Systemidentifikation, des Data Mining und der mathematischen Statistik eine Systembeschreibung in Form eines Black- bzw. Greybox-Modells erstellen. Diese Modelle können dann zu Prognose, Klassifikations- und Simulationszwecken eingesetzt werden und erlauben insbesondere die Ableitung der System sensitivitäten im Hinblick auf ausgewählte Einflussgrößen.

Abhängig davon, ob das betrachtete System zeitabhängig ist, lassen sich die Aktivitäten im Schwerpunkt Prognose von Material- und Produkteigenschaften in folgende zwei Bereiche aufteilen:

## Statische Systemidentifikation

Beispiele für ein statisches Identifikationsproblem sind die Prognose und Sensitivitätsanalyse der Crashperformance eines Verbundwerkstoffes, die Oberflächenfehlerklassifikation eines Gussbauteils auf Basis simulierter lokaler Gießparameter und die Prognose der Wöhlerkennlinie verschweißter Fahrzeugbauteile mittels charakteristischer Material- und Geometrieparameter. Die zugrundeliegenden nichtlinearen Regressions- und Klassifikationsprobleme wurden u. a. mittels Surface Response-Modellen und speziellen problemadaptierten neuronalen Netzstrukturen gelöst. Insbesondere wurden die nichtlinearen Sensitivitätskurven der einzelnen signifikanten Inputvariablen konsistent geschätzt und benutzerfreundlich visualisiert (Grafiken siehe folgende Seite unten).

## Ansprechpartner:

Dr. Alex Sarishvili

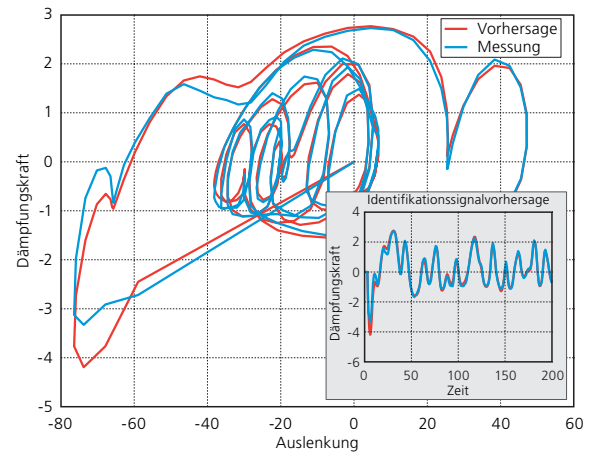
☎ 06 31/3 1600-4683

alex.sarishvili@itwm.fraunhofer.de

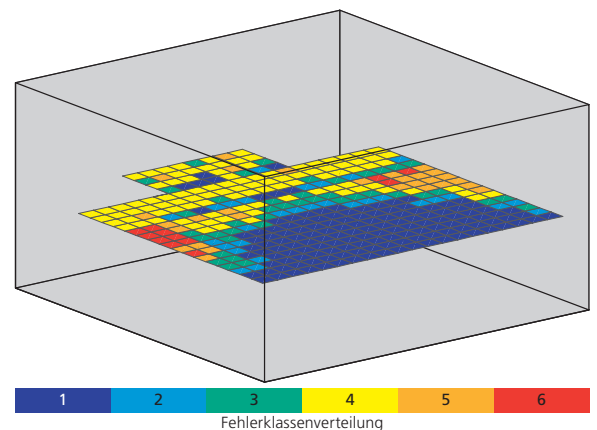
## Hysteresidentifikation

In dem von der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation geförderten Projekt »Nichtlinear dynamische Bauteilmodelle für die Fahrzeugsimulation« werden in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner LMS Deutschland sowohl neue, rein datenbasierte als auch semi-physikalische Modelle zur Simulation von hysteresebefahenen Prozessen entwickelt. So wurden im Laufe des Projektes u. a. klassische, nichtlineare und dynamische Preisach-Modelle auf ihre Eignung für die Modellierung ausgewählter hysteretischer Verhaltensmuster untersucht und auf lokal linearen Modellen basierende Verfahren zur Identifikation der Preisach-Modellparameter erarbeitet. Weiterhin wurden Modelle zur Abbildung zeitabhängigen hysteretischen Verhaltens entwickelt, insbesondere wurden dynamische preisachmodellbasierte Gedächtnisspeicherstrukturen bereitgestellt. Solche Modelle erlauben dem Anwender den eventuell vorhandenen (hysteretischen) Alterungsprozess eines Bauteils zu identifizieren und zu modellieren. Ein übergeordnetes mittelfristiges Ziel des Projektes ist es, die Qualität und Verlässlichkeit der Mehrkörpersimulation komplexer mechanischer Systeme im Falle starker äußerer Anregungen deutlich zu erhöhen.

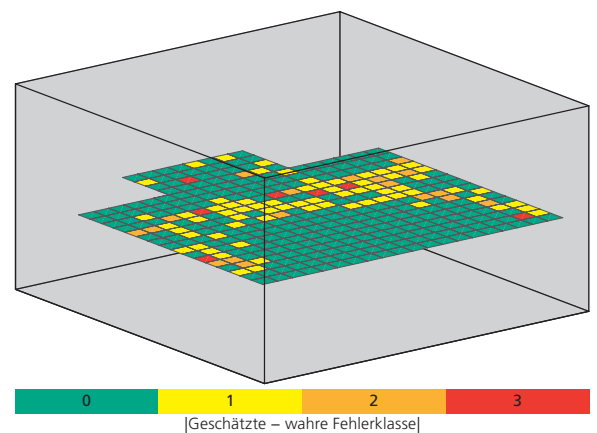
Ein parallel entwickeltes physikalisches Modell eines mechanischen Systems mit integriertem Mooney-Rivlin-Materialmodell hilft, einerseits Einblicke in die Natur der nichtlinearen Prozesse zu gewinnen und diese in die datenbasierten Modelle zu integrieren und andererseits beliebige Hysteresearten für die Validierung der entwickelten Modelle zu generieren.



Vorhersage des hysteresebehafteten Verhaltens eines Kfz-Feder-Dämpfer-Systems

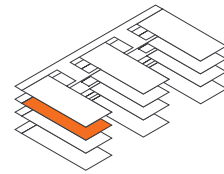


Fehlerklassenverteilung eines Flachgussbauteils



Performance des Klassifikators, Abweichung zwischen der geschätzten und realen Fehlerklasse





Dieses Arbeitsgebiet befasst sich hauptsächlich mit der Entwicklung und Umsetzung numerischer Algorithmen zur Berechnung festkörpermechanischer Probleme für Materialien, die sowohl eine komplizierte Materialstruktur mit unterschiedlichen Größenskalen wie auch komplizierte zeitabhängige Stoffgesetze aufweisen. Die Arbeitsgruppe besitzt spezielle Kenntnisse und Kompetenzen in asymptotischen Homogenisierungstechniken, Behandlung von Kontaktproblemen mit mikrorauen Oberflächen sowie bei der Betrachtung zeitabhängiger Prozesse homogener oder verbundener Bauteile, deren (Makro-)Festigkeit und Lebensdauer unter Ermüdung, Kriechen, schlagartiger Belastung und Verschleiß untersucht werden.

Die Notwendigkeit zur Homogenisierung entsteht in Verbundwerkstoffen und porösen Medien, sobald zwei oder mehrere unterschiedliche Größenskalen in ihrer Mikro- und Makrostruktur vorhanden sind, die eine direkte numerische Berechnung verhindern oder stark verkomplizieren. Mithilfe der asymptotischen Homogenisierungsalgorithmen können Makrospannungen und eine

ganze Reihe von gemittelten (effektiven) Eigenschaften von Verbundwerkstoffen bzw. porösen Materialien aufgrund von bekannten Eigenschaften ihrer Komponenten und ihrer Mikrogeometrie berechnet werden. Die mittleren Eigenschaften sind Steifigkeit, Relaxationsparameter, freier Schwund, freie Schwellung, freie Temperatur-Verzerrung, Festigkeit, Lebensdauer und Verschleiß.

Beispiele für technisch interessante Prozesse, die sich durch Anwendung der Homogenisierungsmethode berechnen lassen, sind Korrosion, Degradation, Austrocknung, Ermüdung und Verschleiß von gefüllten Harzen, Beton und Holz. Konkrete Anwendungen im Rahmen von Abteilungsprojekten waren beispielsweise die Berechnung der effektiven viskoelastischen und Schrumpfeigenschaften von partikelverstärkten Zahnfüllstoffen und Harzen sowie die Berechnung von Kontaktproblemen für Hüftprothesen.

---

**Ansprechpartnerin:**

Dr. Julia Orlik

☎ 06 31/3 16 00-43 30

[julia.orlik@itwm.fraunhofer.de](mailto:julia.orlik@itwm.fraunhofer.de)

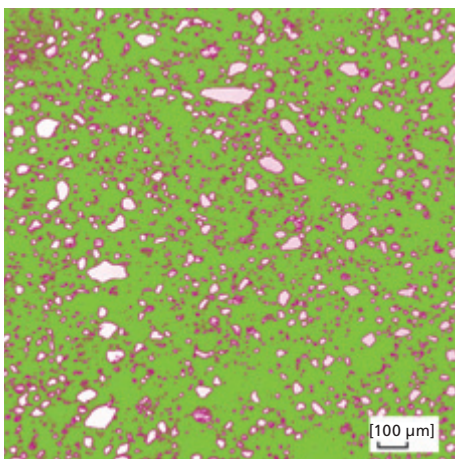
## Modellierung gefüllter duroplastischer Formmassen

Ziel des Projektes war die Ableitung von Aussagen über die Festigkeit sowie die Lebensdauer integro-viskoelastischer Verbundwerkstoffe aus den mikrostrukturellen Eigenschaften. Numerisch lief das Projekt auf eine Reihe räumlicher FE-Berechnungen mittels ANSYS hinaus, die mit einer Kollokationsmethode in der Zeit gekoppelt waren. In der ersten Projektphase wurden Homogenisierungsalgorithmen für die integrale Viskoelastizität mit schwach-singulären Kernen entwickelt und im Laufe der aktuellen Fortsetzungsphase numerisch umgesetzt. Zuerst wurde die Ortsabhängigkeit im gesamten Integro-Differential-Gleichungssystem mittels der Finite-Element-Methode eliminiert. Damit wurde das unendlichdimensionale zeitliche Integralgleichungssystem auf ein endlichdimensionales System reduziert, das dann mittels einer für singuläre Kerne modifizierten Kollokationsmethode berechnet wurde.

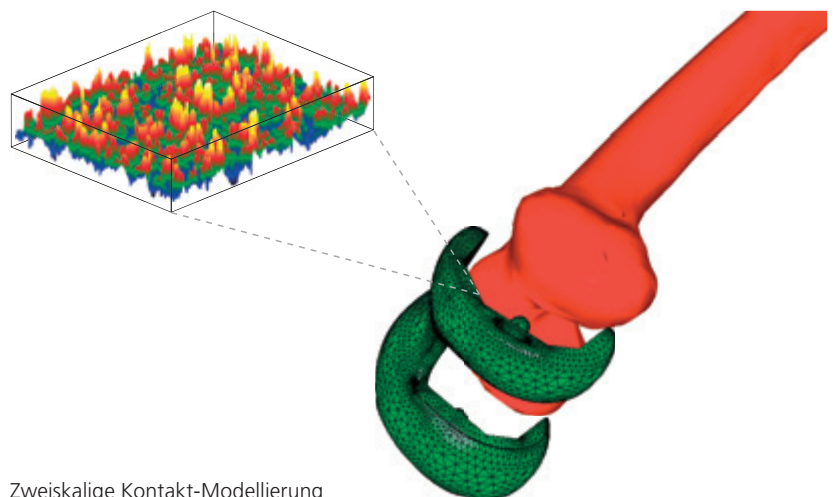
Für die Anwendung der FEM wurden jene Kernteile, die nichtsingulär in der Zeitvariable sind, sowie die Nichtintegral-Koeffizienten in den Kollokationsstützstellen zeitlich diskretisiert und als elastische Koeffizienten für jeden Zeitschritt in einer rein elastischen örtlichen FE-Berechnung mittels ANSYS verwendet. Nach jeder Berechnung wurden die globalen Steifigkeitsmatrizen ausgegeben und an Stelle von partiellen örtlichen Ableitungen im Gleichgewichtsgleichungssystem verwendet. Da die FE-Berechnung in jedem Kollokationspunkt einen relativ großen numerischen Aufwand bedeutet, wurde zusätzlich eine Kernapproximation mittels stückweise polynomialer Ortsinterpolation durchgeführt, die zur vollständigen Entkopplung von Zeit- und Ortsabhängigkeit führt. Die entsprechenden Fehlerabschätzungen leistete eine projektbegleitende Diplomarbeit. Der ganze Algorithmus wurde in eine bereits entwickelte Homogenisierungsroutine für viskoelastische Verbundwerkstoffe integriert.

## Entscheidungsunterstützung bei Auswahl und Platzierung von Knieprothesen

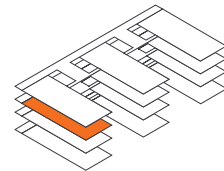
Dieses dreijährige Forschungsprojekt wird in einem Konsortium mit mehreren italienischen Forschungspartnern und der Firma LIMA Industries durchgeführt; am ITWM sind die Abteilungen »STRÖMUNGEN UND KOMPLEXE STRUKTUREN« und »ADAPTIVE SYSTEME« beteiligt. Es soll eine Software entwickelt werden, die die effektiven Kontakteigenschaften einer Knieprothese mit dem Knochen aus der Mikrorauigkeit der Prothesenbeschichtung berechnet. Auf dieser Grundlage wird dann eine zuverlässige Bestimmung des elastischen Spannungsfeldes im Knochen möglich, so dass eine optimale Prothesenform, Positionierung und ein optimales Material für jeden Patient schon in der preoperativen Phase bestimmt und der Chirurg somit in seiner Entscheidungsfindung unterstützt werden kann.



Polymermatrix mit eingeschlossenen Glaspartikeln



Zweiskalige Kontakt-Modellierung



Hans Trinkaus, Dr. Julia Orlik, Dr. Patrick Lang, Dr. Andreas Wirsén, Dr. Jochen Broz, Eva Barrena, Dr. Hagen Knaf, Dr. Alexander Dreyer, Thomas Halfmann, Jan Hauth, Dr. Alex Sarishvili

# Optimierung

Kernkompetenz der Abteilung OPTIMIERUNG ist die individuelle, mit Kunden abgestimmte Lösung von Planungs- und Strukturbildungsaufgaben in Logistik, Ingenieurwissenschaften und Life Sciences. Methodisch beruhen die Lösungsansätze auf einer engen Verzahnung von

- Simulation:  
modell- bzw. datenbasierte virtuelle Strukturbildung unter Berücksichtigung von Restriktionen, Gestaltungsparametern und zu optimierenden Qualitätsmaßen
- Optimierung:  
der Entwicklung und Implementierung von kundenindividuellen Optimierungsverfahren zur Berechnung bestmöglicher Lösungen
- Entscheidungsunterstützung:  
Entwicklung und Implementierung von interaktiven Entscheidungsunterstützungswerkzeugen

Arbeitsschwerpunkte der Abteilung sind:

- Interaktive Therapieplanung
- Optimierung im Virtual Engineering
- Krankenhauslogistik
- Supply Chain Management
- Materialflussplanung und Produktionssteuerung
- Interaktives Wissensmanagement

Höhepunkte des für die Abteilung äußerst erfolgreichen Jahres 2005 waren der Start eines neuen Deutsche-Krebshilfe-Projektes zur Strahlentherapieplanung mit dem DKFZ im Schwerpunkt »Interaktive Therapieplanung«, die Beauftragung eines mehrjährigen Industrieprojektes zur Edelsteinver-

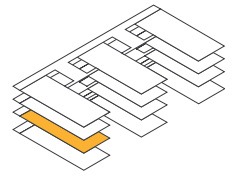
wertung durch die Paul Wild GmbH in »Optimierung im Reverse Engineering«, die erstmalige Auslieferung der Patiententransport-Planungskomponente Opti-TRANS® in der »Krankenhauslogistik« an Pilotkunden, der Beginn eines Forschungsprojektes im Landesexzellenzcluster im »Supply Chain Management«, die Genehmigung eines Präsidialprojektes der Fraunhofer-Gesellschaft im »Wissensmanagement« und der Beginn von zwei mehrjährigen Industrieprojekten zur Konfiguration von Materialflussprozessen mit der psb-Materialfluss GmbH und zur Integration von mathematischer Optimierung und Constraint-Techniken mit der Sieda GmbH.

## Abteilungsleiter:

Priv.-Doz. Dr. Karl-Heinz Küfer

☎ 06 31/3 16 00-44 91

karlheinz.kuefer@itwm.fraunhofer.de



Neu entwickelte komplexe klinische Behandlungsmethoden werden nicht selten in einem frühen Stadium nach Anfangserfolgen von Boulevard-Medien als Heilsbringer und Retter vor Krankheit und Tod glorifiziert und wenige Monate später wegen bekannt gewordener Nebenwirkungen verteufelt. Wie ist so etwas erklärbar?

Die Erklärung für dieses Phänomen ist bei näherem Hinschauen meist eine zu dünne statistische Grundlage zur sicheren Vorhersage von Therapiechancen und Nebenwirkungswahrscheinlichkeiten. Der menschliche Organismus ist ein sehr komplexes, individuell ausgeprägtes System und die klinischen Studien, welche die Einführung neuer Medikamente oder invasiver Therapien beschreiben, reichen oft bei weitem nicht aus, um signifikante Konfidenzintervalle für Heilungs- bzw. Komplikationswahrscheinlichkeit abzuleiten. Weitergehende Menschen- oder Tierversuche scheiden in der Regel aus ethischen Gründen aus, so dass neue Therapien in den ersten Jahren einen experimentellen Charakter haben müssen.

Die große Chance, mehr Sicherheit in die Prognostik von Therapiewirkungen zu bekommen, liegt in einer virtuellen, simulativen Beschreibung einer Therapie. Mathematisch heißt dies, ein Input-Output-Modell muss abgeleitet werden, welches Heilungs- und Komplikationswahrscheinlichkeiten als Funktionen von Therapieparametern, wie Medikamentendosierungen oder Anwendungszeiten, unter Berücksichtigung individuell am Patienten erhobener Daten beschreibt. Es ist eine Herausforderung, in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Medizinern, Biologen, Physikern und Mathematikern Simulationen von Therapiewirkungen auf Basis von hybriden physikalisch-biochemischen und datenbasierten Modellen zu entwickeln. Ist eine solche virtuelle Simulation vorhanden, kann Therapieplanung als mehrkri-



terielles Optimierungsproblem zur Abwägung von Chancen und Risiken beschrieben werden. Verantwortlichen Ärzten kann dann ein interaktives Planungsassistenzsystem zur Verfügung gestellt werden, mit dem sie für den jeweiligen Patienten fundierte, optimal ausgewogene Therapievorschläge machen können.

Zielsetzung und Kernkompetenz des Schwerpunktes »Interaktive Therapieplanung« ist die Integration von Simulation und mehrkriterieller Optimierung in interaktive Planungsassistenzsysteme für komplexe Therapieszenarien, wie etwa bei der Strahlentherapie mit ionisierender Strahlung zur Behandlung von bösartigen Tumoren.

---

**Ansprechpartner:**

Dipl.-Math. Michael Monz

☎ 06 31/3 16 00-43 27

michael.monz@itwm.fraunhofer.de

Bei der intensitätsmodulierten Strahlentherapie (IMRT) lassen sich Tumorkontrollwahrscheinlichkeit und Nebenwirkungswahrscheinlichkeiten als statistische Funktionen der applizierten physikalischen Dosis beschreiben, welche mit Pencil-Beam-Modellen bzw. Monte-Carlo-Verfahren simuliert werden können. Der Schwerpunkt »Interaktive Therapieplanung« arbeitet zusammen mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum und dem Universitätsklinikum in Heidelberg seit 1999, mit dem Boston Massachusetts General Hospital seit 2002 in öffentlichen, durch die Bundesregierung bzw. durch die Mildred-Scheel-Stiftung Deutsche Krebshilfe e.V. und die US-Regierung geförderten Projekten zusammen, um die mehrkriteriellen Planungsaufgaben bei der IMRT zu lösen und für die klinische Nutzung der Ergebnisse ein neuartiges interaktives Planungssystem zu entwickeln. Seit 2004 ist Siemens Oncology Care Systems der kommerzielle Partner, um eine neuartige Software zur IMRT-Planung in die Klinik zu tragen. Die 2005 im genannten Forschungsverbund laufenden bzw. neu begonnenen Projekte sind:

## Optimierung der intensitätsmodulierten Strahlentherapie

Im vom National Institutes of Health (US-Gesundheitsministerium) geförderten Projekt wird zusammen mit einer Forschergruppe des Massachusetts General Hospital unter dem Dach der Harvard Medical School in Boston der Einfluss modellspezifischer Aspekte auf die multikriterielle Strahlentherapieplanung systematisch untersucht. Zentrale Projekthalte hierbei sind die Erweiterung der Modellierung durch lokale und weitere globale Qualitätsindikatoren, die Integration von Applizierungsanforderungen in die Planung, die Untersuchung der Beziehung zwischen mathematischem Modell und medizinischer Qualität und die Entwicklung einer frei

verfügbaren Planungssoftware für wissenschaftliche klinische Studien.

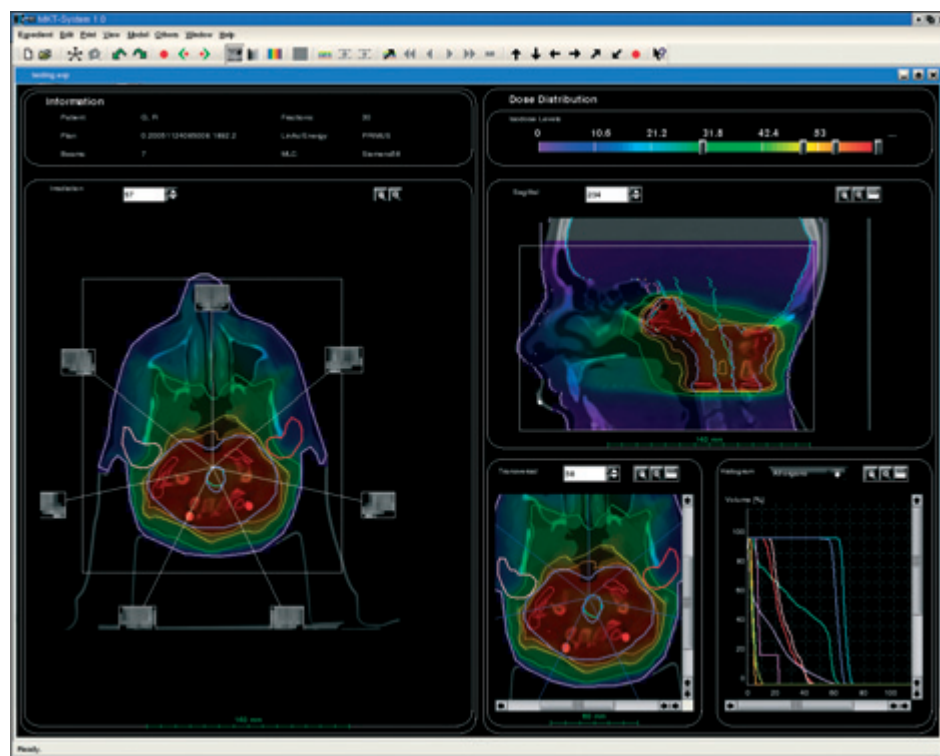
## Multikriterielle Strahlentherapieplanung

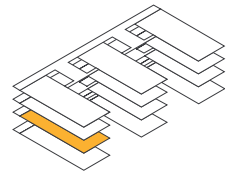
Das Ziel des Projekts im Auftrag und in Kooperation mit Siemens Medical Solutions – Oncology Care Systems ist die Entwicklung und Implementierung einer multikriteriellen Planungskomponente für den Strahlentherapie-Workspace COHERENCE®. Arbeitsschwerpunkt des Jahres 2005 war die Erstellung eines Prototypen, der am Ende des Jahres von einem internationalen Konsortium von Klinikern positiv evaluiert wurde. Für 2006 ist die Ausweitung der Planungsmöglichkeiten in einem flexibleren Workflow und die Unterstützung einer suggestiven interaktiven Therapieauswahl geplant.

Komplexer Schädelbasis-Fall, der bei der Expertenevaluierung benutzt wurde

## Entwicklung und Erprobung eines klinischen Systems

Die Realisierbarkeit multikriterieller Planungskonzepte in der Strahlentherapie und ihr großes Potenzial wurde im Krebshilfe-Projekt »Echtzeitwerkzeug zur konformierenden Strahlentherapie« nachgewiesen. Ziele dieses von der Deutschen Krebshilfe geförderten Nachfolgeprojektes im Forschungsverbund mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum und dem Universitätsklinikum Heidelberg sind die Verknüpfung einer multikriteriellen Planungsstufe mit Sequenzierung und Verifikation, die Erprobung des multikriteriellen Echtzeitplanungswerkzeuges im klinischen Routinebetrieb und die Erweiterung der Modellierung für eine integrierte Optimierung der Einstrahlrichtungen.





Bei der Gestaltung von Produkten und Prozessen müssen in der Regel zahlreiche Parameter betrachtet werden, welche Kosten, Qualität, Kundennutzen und andere Zielgrößen beeinflussen. Eine mathematische Modellierung des häufig komplexen Zusammenhangs zwischen Gestaltungsparametern und Zielgrößen stellt dann bereits eine Herausforderung dar. Oftmals lässt sich der reale Zusammenhang nur durch ein Simulationsmodell näherungsweise bestimmen. Mit Hilfe eines computergestützten Modells ist dann ein komfortables Forward Engineering möglich.

In einem zweiten Schritt werden nun Optimierungstechniken verwendet, um optimale Gestaltungsparameter für einen Prozess bzw. ein Produkt basierend auf dem mathematischen Modell zu berechnen. Hierfür werden zum Beispiel evolutionäre Algorithmen als flexibles und leistungsfähiges Werkzeug verwendet und an das spezifische Problem angepasst. Weitere Techniken wie etwa eine adaptive Verfeinerung des Optimierungsproblems erlauben schnellere und bessere Lösungen.

Für eine anwenderfreundliche Nutzung der Ergebnisse ist es schließlich erforderlich, Modell und Optimierung in einem entscheidungsunterstützenden System zu integrieren. Besonders wenn mehrere Kriterien zu berücksichtigen sind, zum Beispiel Qualitäts- und Kostenmaße, soll ein solches System die Ermittlung einer Kompromisslösung erleichtern. Der Benutzer wird dann für eine ausgewählte Wunschlösung auch über die zugehörigen Gestaltungsparameter informiert (Virtual Engineering).

---

**Ansprechpartner:**

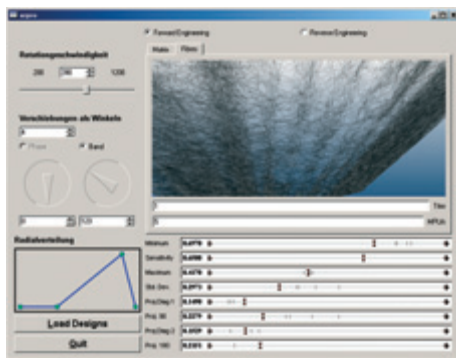
Dr. Thomas Hanne

☎ 06 31/3 16 00-44 22

thomas.hanne@itwm.fraunhofer.de

## MAVO SR-PRO

Die Aktivitäten der Abteilung OPTIMIERUNG in der von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten marktorientierten Vorlauforschung (MAVO) SR-PRO der Fraunhofer-Institute IGD, ITWM und SCAI zur Simulierten Realität fokussierten 2005 auf die Realisierung des Virtual-Engineering-Ansatzes für die Auslegung und Steuerung von Anlagen zur Vliesproduktion. Das hierfür von der Abteilung TRANSPORTVORGÄNGE entwickelte Simulationsmodell des Produktionsvorgangs (siehe Seite 20) wurde in einen Rahmen aus multikriterieller globaler Optimierung und interaktiver Entscheidungsunterstützung integriert. Der entwickelte Software-Demonstrator erlaubt die Echtzeit-Bewertung einer beliebigen Wahl der Anlagen-Parameter (Forward Engineering) sowie die Auswahl eines gewünschten Parametersatzes anhand der Vorgabe von Qualitätskriterien des Prozesses (Optimierung). Zur Vorverarbeitung des Modells wurde dabei die in der Abteilung entwickelte Softwarekomponente von evolutionären Algorithmen für multikriterielle Optimierung eingesetzt. Ein besonderer Schwerpunkt galt der Erforschung des Trade-offs zwischen Qualitätseigenschaften des produzierten Vlieses und der Prozess-Stabilität bei kleinen technischen Schwankungen in den Anlageneinstellungen.



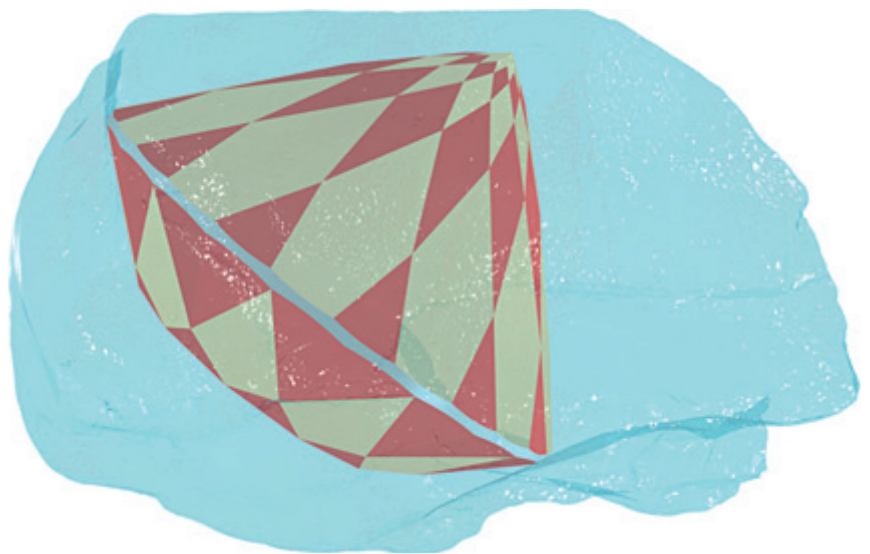
Planungswerkzeug für die Vliesproduktion mit Virtual-Reality-Komponente des Fraunhofer IGD

## Optimale Verwertung von Farbedelsteinen

Die Firma Paul Wild GmbH bei Idar-Oberstein plant eine Anlage zum automatisierten Schleifen von Farbedelsteinen, die das Material noch besser verwertet. Sie soll das maximale Volumen aus den Rohsteinen herausholen und mit größerer geometrischer Präzision als bisher schleifen. Die Abteilung OPTIMIERUNG entwickelt dafür eine Software, die ein volumenoptimiertes Edelsteindesign für einen gegebenen Rohling ermittelt. Nach der optischen Vermessung eines Rohedelsteins wird berechnet, welche Art Schliff sich am besten in die Geometrie des Rohlings fügt oder – bei vorgegebener Schliffart – wie der Edelstein rechnerisch in den Rohling eingebettet werden muss, um möglichst wenig Material abzutragen. Die Software berücksichtigt zudem, welche Schriffe noch im Lager sind und was die aktuellen Marktpreise für die verschiedenen Formen sind.

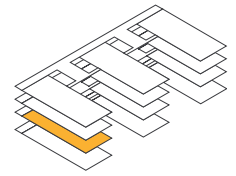
Denn es darf auch etwas mehr des edlen Staubs rieseln, wenn dafür ein besonders gefragtes und teures Juwel entsteht.

Mathematisch lässt sich das Problem der Volumenoptimierung als semiinfinites Optimierungsproblem modellieren, welches erhebliche rechnerische Herausforderungen mit sich bringt. Aufgrund der optischen Vermessung der Rohedelsteine fallen umfangreiche Datenmengen an, die mittels adaptiver hierarchischer Approximation in der Optimierung berücksichtigt werden. Als weitere Technik zur Beherrschung der Komplexität des Optimierungsproblems werden mögliche Rundistengrundformen und Facettierungsvarianten durch umschreibende parametrische Eichkörper modelliert. Ästhetische Gesichtspunkte in der Optimierung werden durch Einbeziehung verschiedener regelbasierter Zusammenhänge zwischen Facettenbildern und Designproportionen berücksichtigt.



Optimiertes Design für einen Rohedelstein





Die Verbesserung des Gesundheitszustandes der Patienten bildet die Kernaufgabe eines Krankenhauses. Der Krankenhauslogistik kommt in diesem Zusammenhang die wichtige Aufgabe zu sicherzustellen, dass sämtliche dafür benötigten Ressourcen (Personal, OP-Säle, Betten, Material, Medikamente usw.) rechtzeitig zur Verfügung stehen, damit die Patientenversorgung optimal gewährleistet wird.

Wegen des zunehmenden Kostendrucks im Gesundheitswesen kommt der effizienten Nutzung dieser knappen Ressourcen eine zentrale Bedeutung zu. In den letzten Jahren haben daher auch Krankenhäuser begonnen, verstärkt in Informationstechnologie zu investieren. Der Einsatz von Krankenhausinformationssystemen (KIS) deckt dabei die Bereiche Medizin, Pflege, Patientenmanagement und Rechnungswesen ab und ermöglicht einen dezentralen Zugriff auf alle benötigten Informationen von den Bettenstationen und Funktionsstellen. Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von IT im Krankenhaus ist jedoch, dass neben dem Sammeln von Daten auch leistungsfähige Planungsalgorithmen zur Verfügung

stehen, die das Klinikpersonal bei der täglichen Arbeit unterstützen.

Wir entwickeln hierfür Entscheidungsunterstützungswerkzeuge zur Planung und Disposition von Prozessabläufen im Krankenhaus. Insbesondere für die Bereiche OP-Management und Krankentransportdienst hat die Umsetzung der entwickelten Ansätze im Klinikalltag zur Verbesserung der Organisation und zu Kostenentlastungen geführt, ohne die medizinischen Versorgungsstandards zu verschlechtern.

Die eingesetzten mathematischen Instrumente schließen sowohl exakte als auch heuristische Methoden der diskreten und kombinatorischen Optimierung ein.

---

**Ansprechpartnerin:**

Dr. Teresa Melo

☎ 06 31/3 16 00-44 38

[teresa.melo@itwm.fraunhofer.de](mailto:teresa.melo@itwm.fraunhofer.de)

## Planungsunterstützung im OP-Management

Der OP-Bereich ist der kostenintensivste Arbeitsplatz im Krankenhaus. Durch die verbesserte Koordination und Planung aller Arbeitsabläufe lassen sich Verbesserungspotenziale für die Krankenversorgung erschließen und Einsparungen erzielen. Zu den Tätigkeiten des OP-Managements gehören die OP-Planung, die Abstimmung der benötigten und vorhandenen Personalkapazitäten und Materialressourcen, die Organisation der Personaleinsatzpläne, die Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit des OP-Bereiches und das Qualitätsmanagement.

Im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes wurde ein mathematisches Modell für die kurzfristige Planung von klinischen Operationen entwickelt. Das Modell berücksichtigt nicht nur die Verfügbarkeit der benötigten Ressourcen (z. B. OP-Säle, Personal, Geräte), sondern auch Präferenzen der verschiedenen Berufsgruppen (Operateure, Anästhesisten, Pflegepersonal) und mehrere konkurrierende Planungswünsche. Einerseits ist der OP-Manager an einer hohen OP-Saal-Auslastung interessiert. Andererseits möchte das OP-Pflegepersonal, dass die geplanten Arbeitszeiten eingehalten werden. Die Patienten wiederum sind an einer hohen Termintreue interessiert. Der Einsatz von Verfahren der kombinatorischen Optimierung ermöglicht die Berechnung ausgewogener OP-Pläne. Die neuen Verfahren werden weiterentwickelt, um die mittelfristige OP-Planung (ca. eine bis drei Wochen im voraus) zu unterstützen. Auch die reaktive Ablaufplanung auf unvorhersehbare Ereignisse (z. B. Notfälle, Ausfall von Ressourcen) wird im Fokus der weiteren Forschung stehen.

## Optimierung krankenhauser interner Transporte

Ein Krankenhausaufenthalt ist oft mit langen Wartezeiten verbunden. Diese entstehen beispielsweise bei Leistungsstellen, wenn geplante Untersuchungen sich verzögern oder wenn der Krankentransportdienst den Patienten nicht zur gewünschten Uhrzeit abholt. In großen Kliniken mit vielen hundert Betten kommen an einem einzigen Tag oft mehrere hundert Krankentransporte zusammen, die über Schiebepediste oder spezielle Fahrzeuge abgewickelt werden.

Obwohl die Planung krankenhauser interner Transporte nicht zu den Kernaufgaben einer Klinik gehört, hat sie erhebliche Auswirkungen auf andere Bereiche. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn der zu operierende Patient zum geplanten Termin nicht rechtzeitig in OP-Bereich eintrifft und es somit zu teurem Stillstand kommt.

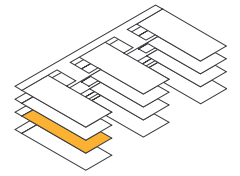
Zur Unterstützung der Disposition und Abwicklung von Krankentransporten wurde zusammen mit der SIEDA GmbH, Kaiserslautern und der COMEXAR Engineering AG, Lachen (Schweiz) die Planungssoftware Opti-TRANS® entwickelt. Transportaufträge werden in Opti-TRANS® durch die anfordernden Abtei-

lungen (Bettenstationen und Leistungsstellen) über ein Webinterface erfasst. Die angeforderten Transporte werden mittels eines am ITWM entwickelten zweistufigen Optimierungsansatzes den Transportteams zugeteilt. Zunächst werden offene Aufträge aufgrund ihrer räumlichen und zeitlichen Nähe gebündelt und Touren für einzelne Teams gebildet. In der zweiten Stufe werden Anfahrpunkte sowohl innerhalb einer Tour als auch zwischen zwei Touren mit dem Ziel ausgetauscht, bessere Touren zu erhalten. Dieses Ziel bezieht sich auf die Minimierung der Betriebskosten (z. B. Transportkosten) bei gleichzeitiger Maximierung der Servicequalität (z. B. durch geringe Patientenwartezeiten). Studien in mehreren Krankenhäusern haben gezeigt, dass durch den Einsatz dieses Verfahrens die Patientenwartezeiten deutlich abnehmen und der Transportdienst gleichmäßiger ausgelastet wird.

Opti-TRANS® wurde 2005 in den Städtischen Kliniken Frankfurt am Main-Höchst und im Klinikum Augsburg eingeführt. Beide Krankenhäuser verfügen über 1000 Betten und haben bislang mehrere hundert Krankentransporte täglich über eine Telefonzentrale abgewickelt. Der Einsatz von Opti-TRANS® hat zu einer Erhöhung der Transparenz aller Arbeitsabläufe geführt.

№.	Status	Priorität	Start	Ziel	View	Ein	Absch.	Ankunft	Trends	Folgen angeht
49	abgeschlossen	Normal	HNO - HNO	RAD - Radiologie	08:10	08:25	08:10	08:20	abholen	
77	disponiert	Normal	OP - Op	INT - Intensiv	13:15	13:30	13:15	13:30	abholen	
81	angefordert	Normal	OP - Op	INT - Intensiv	15:15	15:30			abholen	
82	angefordert	Normal	CAMB - Ambulanz Chirurgie	OP - Op	15:20	15:35			abholen	
45	abgeschlossen	Normal	FAD - Palliative	OP - Op	08:45	09:15	08:45	09:13	abholen	
48	abgeschlossen	Normal	FAD - Palliative	OP - Op	08:50	09:20	08:50	09:19	ankommen	
49	abgeschlossen	Normal	HNO - HNO	RAD - Radiologie	09:00	09:30	09:00	09:23	abholen	
54	angefordert	Normal	HNO - HNO	OP - Op	10:00	10:30			ankommen	
55	disponiert	Normal	OP - Op	FAD - Palliative	11:00	11:30	11:00	11:30	ankommen	
52	angefordert	Normal	OTN - Otolaryngologie	OP - Op	12:30	13:00			abholen	
53	angefordert	Normal	OP - Op	HNO - HNO	14:30	15:00			abholen	
54	angefordert	Normal	OP - Op	CHR2 - Chirurgie2	14:45	15:15			abholen	
55	angefordert	Normal	OP - Op	OTN - Otolaryngologie	15:00	15:30			abholen	
57	angefordert	Normal	OP - Op	OTN - Otolaryngologie	15:00	15:30			abholen	
47	abgeschlossen	Normal	MED2 - Innere Medizin2	RAD - Radiologie	09:00	10:00	09:00	09:48	ankommen	
50	abgeschlossen	Normal	FAD - Palliative	CAMB - Ambulanz Chirurgie	09:30	10:30	09:30	10:25	ankommen	
51	abgeschlossen	Normal	INT - Intensiv	CHR2 - Chirurgie2	09:30	10:30	09:30	10:18	ankommen	
56	angefordert	Normal	RAD - Radiologie	HNO - HNO	10:00	11:00			abholen	
58	disponiert	Normal	MED - Innere Medizin	RAD - Radiologie	10:10	11:10	10:10	11:10	ankommen	
59	disponiert	Normal	RAD - Radiologie	MED2 - Innere Medizin2	10:15	11:15	10:15	11:15	abholen	
60	disponiert	Normal	OTN - Otolaryngologie	RAD - Radiologie	10:15	11:15	10:15	11:15	ankommen	
56	angefordert	Normal	HNO - HNO	FAD - Palliative	11:20	12:20			ankommen	
57	disponiert	Normal	RAD - Radiologie	HNO - HNO	11:30	12:30	11:00	12:00	ankommen	
58	angefordert	Normal	MED - Innere Medizin	RAD - Radiologie	11:30	12:30			ankommen	
59	angefordert	Normal	RAD - Radiologie	MED - Innere Medizin	11:30	12:30			ankommen	

Transportaufträge in Opti-TRANS® mit dem jeweiligen Bearbeitungsstatus



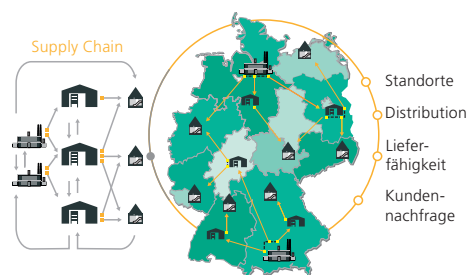
Aufgrund der wachsenden Ausdehnung und Vernetzung internationaler Unternehmen im Zuge der Globalisierung werden Planungsaufgaben immer umfangreicher und komplexer. Hierzu bietet die mathematische Optimierung Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung auf allen Planungsebenen von der strategischen Gestaltung des Supply-Chain-Netzwerks bis hin zur kurzfristigen Feinplanung, welche den täglichen Betriebsablauf der Supply-Chain festlegt.

Im Rahmen des von der Landesregierung Rheinland-Pfalz geförderten Exzellenzprogramms »Dependable Adaptive Systems and Mathematical Modeling« wurde Ende 2005 mit einem neuen Projekt zur Planung von langfristigen Entscheidungen über Materialbeschaffung, Produktion, Standortwahl und Distribution mithilfe von Verfahren der diskreten Optimierung begonnen. Im besonderen Fokus steht die Entwicklung eines robusten Modells, welches die Abbildung verschiedener komplexer Netzwerkkonfigurationen vereinigt und die Betrachtung wichtiger Planungsparameter (z. B. nichtlineare Transportkosten, Zolltarife) ermöglicht.

Mit der Entwicklung neuer mathematischer Verfahren zur Auslegung von Supply-Chain-Netzwerken zur Distribution von Ersatzteilen wurde ebenfalls Ende 2005 im Rahmen des EU-Projekts »System for Mobile Maintenance and Accessible in Real Time« (SMMART) begonnen. Ziel des SMMART-Projekts ist es, ein System zu konzipieren, das wichtige Informationen aus sogenannten »Smart Tags« an Hubschrauber-, Flugzeug- und Lkw-Teilen in Echtzeit zur Verfügung stellt, um die Planung und Durchführung von Wartungsaktivitäten zu unterstützen. Die Netzwerkauslegung bildet die Grundlage für die Erstellung von Distributionsplänen, welche die Verfügbarkeit und Lieferung von Ersatzteilen innerhalb kürzester Zeit gewährleisten.

Die termingerechte und kostenoptimale Lieferung von Gütern steht ebenfalls im Rahmen einer Kooperation mit der Universität Catania (Italien) im Vordergrund. Hierzu werden effiziente heuristische Methoden zur Erstellung von Tourenplänen in Echtzeit für die Abwicklung der Transporte entwickelt.

Im Fokus des Schwerpunktthemas »Verkehrsplanung« steht die Unterstützung der Planungskette in Verkehrsunternehmen des ÖPNV mit Methoden der mathematischen Optimierung und entsprechenden Softwaretools. Besonderes Augenmerk lag 2005 auf der Frage der unternehmensübergreifenden Fahrplanabstimmung. Die Komplexität liegt hier in den vernetzten Interdependenzen von Anschlüssen: Eine Verbesserung der Übergänge an einem Knoten kann bei manueller Planung mit einer unbeabsichtigten und unbemerkten Verschlechterung an einem anderen Knoten einhergehen. Methoden der multikriteriellen diskreten Optimierung werden eingesetzt, um ein Optimum zu finden, das diesen Trade-offs Rechnung trägt.



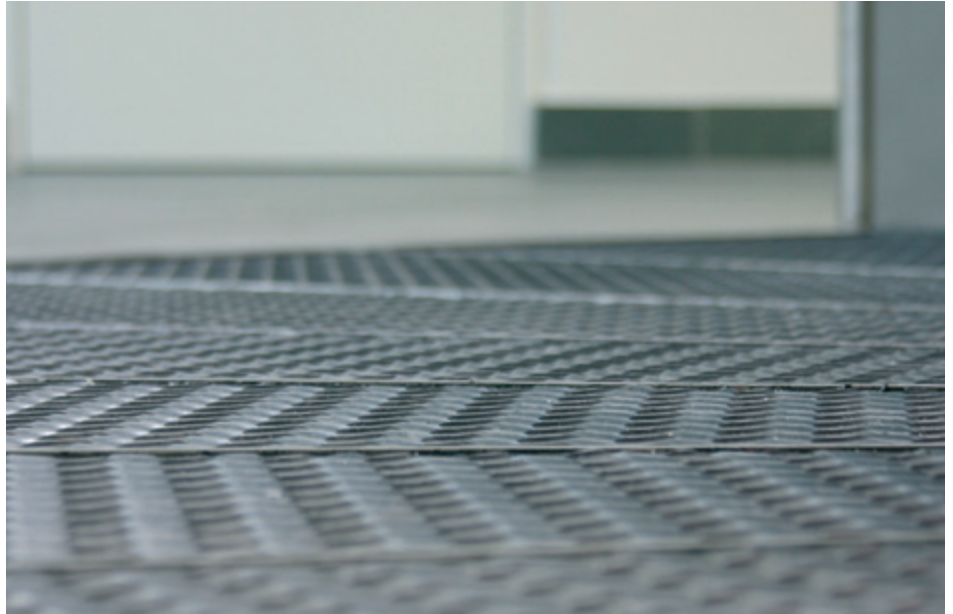
Modellgestützte Planung von Supply-Chain Netzwerken

## Ansprechpartnerin:

Dr. Teresa Melo

☎ 06 31/3 16 00-44 38

teresa.melo@itwm.fraunhofer.de



Moderne hochautomatisierte Betriebe zeichnen sich durch eine komplexe Struktur der Material- und Informationsflüsse sowie durch eine dynamische Natur der zu treffenden Steuerungsentscheidungen aus. Dies betrifft u. a. Produktion, Materialfluss und organisatorische Abläufe.

Für solche Systeme bieten wir die Ermittlung von effizienten Strategien für Scheduling, Load-Balancing, Routing. Wir erarbeiten optimale Steuerungsalgorithmen zur Vermeidung von Staus und Deadlocks. Basierend auf Simulation und Optimierung leisten wir eine umfassende Begleitung in allen Phasen des Systemlebenszyklus.

Wegen der Komplexität der dabei zu lösenden Probleme ist ein systematischer Einsatz von kombinierten Methoden eine notwendige Voraussetzung zur Verbesserung der Funktionsfähigkeit entsprechender Systeme. Die oben genannten Aufgaben stellen im Wesentlichen ein natürliches Anwendungsfeld für die mathematische Optimierung dar. Zu einer realitätsnahen Validierung und Verfeinerung von Lösungen werden umfangreiche Simulationen durchgeführt.

In typischen Projekten kann eine auf diese Weise entwickelte Strategie zur Artikelzuordnung den Durchsatz um einige dutzend Prozent erhöhen. Die erarbeiteten online-optimierungsbasierten Steuerungsstrategien für den Verschiebewagen in Kombination mit einem durch die Simulation erreichten Verzicht auf die zuerst vorgesehene zeitaufwändige Zwischenpufferung liefert eine wesentliche Steigerung der Gesamtleistung. Weiterhin bringt eine kombinierte Strategie zur Artikelverarbeitung beim Kommissionieren in Kombination mit einer adaptiven Strategie der Auftragsbearbeitungsreihenfolge eine deutliche Reduzierung des Zeitverlustproblems. Ein kombinierter Einsatz von Optimierung und Simulation bilden somit die Basis für die Entscheidungsunterstützung sowohl bei der Systementwicklung als auch während des Betriebs eines realen Systems.

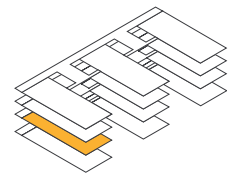
---

**Ansprechpartner:**

Dr.-Ing. habil. Alexander Lavrov

☎ 06 31/3 16 00-43 25

[alexander.lavrov@itwm.fraunhofer.de](mailto:alexander.lavrov@itwm.fraunhofer.de)



## Erweiterte Simulationsplattform für Materialflussplanung und -steuerung

Umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet Simulation und Optimierung der Materialfluss-Systeme zeigen einen großen Bedarf an einer erweiterten Simulationsplattform zur Unterstützung der Planungsphase. Eine solche Plattform sollte erstens den Informationsaustausch zwischen den Planern und den Steuerungsentwicklern verbessern und zweitens eine umfangreiche simulative Analyse zum natürlichen Bestandteil im Entwicklungsprozess machen, insbesondere durch eine Abkürzung und Vereinfachung des Wegs vom Design (Plan) zum Simulationsmodell. Weiterhin sollte sie generische und erweiterbare Bausteine zur Verfügung stellen, die eine leichtere Anpassung an spezifische Funktionalitäten eines konkreten abzubildenden Systems ermöglichen.

So ist in diesem Zusammenhang z. B. die Berücksichtigung der Kollisionsgefahren in der Materialflusstechnik vorgesehen. Die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsabstimmung über verschiedene Raumdimensionen für typische Elemente der Fördertechnik

erlaubt es, blockierungs- und kollisions-sichere Steuerungsalgorithmen zu entwickeln und durch Simulation bzw. Emulation, mit Anschluss an die reale Steuerung, zu testen. Dabei werden die entsprechenden Zusatzanforderungen als Restriktionen in die online zu lösenden Optimierungsprobleme integriert. Eine weitere Ebene bietet parametrisierte Modelltemplates, wobei selbst die Modellstruktur und Inhalte einzelner Module automatisch generiert werden.

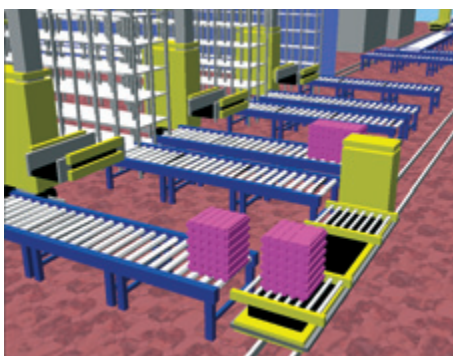
## Constraint-Techniken im Scheduling

In den letzten Jahren wird die diskrete mathematische Optimierung zunehmend mit den der Künstlichen Intelligenz entstammenden Constraint-Techniken integriert. Hybride Verfahren mit Bausteinen aus beiden »Welten« haben in einer Reihe von Anwendungen zu Durchbrüchen geführt. Im breiten Anwendungsfeld des Scheduling (Ablaufplanung) haben wir Constraint-Techniken in zwei Projekten eingesetzt.

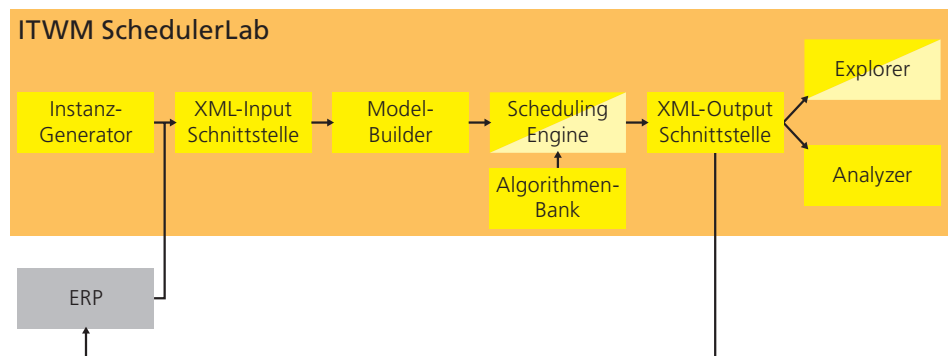
Die Entwicklung des ITWM SchedulerLab, ein Projekt mit der proALPHA Software AG, dient dem Ziel, Schedu-

ling-Systeme für die Produktionsplanung mit möglichst geringem Aufwand entwickeln zu können. Auf Constraint-Techniken basierende Algorithmen können als Plug-In dem SchedulerLab hinzugefügt werden. XML-Schnittstellen erlauben die einfache Integration in die Unternehmenssoftware. Mit dem SchedulerLab lassen sich effizient prototypische Systeme zur Produktionsplanung realisieren, die den spezifischen Anforderungen eines Unternehmens gerecht werden. Die erfolgreichsten Algorithmen werden anschließend aus dem SchedulerLab in das Zielsystem übernommen.

Der Constraint-Solver ConSolve(R) unseres Projektpartners SIEDA GmbH, derzeit vor allem in Personalplanungssoftware für Krankenhäuser eingesetzt, wird in einem strategischen Projekt für die Realisierung von Scheduling-Anwendungen weiterentwickelt. Hierzu werden Algorithmen implementiert, die das logische Schließen aus typischen Constraints des Scheduling durchführen. Damit wird die zielgerichtete Suche nach möglichst guten Lösungen effektiv und effizient unterstützt.



Eingangsbereich eines Hochregallagers (Modellausschnitt)



Module des ITWM SchedulerLab, einer Plattform zur Entwicklung von prototypischen Scheduling-Systemen in der Produktionsplanung

Bei nahezu allen Problemstellungen der Praxis spielen zahlreiche Kriterien und meist konkurrierende Ziele eine Rolle. Trotzdem ist heute die Verbreitung von Methoden zum »Multicriteria Decision Making« (MCDM) im betrieblichen Umfeld noch sehr gering. Der Hauptgrund mag darin liegen, dass ein Praktiker die Arbeit mit solchen Methoden scheut, da er sie als zu schwierig oder aufwändig ansieht. Dafür wiederum dürfte insbesondere die als zu kompliziert empfundene »Man Machine Interaction« verantwortlich sein. Somit besteht offensichtlich großer Bedarf an benutzerfreundlicher Software, welche die Nutzung von MCDM-Methoden für einen weiten Kreis von unterschiedlichsten Anwendern attraktiv macht.



Diese praktischen Forderungen erfüllt knowCube®, eine innovative Methodik zur Entscheidungsunterstützung. Ihre Fokussierung liegt auf der transparenten Visualisierung von Wissenskontexten und der Generierung ergonomischer Interaktionsmöglichkeiten. Damit sind auch Nicht-Experten in der Lage, in komplexen Entscheidungssituationen effektiv und effizient Alternativen abzuwägen. Verschiedene Typen von Kriterien – seien es quantitative oder qualitative, objektive oder subjektive, aktive oder passive, abhängige oder unabhängige, deterministische oder statistische – können gleichzeitig betrachtet werden, jeder Anwender kann im Entscheidungsraum nach seiner speziellen Strategie und unter Berücksichtigung aktueller Restriktionen navigieren.

Anwendungsfelder liegen insbesondere im virtuellen Design von Produkten, in der Produktion, in der Logistik, im Marketing und im Vertrieb. Immer stärker in den Vordergrund tritt dabei die Verknüpfung von mehrkriteriellen Methoden mit Konzepten der Six-Sigma-Qualitäts-Philosophie. Bei einem im Jahr 2003 mit der Tehalit GmbH begonnenen Projekt stand der Aufbau eines fir-

mensspezifischen »Process Memory« im Vordergrund. Darauf aufbauend wurde 2004 die Komponente »Process Analysis« entwickelt. Im Jahr 2005 wurde das Modul »Process Control« entwickelt.

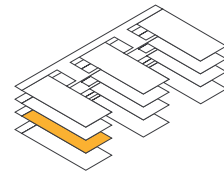
---

**Ansprechpartner:**

Dipl.-Math. Hans Trinkaus

☎ 06 31/3 16 00-42 11

[hans.trinkaus@itwm.fraunhofer.de](mailto:hans.trinkaus@itwm.fraunhofer.de)



Volker Maag, Ansgar Geiger, Ahmad-Saher Azizi-Sultan, Hector Flores Cantu, Shahin Galareh, Dr. Thomas Hanne, Priv.-Doz. Dr. Karl-Heinz Küfer, Michael Monz, Paul Miki Willy, Fernando Alonso, Dr. Michael Schröder, Jörg Steeg, Dr. Teresa Melo, Anton Winterfeld, Rafael Velásquez, Dr.-Ing. habil. Alexander Lavrov, Farid Derradji

# Finanzmathematik

2005 konnte die Abteilung FINANZ-MATHEMATIK den in den Vorjahren erzielten Status halten und wieder mit innovativen Ideen und neuen Projekten in den Schwerpunkten

- Optionsbewertung
- Kreditderivate
- Zinsmodelle
- Kreditrisiko
- Portfolio-Optimierung

aufwarten. Neben der Fortführung von Projekten aus dem vergangenen Jahr wurden hauptsächlich in den Bereichen Asset Liability Management (ALM) und Kreditderivate neue Kompetenzen aufgebaut.

So hat sich im Bereich ALM (Schwerpunkt Portfolio-Optimierung) die Zusammenarbeit mit dem FCC wieder als sehr erfreulich erwiesen. Neue Aspekte aus gemeinsamen Projekten haben zum Produkt ALMSim geführt, einem Szenariogenerator, der für allgemeine ALM-Simulationen geeignet ist. Wir hoffen, dass dies und die in Schweden erworbene Reputation uns 2006 verstärkt Präsenz auf dem deutschen Versicherungsmarkt verschaffen wird. Im Bereich Kreditderivate wurde in Projekten und Workshops verstärkt Wissen angesammelt, das 2006 in die Erstellung eines CDO-Pricers münden soll, mit dem wir hoffen, in den rasant wachsenden CDO-Markt eindringen zu können.

Ein wissenschaftliches Highlight im Bereich Optionsbewertung war das 2004 gestartete Forschungsprojekt mit Prof. Leonhard C. Rogers (Cambridge) zur Modellierung von Dividendenströmen. Auf dieser Basis wurde eine Diplomarbeit am ITWM erstellt, die mit dem Gauß-Preis der DAV/DGVFM im

Bereich Nachwuchs ausgezeichnet wurde. Ein weiteres Highlight war die Veranstaltung der ersten Fraunhofer-HVB-Finance-Tagung für den exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchs im deutschsprachigen Raum, für die Paul Wilmott (London) als Gastdozent gewonnen werden konnte.

Für 2006 versprechen wir uns durch Projekte im Rahmen des Landesexzellenzclusters »Dependable Adaptive Systems and Mathematical Modelling« neuen wissenschaftlichen Input, um unsere Stellung als innovative Forschungs- und Beratungseinheit der Finanzmathematik weiter ausbauen zu können.

---

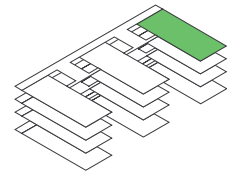
## Abteilungsleiter:

Prof. Dr. Ralf Korn

☎ 06 31/3 16 00-46 58

ralf.korn@itwm.fraunhofer.de





Im Schwerpunkt Optionsbewertung befassen wir uns mit der Bewertung von komplexen Derivaten. Ziel ist die Herleitung von Bewertungsformeln und die Bereitstellung numerischer Algorithmen zur Preis- und Sensitivitätsberechnung. Derivate sind abgeleitete Wertpapiere, deren tatsächliche Auszahlung vom Preisverlauf eines zugrundeliegenden Guts (des Basiswertpapiers) abhängen. Innovative Kreditderivate mit komplexen Auszahlungsstrukturen werden verstärkt von Banken auf den Markt gebracht. Es gibt drei Hauptgründe für den Entwurf immer neuer Kreditderivate: Erstens werden sie zur Absicherung (Hedging) gegen Kreditrisiken verwendet; zweitens können Anleger mit Hilfe von Derivaten auch in Zeiten einer schlechten Konjunktur hohe Renditen erzielen; und drittens können Kreditderivate, die außerbörslich (OTC) verkauft werden, auf die Wünsche eines Kunden zugeschnitten werden. Voraussetzung für die Bewertung komplexer Kreditderivate sind geeignete Marktmodelle. Diese Modelle müssen die Marktpreise der Standardprodukte (z. B. von Credit Default Swaps) abbilden und die Basis-

wertpapiere (z. B. Anleihen) realistisch modellieren. Das Marktmodell soll auch die Anwendung schneller numerischer Verfahren zur Berechnung des Auszahlungsprofils der Kreditderivate ermöglichen.

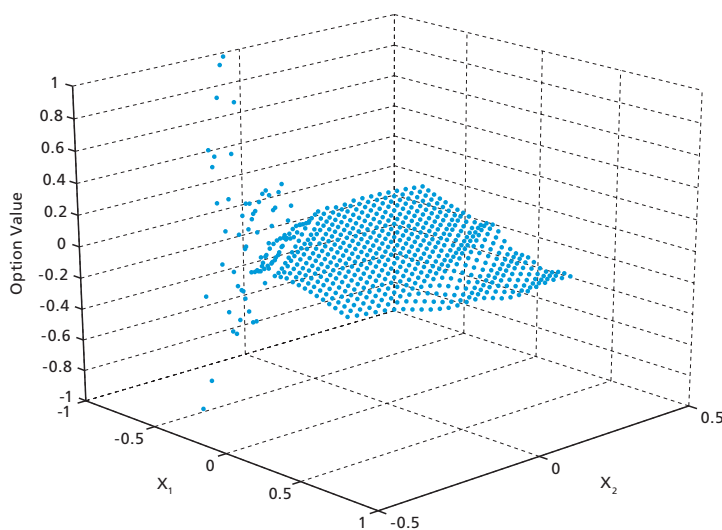
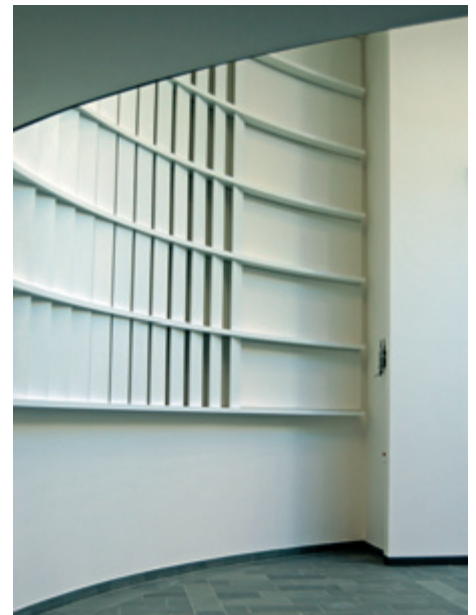
Schwerpunkt der Optionsbewertung war 2005 die Bewertung von Collateralized Debt Obligations (CDOs). Da ein CDO sich aus mehreren Basiswertpapieren zusammensetzt, ist eine wichtige Anforderung an das Marktmodell die möglichst wirklichkeitstreue Darstellung der korrelierten Ausfälle. Verschiedene CDO-Marktmodelle wurden untersucht und implementiert.

## **Ansprechpartnerin:**

M. Sc. Fin. Math. Kalina Natcheva

☎ 06 31/3 1600-46 18

✉ kalina.natcheva@itwm.fraunhofer.de



Auszahlungsprofil einer Target Redemption Note in einem Zwei-Faktor-Hull-White-Short-Rate-Baum

## Dividendenmodellierung

Bei der klassischen Optionsbewertungstheorie im Rahmen des Black-Scholes-Modells (oder aber auch allgemeinerer zeitstetiger Modelle wie z. B. die der stochastischen oder lokalen Volatilität) wird die Präsenz von Dividenden entweder ignoriert oder aber nur stark vereinfachend (z. B. in der Form einer Dividendenrate, die kontinuierlich als zum Aktienkurs proportionale Zahlung dargestellt wird oder in Form bereits bekannter zukünftiger Zahlungen) berücksichtigt. Dies mag für Optionen von kurzer Laufzeit als hinreichend gute Approximation angesehen werden, ist aber sicherlich für langlaufende Optionen unzureichend. Dies ist auch gerade vom ökonomischen Standpunkt aus widersinnig, da ja der Wert einer Aktie gleich dem Barwert der zukünftigen Dividenden ist und sich nicht losgelöst von den Dividenden entwickelt.

Um diesen Missstand zu beseitigen, wurde von Korn und Rogers ein neues

Modell für die zeitliche Entwicklung von Dividendenströmen entwickelt, bei dem sich der Aktienpreis endogen als Barwert der zukünftigen Dividendenzahlungen ergibt. Hierbei besteht das Grundmodell aus der Annahme, dass die jeweils zu diskreten Zeitpunkten  $t_i$  erhaltenen Dividenden proportional zum Wert eines exponentiellen Lévy-Prozesses sind, also die Form  $D_j = \lambda X(t_j)$  besitzen. Unter der Annahme, dass man bereits unter einem geeigneten Bewertungsmaß modelliert und  $E(X(t)) = X(0) \exp(\mu t)$  voraussetzt, ergeben sich dann der zugehörige Aktienpreis als

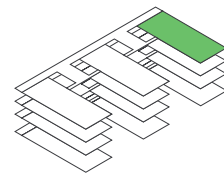
$$\begin{aligned} S(t) &= \sum_{m \geq k} e^{-r(mh-t)} \lambda E_t(X(mh)) \\ &= e^{rt} \sum_{m \geq k} e^{-r mh} \lambda X(t) e^{\mu(mh-t)} \\ &= \lambda X(t) \frac{e^{-(r-\mu)(kh-t)}}{1 - e^{-(r-\mu)h}} \end{aligned}$$

(für  $t \in ((k-1)h, kh)$ ), wobei  $h$  die Zeit zwischen zwei Dividendenzahlungen darstellt. Man erhält eine dem klassischen

Black-Scholes-Modell ähnliche Formel für den Preis einer europäischen Kaufoption

$$\begin{aligned} &\tilde{S} \Phi(d_1) - Ke^{-rT} \Phi(d_2) \text{ mit} \\ d_1 &= \frac{\ln\left(\frac{\tilde{S}}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \\ d_2 &= d_1 - \sigma\sqrt{T} \\ \tilde{S} &:= S(0)e^{-(r-\mu)kh} \end{aligned}$$

wobei  $\Phi(\cdot)$  die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung ist und (für  $t \in ((k-1)h, kh)$ ) angenommen wird. Allerdings ist eine solche Formel nur für europäische Kaufoptionen korrekt, für amerikanische Optionen besitzt sie keine Gültigkeit. Dieses Problem und Varianten für den Fall, dass bereits Dividenden angekündigt, aber noch nicht gezahlt wurden, Portfolio-Optimierung mit dem neuen Aktienpreismodell, Kalibrierungsmethoden und weitere praktische Aspekte konnten in theoretischen Untersuchungen geklärt werden. In einem zugehörigen Praxisprojekt wurde die Anwendbarkeit des Modells nachgewiesen.



In den letzten Jahren hat sich die Bewertung von Kreditrisiken stark verändert. Standen in der Vergangenheit in der Praxis oft intuitive Verfahren im Vordergrund, so hat die jüngste Entwicklung zu deutlich mathematischeren Ansätzen geführt. Dies liegt vor allem an der Entwicklung von Kreditderivaten, die es nun möglich machen, solche Risiken aktiv an den Finanzmärkten zu handeln, während klassisch das Kreditgeschäft von einer Buy-and-Hold-Strategie geprägt war. Gerade der effiziente und einfache Transfer von standardisierten Produkten eröffnet eine Vielzahl neuer Möglichkeiten in Risiko-Management, Portfolio-Optimierung, Investition und Spekulation. Belegt wird dies durch die extremen Wachstumsraten des Marktes für Kreditderivate und der ständig wachsenden Anzahl immer neuer Produkte. Dieses Wachstum wird mit Inkrafttreten der neuen Eigenkapitalregulierung (Basel II) nochmals verstärkt.

Im Zentrum der mathematischen Modellierung steht die Bewertung von Kreditprodukten aufgrund ihrer Ausfallgefahr. Einen wesentlichen Unterschied zu klassischen Handelsprodukten (z. B. Ak-

tionsoptionen) stellt für einen Kreditrisikohändler das Ungleichgewicht zwischen einer relativ kleinen Gewinnchance (Upside Chance) und einer deutlich größeren Verlusthöhe und Wahrscheinlichkeit (Downside Risk) dar. Deshalb werden sehr hohe Ansprüche an die mathematische Modellierung von Kreditrisiken gestellt. Im Gegensatz zu Marktpreisrisiken hat sich auf dem Markt der Kreditderivate noch kein Standardmodell herausgebildet – ihre Modellierung steht weiterhin im Mittelpunkt intensiver Forschung.

Der Schwerpunkt Kreditderivate wurde 2005 im Rahmen mehrerer langfristiger Projekte weiter ausgebaut. Dabei stand vor allem die marktgerechte Bewertung von Basket Default Swaps wie z. B. Collateralized Debts Obligations (CDOs) im Vordergrund.

## **Ansprechpartner:**

Dr. Ulrich Nögel  
 ☎ 06 31/3 1600-4307  
 ulrich.noegel@itwm.fraunhofer.de

## Bewertung von Basket Default Swaps

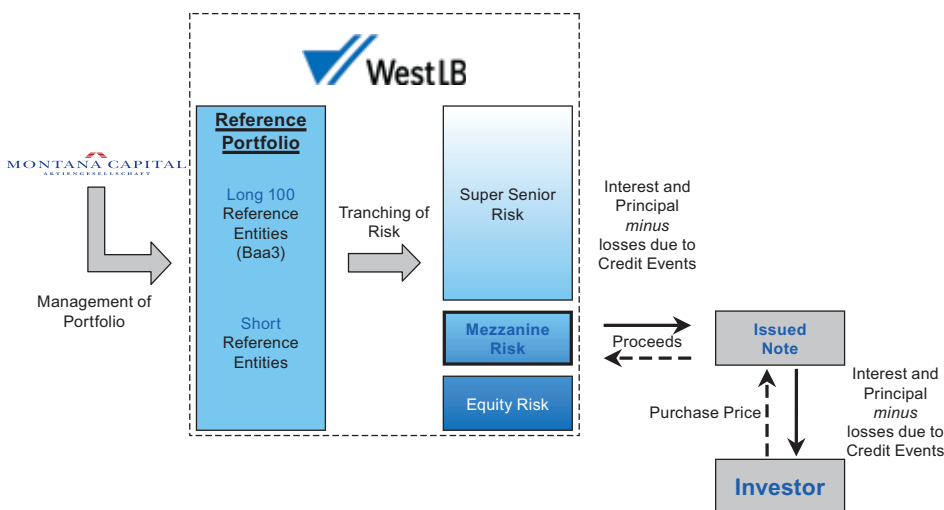
Seit der Einführung von Kreditderivaten in der Mitte der 90er Jahre bildet der Handel mit diesen vergleichsweise jungen Derivaten auch gleichzeitig einen der am stärksten expandierenden Märkte für Finanzprodukte. Dies äußert sich nicht nur in dem exponentiell wachsenden Handelsvolumen sowie dem zunehmenden Interesse zahlreicher Hedge Fonds, sondern auch in der zunehmenden Standardisierung einfacher Derivate bei einem gleichzeitig extrem rasant zunehmenden Bedarf an exotischen und strukturierten Derivaten. Das Problem beim Handel mit Kreditderivaten ist jedoch das Fehlen eines Standardmodells für die Kreditausfallwahrscheinlichkeit und damit für die Bewertung einfacher und strukturierter Produkte.

Ein Beispiel für ein weitgehend standardisiertes Produkt, dem lediglich ein einzelnes ausfallgefährdetes Finanzinstrument zugrundeliegt, ist der sogenannte Credit Default Swap (CDS). Die gehandelten CDS bilden einen inzwischen hinreichend liquiden Markt, so dass deren Marktpreise zur Kalibrierung der Kreditausfallwahrscheinlichkeit benutzt werden können. Die aus dieser Kalibrierung entstehende Credit Spread Curve bildet die Grundlage für die Bewertung weiterer Produkte. Das ITWM testet und entwickelt verschiedene Verfahren zur Bestimmung dieser Spread Curve (z. B. Bootstrap, Parametrisierung etc.) als auch zur Auswertung historischer CDS-Spread-Daten (z. B. deskriptive Verteilungsanalyse, Test auf Normalität, Anpassung von Mischungsverteilung) und der Bestimmung und Kalibrierung geeigneter stochastischer Modelle an diese historischen Daten.

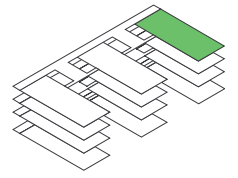
Im Gegensatz zu diesen einfachen CDS basieren sogenannte Basket Default Swaps (BDS) auf einem Portfolio von unterliegenden Finanzinstrumenten. Typische Produkte sind First to Default Swaps (FtD), Second to Default Swaps (StD) oder Collateralized Debts Obligations (CDO). Die Schwierigkeit bei der Bewertung solcher BDS liegt in der Modellierung und Kalibrierung der korrelierten Ausfallwahrscheinlichkeiten des Basket Portfolios. Das ITWM entwickelt und testet Modelle, die über übliche Gaußsche Copula hinausgehen, um die auf dem Markt beobachtete Base Correlation bzw. implizite Korrelation zu reproduzieren und damit eine marktgerechte Bewertung von BDS (vor allem CDOs sowie neue komplexere Produkte wie CDO2) zu ermöglichen.

2005 wurden vom ITWM u. a. verschiedene neue Modelle speziell zur Bewertung von CDOs implementiert, getestet und weiter optimiert.

## Transaction Structure



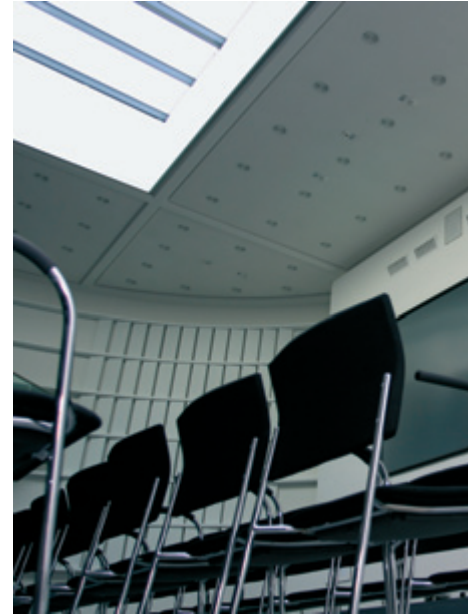
Synthetischer Long/Short-CDO »Silver Lake« (mit freundlicher Genehmigung von Montana Capital AG)



Dass Zinsen nicht konstant sind, weiß jeder, der schon einmal Geld anlegen bzw. leihen wollte. Im Gegensatz zum Privatkundengeschäft, wo sich die Zinsen relativ langsam verändern, ist die Fluktuation innerhalb der Banken wesentlich stärker. Gründe dafür sind volkswirtschaftliche und ökonomische Entwicklungen. Verglichen mit den Schwankungen am Aktienmarkt sind die Zinsänderungen aber moderat. Trotzdem ist die Modellierung dieser Schwankungen bei der Bewertung jedes Finanzinstruments von grundlegender Bedeutung, da z. B. Staatsobligationen gerne als Referenzinstrument eingesetzt werden. Ferner gibt es Derivate, deren Auszahlungsprofil direkt von der zukünftigen Zinsentwicklung abhängt. Diese Produkte sind nicht nur Nischenprodukte – im Gegenteil: Das Handelsvolumen ist sehr hoch.

Alle Derivate beziehen sich auf die zukünftige Entwicklung der zugrundeliegenden Finanzinstrumente. Da aber die Zukunft nicht deterministisch ist, müssen ökonomisch begründete, stochastische Modelle zur Zinsmodellierung eingesetzt werden. Hier geht die Meinung unter den Experten aber sehr weit auseinander, da es kein »Standardmodell« gibt, sondern Kassazinsraten-, LIBOR- und Swap-Modelle, die alle für gewisse Probleme besser angepasst sind als für andere. Man muss sich demnach bei jeder neuen Fragestellung für eines der vorhandenen Modelle entscheiden.

Das Hauptaugenmerk der Abteilung liegt auf der Bewertung komplexer Zinsderivate unserer Projektpartner aus dem Banken- sowie öffentlichen Sektor. Beispiele für untersuchte Produkte bzw. angewandte Modelle sind Constant Maturity Swaps, Venture Development Bonds, inflationsgebundene Bonds und Bermuda Swaptions bzw. Black-Derman-Toy-Modell mit Binomialbaum, Cheyette-Modell und LIBOR-Modelle mit Ausfallrisiko.



**Ansprechpartner:**  
Dr. Gerald Kroisandt  
☎ 06 31/3 16 00-42 38  
gerald.kroisandt@itwm.fraunhofer.de

Die Umsetzung der Eigenkapitalrichtlinien für Kreditinstitute (Basel II) und deren Begutachtung durch die Bankenaufsicht (BaFin, Bundesbank) steht für viele Banken derzeit kurz vor dem Abschluss. Typische Aufgaben, bei denen die Abteilung Finanzmathematik beratend tätig wird, sind die statistische Bewertung von Ratinggewichten, die Validierung der Ausfallwahrscheinlichkeitschätzungen und die Modellierung von Verlustverteilungen.

Die Einschätzung der Qualität eines Ratingverfahrens basiert sowohl auf der Analyse einzelner Ratingfaktoren als auch auf der Untersuchung der Ratingscores. Bei den Einzelfaktoren wird vorrangig die Trennfähigkeit zwischen Ausfall und Nichtausfall betrachtet. Daneben wird eine Reihe von deskriptiven Analysen durchgeführt. Dabei können

zum Beispiel grafische Verfahren wie Dichteschätzer oder Boxplots Hinweise auf problematische Merkmalsausprägungen geben, die zu niedrigen Trennschärfewerten führen. Für die Bewertung von Ratingscores ist neben der Trennschärfe auch die Kalibrierung der geschätzten Ausfallwahrscheinlichkeiten zu beurteilen.

Zur Optimierung der Gewichte innerhalb des Ratingscores und zur Analyse der Ausfallwahrscheinlichkeiten verwenden wir spezielle Regressionsmodelle, insbesondere das Logit-Modell (logistische Regression) für den Fall, dass tatsächlich Ausfallbeobachtungen vorliegen. In diesem Jahr haben wir uns auch erstmalig mit der Kalibrierung eines internen Ratings an externe Risikoeinschätzungen (wie z. B. Ratings externer Agenturen) beschäftigt.

Hier kommen Ordered-Logit-Modelle zum Einsatz, die als abhängige Regressionsvariable geordnete Kategorien verwenden.

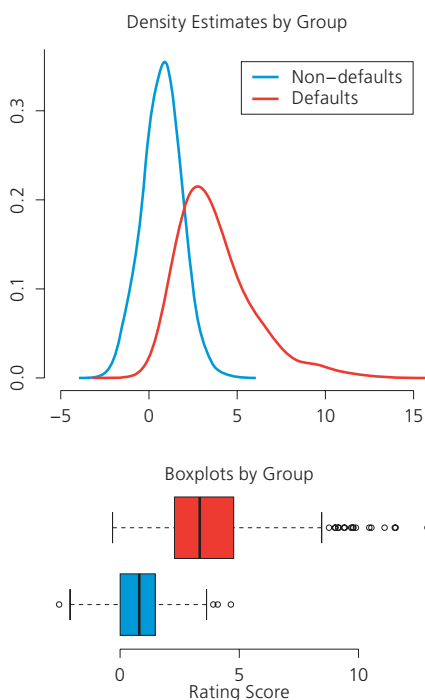
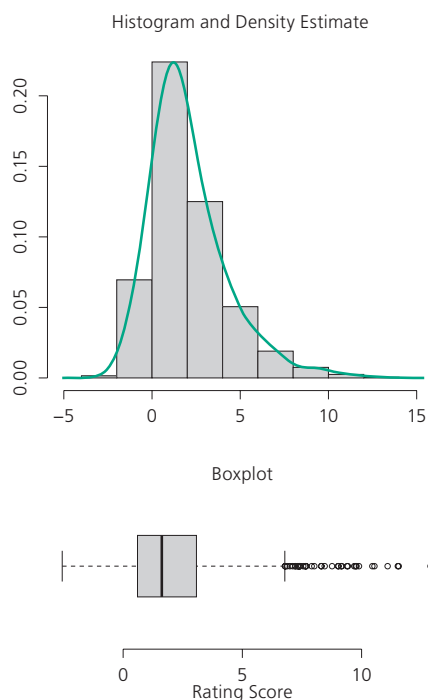
Ebenfalls neu ist die Implementation und Anwendung von statistischen Testverfahren zur Überprüfung, ob die in früheren Untersuchungen kalibrierten Ratinggewichte auch für aktuellere Daten noch relevant sind. Ergänzend können hier durch Resampling-Verfahren Schwankungsbereiche für die Trennschärfe- und Kalibrierungskriterien berechnet werden.

## Ansprechpartnerin:

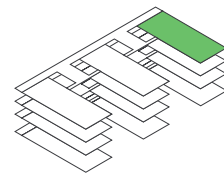
Priv.-Doz. Dr. Marlene Müller

☎ 06 31/3 1600-43 46

marlene.mueller@itwm.fraunhofer.de



Deskriptive Analyse von Kreditausfalldaten



Hauptgegenstand der Portfolio-Optimierung ist die Bestimmung einer optimalen Investmentstrategie an einem Finanzmarkt. Genauer: Der Investor muss entscheiden, wie viele Anteile von welchen Wertpapieren er wann halten soll, um seinen Nutzen aus dem Endvermögen im Investmenthorizont zu maximieren. Im Gegensatz zur Optionsbewertung, bei der seit Jahrzehnten zeitstetige Modelle der Finanzmathematik in der Praxis angewendet werden, bildet das über 40 Jahre alte Einperioden-Modell von Markowitz samt einiger Varianten nach wie vor die Grundlage der Investitionsentscheidungen von Fondsmanagern. Die Entwicklung der modernen, zeitstetigen Portfolio-Optimierung – dem Hauptforschungsgebiet der Spiegelgruppe Finanzmathematik am Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern – ist mittlerweile so weit fortgeschritten, dass sich viele Algorithmen zur praktischen Anwendung und Implementation anbieten, was mittlerweile auch am ITWM durchgeführt wurde. Ein zugehöriges Projekt ist die Entwicklung eines Online-Beratungstools, das Gegenstand des POKER-Projekts im Rahmen der ITWM-Aktivitäten in Catania ist. Zu einem Schwerpunkt inner-

halb der Portfolio-Optimierung hat sich mittlerweile die Entwicklung von Simulationstools zum Asset-Liability-Management entwickelt. Hier können wir auf dem schwedischen Markt mit Projekten mit dem AP2-Fond und mit KP (in Zusammenarbeit mit dem FCC) aktuelle Erfolge vermelden, die wir als Basis für weitere Entwicklungen im ALM-Bereich nutzen wollen. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf die heimische Versicherungsindustrie. Gleichzeitig soll das im Bereich Portfolio-Optimierung und ALM erarbeitete Know-how im Forschungsprojekt »Simulation ökonomischer Prozesse« des Landesexzellenzclusters »Dependable Adaptive Systems and Mathematical Modeling« verwendet werden, um einen Simulations- und Entscheidungsrahmen für komplexe ökonomische und politische Fragestellungen zu entwickeln.

**Ansprechpartner:**  
Prof. Dr. Ralf Korn  
☎ 06 31/3 16 00-46 58  
ralf.korn@itwm.fraunhofer.de

## ALMSim

Innerhalb des Schwerpunkts Portfolio-Optimierung wurden im letzten Jahr zwei Projekte im »Asset Liability Management« erfolgreich bearbeitet. Versicherungsunternehmen sind entweder durch firmeninterne Bestimmungen oder in Zukunft durch »Solvency II« gezwungen, eine Untersuchung ihrer Assets und Liabilities in regelmäßigen Abständen, z. B. jährlich, vorzunehmen. Traditionell wird diese Aufgabe an Unternehmensberaterfirmen delegiert. Die Produkte der Beraterfirmen konzentrieren sich aber hauptsächlich auf die Modellierung bzw. Simulation verschiedenster Finanzinstrumente in verschiedenen Märkten. Die vorhandenen Verpflichtungen aus Versicherungsverträgen werden nur in einem engen Korsett von Standardprodukten oder überhaupt nicht abgebildet. Das Resultat einer solchen Untersuchung lässt somit Abhängigkeiten zwischen der Assetentwicklung und der Entwicklung der Liabilities vollkommen außer Acht.

Innerhalb des Projekts mit AP2 (zweiter schwedischer Pensionsfond innerhalb des staatlichen Pensionssystems) wurde das flexibel einsetzbare Werkzeug »ALMSim« entwickelt, das nicht nur die Modellierung der Guthaben-, sondern auch der Verpflichtungsseite erlaubt. Wichtig war, dass der Kunde eigene Anpassungen an den Modellen vornehmen kann. Um dies zu erreichen, werden die Simulationsmodelle in einer Textdatei niedergeschrieben, die danach vom Simulationswerkzeug eingelesen und mit entsprechenden (Monte-Carlo-) Methoden bearbeitet wird. Die Ergebnisse stehen wiederum in einer Textdatei zur Verfügung, die von Excel, SAS, S-Plus, Matlab, o. ä. weiterverarbeitet werden kann.

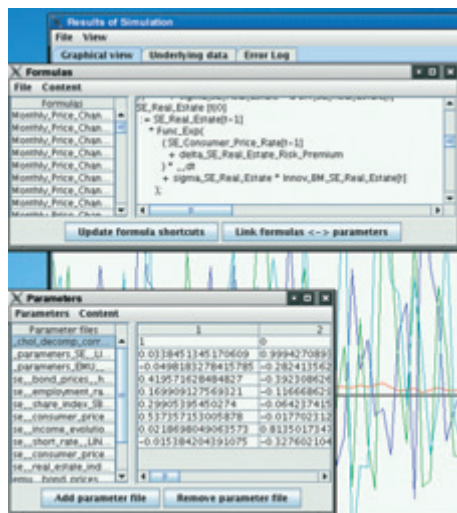
Diese offene Architektur erlaubt auch die Anpassung an die individuelle Verpflichtungssituation. Bei AP2 bedeu-

tete dies »Medel Svensson« (Normalbürger) während seines Arbeits- und Rentnerdaseins zu modellieren, d. h. beginnend im Alter von 16 werden die erworbenen Pensionsansprüche bis zum Rentenbeginn im Alter von 65 sowie danach die Auszahlungen simuliert. Verschiedene Größen wurden dabei an die Entwicklung der Asset-Seite gekoppelt (z. B. die Einkommensentwicklung an die Inflation), was eine Modellierung der Abhängigkeiten zwischen den Assets und Liabilities erlaubte.

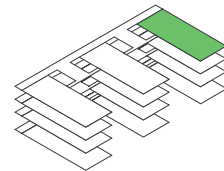
Neben den Zahlungsströmen wurden auch alle Größen modelliert, die zur Berechnung der sogenannten »Balancezahl« nötig sind. Diese Zahl gibt eine Einschätzung der Liquidität des staatlichen schwedischen Rentensystems an. Sobald diese Zahl unter eins fällt, wird ein sogenannter »Bremseffekt« ausgelöst, der zum einen die Pensionserhöhung dämpft, zum anderen die Verzinsung der bisher erworbenen Ansprüche von Erwerbstätigen mindert.

Ziel war es, für einen Zeithorizont von 10-15 Jahren eine optimale Handelsstrategie zu finden, die möglichst den »Bremseffekt« vermeidet bzw. seine Auswirkungen gering hält.

Analyse mit ALMSim







Dr. Gerald Kroisandt, Beatriz Clavero Rasero, Dr. habil. Jörg Wenzel, Evren Baydar, Priv.-Doz. Dr. Marlene Müller, Melanie Hollstein, Johan de Kock, Stefan Lorenz, Dr. Ulrich Nögel, Tin-Kwai Man, Kalina Natcheva, Sarp Kaya Acar, Prof. Dr. Ralf Korn

# Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit

Die Abteilung MATHEMATISCHE METHODEN IN DYNAMIK UND FESTIGKEIT beschäftigt sich mit der Modellbildung und Simulation im Umfeld der Festigkeit und Zuverlässigkeit mechanischer Systeme. Das Jahr 2005 war geprägt durch weitere Aufbauarbeit und Wachstum insbesondere durch erfolgreiche Industrieprojekte. So wuchs die Abteilung im Laufe des Jahres von sechs auf zehn Personen.

Arbeitsschwerpunkte sind weiterhin Modellierungs- und Berechnungsmethoden zur Simulation mechatronischer Systeme. Dabei werden Finite-Elemente-Methoden, Mehrkörpersimulation und Systemsimulation kombiniert. Das Ziel ist es, durch Simulation möglichst sicherzustellen, dass bereits der erste Prototyp des zu entwickelnden Systems im wesentlichen den Ansprüchen genügt. In dieser Phase sollen keine Überraschungen mehr auftreten, beispielsweise dass gewünschte Funktionen nicht erfüllt werden oder frühzeitiges Versagen im Betrieb auftritt. Ferner werden Methoden der Beanspruchungsstatistik zur Erstellung von Bemessungsgrundlagen entwickelt und angewandt. Wichtiges Forschungsthema ist ferner die Verbindung von Betriebsfestigkeitssimulation mit der vorausgehenden Simulation von Herstellungsprozessen wie Gießen oder Schweißen.

Praxisnahe angewandte Forschung und Methodenentwicklung erfordert ein stetes hohes Maß an Kommunikation mit der Welt der industriellen Anwendung. Darum bieten wir Seminare für Ingenieure in der Industrie an; dabei arbeiten wir die interdisziplinären Themenfelder, in denen wir in der Forschung aktiv sind, attraktiv im Anwendungskontext auf, vermitteln die relevanten Grundlagen und erläutern die aktuellen technischen Grenzen.

Das Konzept wird sehr gut angenommen. Das 2004 erstmals durchgeführte

dreitägige Seminar »Lastdaten – Analyse, Bemessung und Simulation« fand 2005 weitere zwei Mal statt (einmal als In-Haus Veranstaltung bei Daimler-Chrysler) und war ausgebucht. Gleiches gilt für die erstmals durchgeführte Veranstaltung »Statistische Methoden in der Betriebsfestigkeit«. Beide Veranstaltungen werden auch 2006 wieder angeboten.

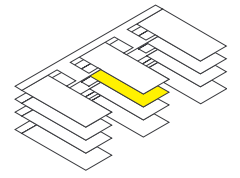
---

## Abteilungsleiter:

Dr. Klaus Dressler

☎ 06 31/3 16 00-44 66

klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de



Das am »Fraunhofer-Chalmers Centre« (FCC) entwickelte Softwarepaket IPS wird in der Automobilindustrie unter anderem zur automatischen Pfadplanung für die Bewegungen von Fertigungsrobotern eingesetzt. Um für die Pfadplanung die Kinematik der Roboter möglichst effizient zu berechnen und Kollisionen mit der Umgebung vorherzusagen, ist es zweckmäßig, die Roboter so weit als möglich durch Starrkörper-Geometrielemente zu modellieren.

Für die industrielle Fertigung eingesetzte Roboter besitzen häufig an der Außenseite flexible Röhren, in denen z. B. hydraulische oder pneumatische Schläuche oder Versorgungsleitungen für Werkzeuge geführt werden. Diese »Kabel« werden abhängig von der Bewegung des Roboters deformiert, nehmen im Verlauf der Bewegung definierte Positionen im Raum ein und erfahren dabei je nach Art der Deformation unterschiedlich starke mechanische Belastungen.

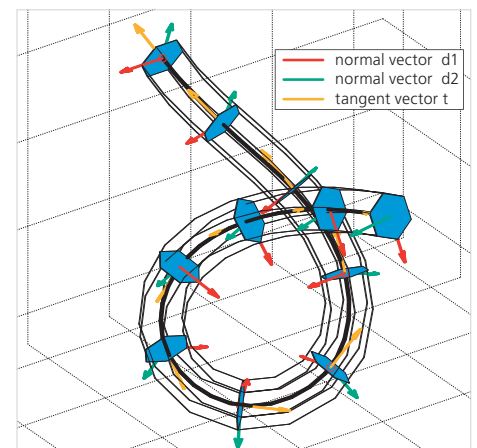
In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der »Quality Engineering Group« am FCC wurde ein Kabelmodell entwickelt, das eine Berechnung

der Kabeldeformation in Abhängigkeit der durch die Bewegungen des Roboters vorgegebenen Randbedingungen in Echtzeit ermöglicht und in die IPS-Software integriert. Die Bewegungsplanung für Fertigungsroboter kann damit nicht nur für Starrkörpergeometrien, sondern auch für flexible Objekte interaktiv am PC durchgeführt werden.

Bei VR-Simulationen (VR=Virtual Reality) werden für die Visualisierung der Bewegung flexibler Objekte überwiegend sogenannte Masse-Feder-Modelle eingesetzt. Solche diskreten Modelle beschreiben das darzustellende Objekt als eine Ansammlung von Punktmassen, die durch »imaginäre« Spiralfedern miteinander verbunden sind. Der Vorzug dieser Modelle besteht vor allem in der schnellen Berechenbarkeit der Objektdeformationen, die aus der äußerst simplen Modellstruktur resultiert. Die Modellparameter (Massen und Federkonstanten) werden hierbei so eingestellt, dass die visualisierte Objektdeformation möglichst realitätsnah erscheint. Für eine genaue Berechnung sowohl der Deformation eines Objektes im Raum als auch der dabei auftretenden Spannungen (bzw. Kräfte und Momente) sind solche einfachen Modellansätze jedoch ungeeignet.

Das am ITWM entwickelte Kabelmodell basiert hingegen auf den Gleichungen der Kontinuumsmechanik. Alle Parameter des daraus abgeleiteten diskreten Modells resultieren vollständig aus den für das Kontinuumsmodell angenommenen Materialeigenschaften und den Diskretisierungsparametern. Das Modell enthält damit – im Unterschied zu den o. g. Masse-Feder-Ansätzen – keinerlei »freie« Parameter und liefert mit einer von der gewählten Feinheit der Diskretisierung abhängigen Genauigkeit sowohl die Deformation des Kabels als auch die dabei im Kabel auftretenden Kräfte und Momente. Insbesondere bildet das Modell die komplexe Wechsel-

wirkung zwischen Torsion und Biegung richtig ab. Es enthält also einerseits die »richtige Mechanik« und ist andererseits zu einfacheren Ansätzen aus dem VR-Bereich hinsichtlich der Rechenzeit durchaus konkurrenzfähig. Einfache Masse-Feder-Modelle sind nur schnell, das ITWM-Kabelmodell dagegen ist »schnell und richtig«!



Simulation eines gebogenen und tordierten Kabels

**Ansprechpartner:**  
Dr.-Ing. Joachim Linn  
☎ 06 31/3 16 00-42 98  
joachim.linn@itwm.fraunhofer.de

# Finite-Element-Berechnungen und Mehrkörpersimulation

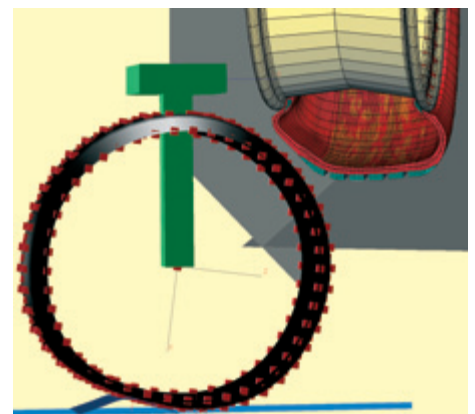


Wie lange ein Bauteil hält, hängt maßgeblich davon ab, welche Belastungen an ihm angreifen und welche Beanspruchungen im Inneren des Bauteils daraus resultieren. In vielen Fällen können die Belastungen an einem Bauteil jedoch nicht direkt gemessen werden. Entweder sind die Stellen unzugänglich, die Instrumentierung mit entsprechenden Sensoren wäre zu teuer oder es steht in frühen Entwicklungsphasen noch gar kein Prototyp zur Verfügung.

Mit Hilfe einer Mehrkörpersimulation können anhand eines Modells, das das mechanische System mit seinen Massen, Trägheiten und Steifigkeiten widerspiegelt, die Kräfte im Inneren des Systems berechnet werden. So werden beispielsweise gemessene Radkräfte oder ein gegebenes Fahrbahnprofil in ein Mehrkörpermodell eines Autos eingeleitet und daraus die Belastungen, die im Inneren auf die Achse wirken, berechnet. Die Verknüpfung mit Finite-Elemente-Methoden erlaubt es dann, potenziell versagenskritische Stellen zu identifizieren und die Konstruktion so zu optimieren, dass die Bauteile den Belastungen im Betrieb stand halten. Größen zu identifizieren bzw. Metho-

den zu deren Identifikation zu entwickeln, die man sinnvoll als Eingangsgrößen für Modelle verwenden kann, für die noch kein Prototyp existiert, stellt einen weiteren wichtigen Arbeitsschwerpunkt der Abteilung dar. Rückrechnungen in Verbindung mit Iterationsverfahren ermöglichen es zum Beispiel, aus Messdaten existierender Fahrzeuge Fahrbahnprofile zu berechnen, die als Input für Simulationen mit zukünftigen Fahrzeugen verwendet werden können.

Bei der Simulation von Fahrzeugen auf Teststrecken steht der Reifen am Anfang der Beanspruchungskette. Das Thema Reifenmodellierung im Rahmen der Gesamtfahrzeugsimulation ist daher sehr wichtig und gerade für hochdynamische Beanspruchungssituationen wie Schlechtweg, Schlaglochdurchfahrt oder Missbrauchereignisse noch nicht befriedigend gelöst. Wir beschäftigen uns hier mit Reifenmodellen sowohl auf der Basis Finiter Elemente als auch auf der Basis von Mehrkörpermodellen.



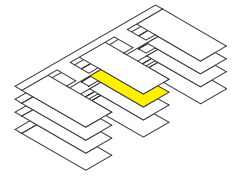
Reifen in der Mehrkörpersimulation (links unten) und als FE-Modell

## Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Gerd Bitsch

☎ 06 31/3 16 00-44 78

gerd.bitsch@itwm.fraunhofer.de



## Modell eines Feldhäckslers zur Lastermittlung mit Mehrkörpersimulation

Die Schwerpunkte bei der Modellierung landwirtschaftlicher Maschinen unterscheiden sich in wesentlichen Punkten von der Modellierung im Pkw- und Lkw-Umfeld. Bei Mähdreschern und Feldhäckslern übernimmt der Reifen beispielsweise die Aufgabe der kompletten Federung des Fahrzeugs. Ein vergleichbares Feder-/Dämpfersystem wie bei einer Pkw-Achse gibt es nicht.

Erschwerend kommt dazu, dass die gebräuchlichen Reifenmodelle aus dem Pkw- und Lkw-Umfeld für Landmaschinen keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern, da die im Verhältnis übergroßen Stollen einen wesentlichen Einfluss auf das Reifenverhalten haben, was in den auf dem Markt der Reifenmodelle verfügbaren Lösungen in dieser Form derzeit nicht berücksichtigt wird.

Dass aufgrund des üblichen Einsatzspektrums von Landmaschinen die Nachgiebigkeit des Untergrundes bei der Beschreibung der Reifen-Boden-Interaktion miteinbezogen werden muss, trägt ein übriges zur Komplexität bei der Ganzfahrzeugsimulation von Landmaschinen bei.

In einem vom Land Rheinland-Pfalz geförderten Forschungsprojekt mit dem Titel »Simulation von Betriebslasten zur Auslegung mechanischer Systeme« werden u.a. die oben erwähnten Aspekte näher untersucht und Lösungen erarbeitet.

Hierzu führt die Firma John Deere – einer der weltweit führenden Hersteller von Landmaschinen – umfangreiche Messungen auf Teststrecken und im Gelände durch. Als Versuchsfahrzeuge dienen sogenannte Feldhäckslers, wie sie im Werk Zweibrücken entwi-

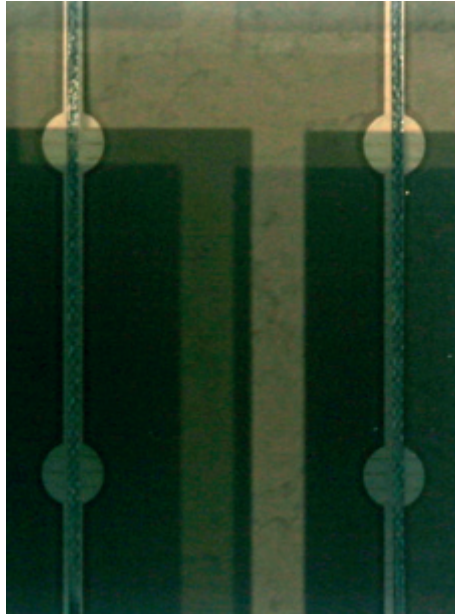
ckelt und produziert werden. Am Versuchsfahrzeug werden dazu Beschleunigungen, Wege, Kräfte, Dehnungen und die Lage des Fahrzeugs während der Testfahrten kontinuierlich erfasst.

Die am realen Fahrzeug im Versuch ermittelten Daten werden dann verwendet, um das am ITWM entwickelte Reifen- und Bodenmodell sowie das Gesamtmodell des Feldhäckslers zu optimieren. An einem derart verifizierten Modell können nun relativ einfache konstruktive Änderungen vorgenommen und deren Auswirkungen analysiert und bewertet werden.

Feldhäckslers von John Deere und sein Modell



Foto: John Deere



Das »virtuelle Prototyping« durch Computersimulation ist für Firmen oft der beste Weg, um ihre Neuentwicklungen anforderungsgerecht zu konzipieren und auszulegen und dabei Zeit und Kosten zu sparen. Mit der Einrichtung des neuen Forschungs labs »Simulation mechatronischer Systeme« im Herbst 2005 wird die »Mathematische Forschungsplattform für regionale KMU« des ITWM thematisch um einen Bereich erweitert, der für viele in der Region angesiedelte Unternehmen von erheblicher Bedeutung ist.

Maschinen bzw. Anlagen sind meist komplexe mechanische Systeme, die eine Vielzahl elektronischer und mechatronischer Bauelemente enthalten und deren Betriebsverhalten durch eine komplexe Regelungselektronik gesteuert wird. Ein servo-hydraulischer Prüfstand (siehe Abb. S. 93) ist hierfür ein gutes Beispiel. Die Simulation eines solchen mechatronischen Systems erfordert methodisch eine kombinierte Anwendung verschiedener CAE-Technologien wie z. B. der Mehrkörpersimulation (MKS), Festigkeitsberechnungen mittels Finite-Element-Methoden (FEM) sowie die Modellierung elektronischer und

mechatronischer Komponenten in Verbindung mit Regelungsalgorithmen in geeigneten Softwaretools, die eine Simulation des Gesamtsystems ermöglichen. Der kombinierte Einsatz solcher Methoden zur Systemsimulation findet derzeit nahezu ausschließlich in der Großindustrie (vor allem in der Automobilindustrie) statt und stellt dort die Spitze der Anwendung von CAE-Technologien im Entwicklungsprozess dar.

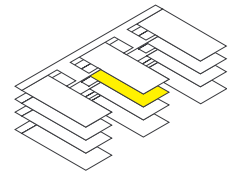
Die Grundidee des neuen Forschungs labs ist es, solche »High End«-Simulationstechnologien verstärkt für regionale KMU (insbesondere auch für solche außerhalb der Automobilbranche) durch eine enge Zusammenarbeit zwischen ITWM und KMU-Mitarbeitern nutzbar zu machen.

## Ansprechpartner:

Dr. Michael Speckert

☎ 06 31/3 16 00-45 65

michael.speckert@itwm.fraunhofer.de



## Mehrkörpersimulation eines Transporter-Ganzfahrzeugprüfstandes

Um etwaige Schwachstellen bereits im Fahrzeug-Entwicklungsprozess zu identifizieren bzw. um den Nachweis zu erbringen, dass das Fahrzeug zuverlässig ausgelegt ist, wird es typischerweise auf Teststrecken gefahren oder unter betriebsähnlichen Belastungen im Labor auf Prüfständen getestet. Letztendlich ist das Freigabekriterium für einen Entwicklungsstand aber in der Regel das Bestehen der Teststrecke. Prüfstände haben jedoch im Vergleich zu Testfahrten einige Vorteile:

- Wetterunabhängigkeit
- hohe Reproduzierbarkeit der Versuche
- halbautomatischer Betrieb möglich (24 Stunden am Tag)
- Flexibilität bezüglich der gewünschten Belastungen u. a.

Um nun die Vorteile der Prüfstandstests mit dem Auslegungskriterium Teststrecke verbinden zu können, wird

eine möglichst hohe Übereinstimmung und Übertragbarkeit der Ergebnisse beider Testarten angestrebt. Diesbezüglich ein tieferes Verständnis für die komplexen Vorgänge zu entwickeln, ist u. a. ein Grund für die Modellierung eines im Bereich Nutzfahrzeuge bei DaimlerChrysler existierenden Transporter-Ganzfahrzeugprüfstandes.

Dieser Prüfstand besteht im Prinzip aus vier durch ein System von Kolben und Zylindern in alle Richtungen beweglichen Schalen, in die der zu testende Transporter mit seinen vier Rädern gestellt wird. Durch entsprechend über die Schalen aufgebrauchte Verschiebungen auf die Räder des Transporters wird ein Überfahren der Teststrecke im Labor reproduziert.

Das am ITWM erstellte Modell des Prüfstandsgesamtsystems umfasst in diesem Fall:

- Prüfstand mit allen Massen und Gelenken (Kolben, Zylinder, Schalen, Verbindungen)
- Hydraulik-Modell (mit Servoventilen, Ölfluss, Kompressibilität des Öls)

- Regelung (modifizierter PID-Regler)
- Transporter-Gesamtfahrzeugmodell inklusive Reifen

Die Untersuchungen an diesem Gesamtmodell erlauben u. a.:

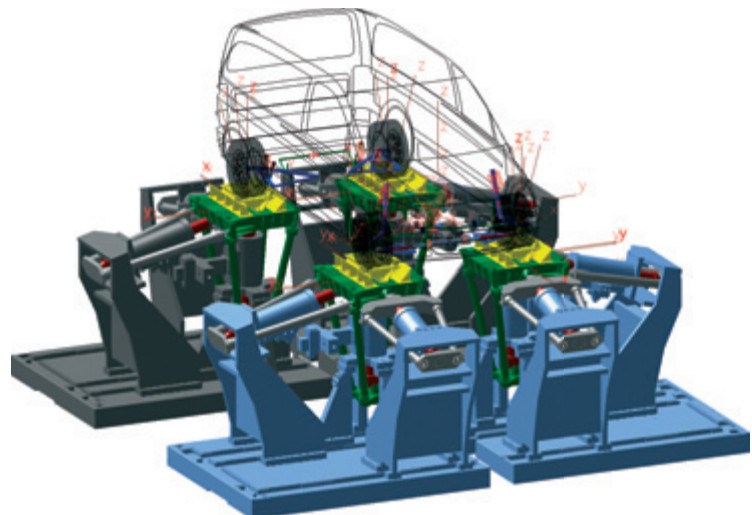
- Aussagen über die Varianz unterschiedlicher Versuchsläufe mit geringfügig unterschiedlichen Ausgangssituationen (z. B. durch Springen und Anschlagen der Reifen in den Schalen)
- Vergleich der auftretenden Belastungen im Fahrzeug im Vergleich zu den Testfahrten
- Optimierung der Prüfstandseinstellungen
- Untersuchungen zu den Auswirkungen von mehr oder weniger umfangreichen Konzeptänderungen am Prüfstand
- Voriteration der Prüfstandssteuer-signale

Transporter-Gesamtfahrzeugprüfstand bei DaimlerChrysler ...



Foto: DaimlerChrysler

... und im Modell





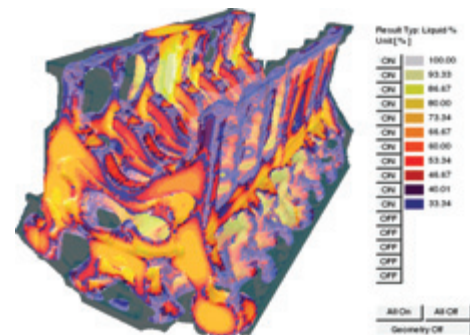
Am ITWM wird bereits seit 1996 mit MAGMASOFT »virtuell gegossen«. Ein Schwerpunkt in diesem Bereich ist traditionell die Beratung von Gießereien beim Einsatz der Simulationssoftware in der betrieblichen Praxis.

Die Firma HEGERGUSS ist ein erfahrener Anwender von MAGMASOFT und setzt die Software seit etwa zehn Jahren erfolgreich ein. Das ITWM hat die Einführung von CAE-Technologien bei HEGERGUSS kontinuierlich begleitet und unterstützt die Gießerei bei anspruchsvollen Simulationsaufgaben. Neben der Nutzung der leistungsfähigen Rechnerhardware des ITWM (HPC-Cluster) war für HEGERGUSS im vergangenen Jahr vor allem die Berechnung von Eigenspannungen im erstarrenden Gussteil von Interesse. Durch die interdisziplinären Kompetenzen in den Bereichen Thermomechanik und Strömungsdynamik konnte das ITWM hierbei wertvolle Unterstützung leisten.

Auch die Firma Gienanth besitzt langjährige Erfahrung in der Anwendung von MAGMASOFT. Die im Bereich Handformguss interessanten Fragestellungen im Zusammenhang mit einer optimierten Formfüllung für den Abguss großer Motorblöcke erfordern die Durchführung von Simulationsrechnungen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Für Gienanth ist es hierbei von Vorteil, solche Rechnungen sehr effizient auf dem PC-Cluster durchführen und die bezüglich der Datenmenge äußerst umfangreichen Simulationsergebnisse anschließend durch Nutzung der Visualisierungssoftware PV-4D magmaVR interaktiv auswerten zu können.

Beide Gießereien arbeiten aktiv im öffentlich geförderten Forschungsprojekt MIDPAG (siehe S. 38) mit, in dem es um die Integration von Bauteildimensionierung und Prozessauslegung für Gussbauteile geht. Die Verbindung von

Fertigungs- und Funktionssimulation durch Einbeziehung der Gießsimulationsergebnisse (Gefüge, Porositäten und Eigenspannungen) in nachfolgende Festigkeitsberechnungen zur Dimensionierung und Strukturoptimierung der Gussteile ist auch hierbei ein für die Gießereien wesentlicher Aspekt.

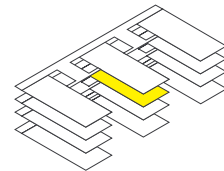


Gießsimulation eines Kurbelgehäuses: Momentaufnahme des Erstarrungsprozesses (mittlerer Erstarrungsgrad ca. 50 %), simuliert mit MAGMASOFT®, visualisiert mit PV-4D magmaVR

## Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Joachim Linn  
☎ 06 31/3 16 00-42 98  
joachim.linn@itwm.fraunhofer.de





Dr. Albert Marquardt, Ilker Nikelay, Sascha Feth, Dr. Klaus Dreßler, Thomas Stephan, Dr.-Ing. Gerd Bitsch, Dr. Michael Speckert, Dr.-Ing. Joachim Linn, Holger Lang, Thorsten Weyh, Sabrina Herkt

# Competence Center High Performance Computing

Paralleles Rechnen war bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich im Bereich der öffentlichen Forschung, der Meteorologie und weniger Großunternehmen angesiedelt. Aufgrund der wachsenden Bedeutung der Simulation und der Verfügbarkeit entsprechender Software in der Industrie ist heute der Einsatz von parallelen Systemen auch im kommerziellen Umfeld möglich. Einen wesentlichen Beitrag dazu hat die wachsende Leistungsfähigkeit von PCs und deren Verbindung in PC-Clustern geleistet.

Das Fraunhofer ITWM zählt zu den Pionieren beim Einsatz von PC-Clustern für industrielle Simulationsaufgaben. Erste Systeme mit am ITWM entwickelten Applikationen wurden bereits 1995 an Kunden ausgeliefert. Heute betreibt das ITWM zur Entwicklung paralleler Software und zur Durchführung industrie-relevanter Berechnungsaufgaben ein gekoppeltes System aus drei PC-Clustern mit zusammen 240 Prozessoren.

Die strategische Kooperation mit Linux Networx (Linux Networx Research Lab am Fraunhofer ITWM), einem führenden Anbieter von Clusterlösungen, bringt das Applikations- und Parallel-computing-Know-how des ITWM mit dem Cluster-Know-how von Linux Networx zusammen. Für die Industrie ist damit ein kompetenter Ansprechpartner entstanden.

Technologische Probleme haben den kontinuierlichen Performancegewinn durch Taktraterhöhung gestoppt. Dual Core, Quad Core und mehr sind heute die Schlagworte für weiteren Performancegewinn. Damit ist die Software-Parallelisierung zu einer Schlüsseltechnologie geworden. Der von IBM, Toshiba und Sony produzierte Cell Prozessor, der in der neuen Playstation arbeiten wird, ist ein Prototyp dieser neuen Generation von CPUs. In einer Kooperation mit dem IBM Forschungslabor in Böblingen werden am CC HPC Appli-

kationen entwickelt und die Cell-Plattform auf ihre Eignung als HPC-System analysiert.

Die Schwerpunkte des COMPETENCE CENTER HIGH PERFORMANCE COMPUTING liegen in den Bereichen

- parallele Algorithmen
- Entwicklung von Parallelisierungsframeworks
- Performance-Analyse, Benchmarking, Code-Optimierung
- HPC-Architekturen, Grid Computing
- Visualisierung großer Datenmengen
- Molekulardynamik

Mit großem Erfolg konnte die Visualisierungssoftware PV-4D, die als erste weltweit einen interaktiven Umgang mit sehr großen Datenmengen ohne Spezialhardware realisiert, auf internationalen Messen präsentiert werden. Für ihre Entwicklung wurde Dr. Carsten Lojewski mit dem Fraunhofer-Forschungspreis ausgezeichnet.

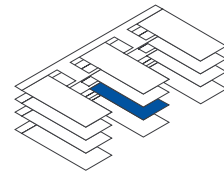
Mit der Entwicklung von neuen hochparallelen Berechnungscodes in den Bereichen Molekulardynamik, Strukturmechanik sowie Finanzmathematik hat das CC HPC drei auch für die Zukunft wichtige Themen angepackt.

## Bereichsleiter:

Dr. Franz-Josef Pfreundt

☎ 06 31/3 16 00-44 59

[pfreundt@itwm.fraunhofer.de](mailto:pfreundt@itwm.fraunhofer.de)



## Vom Web zum Grid Computing – Fraunhofer Resource Grid

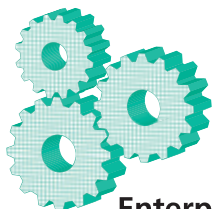
Noch liefert das Internet vor allem Informationen. In Zukunft soll es auch Computerpower bereitstellen. So wie man heute ein Notebook mit dem Stromnetz verbindet, wird man sich in Zukunft mit den Grids dieser Welt verbinden und die Power großer Rechner und leistungsfähiger Software nutzen können. Die zunehmende Vernetzung von Geräten macht es möglich, z. B. freie Rechner in Indonesien zu nutzen, während es dort Nacht ist.

Die Fraunhofer Grid Allianz (FhGA), bestehend aus dem ITWM und sieben weiteren Fraunhofer-Instituten, baut eine Fraunhofer-eigene Grid-Infrastruktur auf. Das Fraunhofer Resource Grid (FhRG) ist auf Anwender aus der Industrie ausgerichtet und legt Wert auf einfache Bedienbarkeit. Über ein vom Fraunhofer IAO entwickeltes Webportal wird der Grid-Nutzer zu den Anwendungen geführt und bei ihrer Ausführung unterstützt. Das auf Petri-Netzen basierende Workflow-System, entwickelt am Fraunhofer FIRST, erlaubt die Modellierung sehr komplexer Simulationsabläufe.

Das ITWM beteiligt sich an nationalen und internationalen Gridprojekten: Das EU-Projekt EGEE hat zum Ziel, Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen eine Infrastruktur für extrem rechenaufwändige Projekte zur Verfügung zu stellen. Im deutschen D-Grid beteiligt sich das ITWM am Integrationsprojekt.

In einer gemeinsamen Initiative mit den Fraunhofer-Partnern am IAO, FIRST und SCAI will das ITWM Grid-Technologie in die Unternehmen bringen. Um dies zu unterstützen, wird die Fraunhofer-Gesellschaft die strategische Allianz »Enterprise Grid« über drei Jahre finanziell unterstützen. Im Rahmen des Enterprise Grid Projekts (EPG) werden die Institute Beratungsdienstleistungen für Unternehmen anbieten. Dabei werden sowohl Inhouse-Lösungen implementiert als auch Rechendienstleistungen im Fraunhofer Resource Grid angeboten.

Die Erfahrung aus diesen Projekten und dem Fraunhofer Resource Grid bringt das ITWM sowohl in die Forschung als auch in die Standardisierung ein, z. B. im Rahmen des Global Grid Forums. Schwerpunkte dieser Arbeit sind die Bereiche Scheduling und Operating.



**Enterprise Grids**  
Kooperationsprojekt WISA

Das Fraunhofer ITWM steuert Calana bei, einen auktionenbasierten Scheduler für Gridumgebungen. Dieser ist in der Lage, jeweils den schnellsten bzw. den billigsten Rechner für die Ausführung auszuwählen. Dabei werden sowohl die Präferenzen der Benutzer als auch die Interessen der Rechnerbetreiber mit einbezogen. In einem weiteren Arbeitsschwerpunkt entwickelt das ITWM Jawari, eine Softwareplattform für Benchmarks im Grid-Umfeld. Mit Phast Grid wurde im CC HPC eine neue serviceorientierte, leichtgewichtige Grid Middleware entwickelt, die sich in der Praxis insbesondere bei hohen Durchsatzanforderungen bewährt hat.

**Ansprechpartner:**  
Dr. Franz-Josef Pfreundt  
☎ 06 31/3 16 00-44 59  
pffreundt@itwm.fraunhofer.de

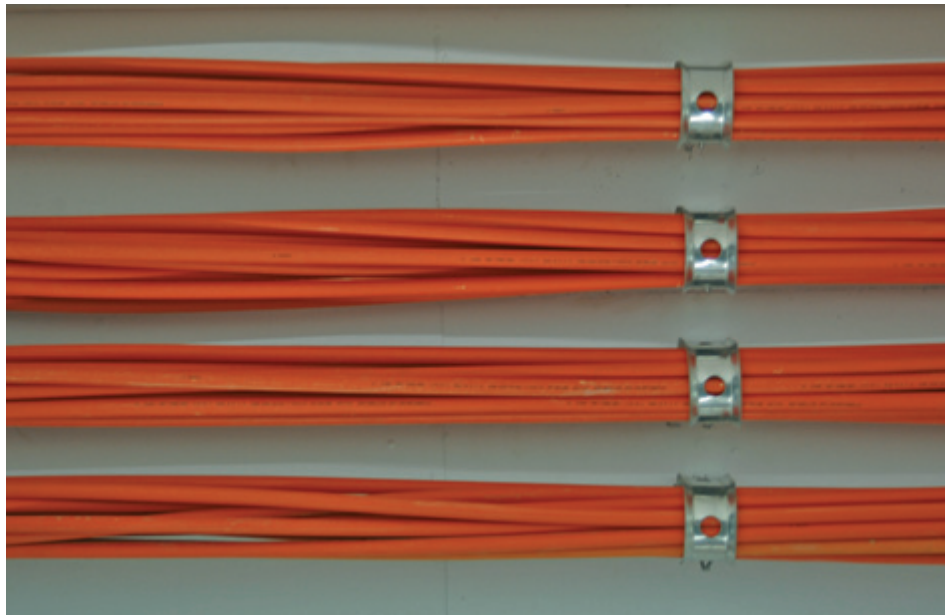
# Parallelisierung und Performance-Analyse

Durch Bündelung einer Vielzahl von Rechnern zu Clustern und Grids entstehen heute Hochleistungsparallelrechner, mit denen sich immer komplexere Probleme mit immer höheren Speicheranforderungen berechnen lassen. Aufgrund der wachsenden Komplexität der Prozessoren und Speicherhierarchien wird die optimale Nutzung der Leistung dieser Systeme jedoch immer aufwändiger. Dazu ist es erforderlich, für jedes Problem individuell neben der Verteilung der Rechenaufgaben auf die einzelnen Prozessoren auch der Kommunikation zwischen den Rechnerknoten sowie den Zugriffen auf die verschiedenen Speicher des Systems Beachtung zu schenken.

Der Schwerpunkt »Parallelisierung und Performance-Analyse« beschäftigt sich mit der effizienten Parallelisierung und Code-Optimierung eigener Software sowie der Software unserer Kunden. In mehreren Projekten wurden vorhandene MPI-Codes deutlich beschleunigt, Anwendungen parallelisiert und auch nichtparallele Codes wurden durch Optimierungen erheblich schneller. Zu unseren Kunden zählen neben verschiedenen Wetterdiensten auch Unternehmen aus dem Finanzsektor.

Die Entwicklung und Durchführung von Benchmarks zur Bestimmung der Performance von Hard- und Software ist eine weitere Kompetenz des Schwerpunkts. Erst die genaue Kenntnis der Eigenschaften aller Komponenten eines Rechners und der sich daraus ergebenden Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems machen es möglich, optimal auf diesen Rechner zugeschnittene Software zu entwickeln und so die zur Verfügung stehende Leistung voll auszunutzen. In einem vom BMBF geförderten Projekt wird zusammen mit Partnern eine umfassende Benchmark-Umgebung für Parallelrechner entwickelt.

Das ITWM kann in seinen Bemühungen zur Software-Parallelisierung und Per-



formance-Analyse auch auf umfassende Kompetenz und Erfahrung im Betrieb institutseigener PC-Cluster zurückgreifen. Verschiedene Rechnersysteme, High Speed-Kommunikationsnetze und Storage-Lösungen können zu kundenspezifischen Testsystemen zusammengeschlossen und erprobt werden. Mit dem Parallel Filesystem Lab steht besonderes Equipment zur Erprobung leistungsfähiger Dateisysteme zur Verfügung.

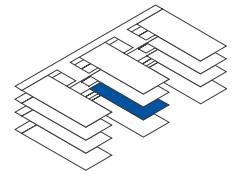
---

## Ansprechpartner:

Dr. Dirk Merten

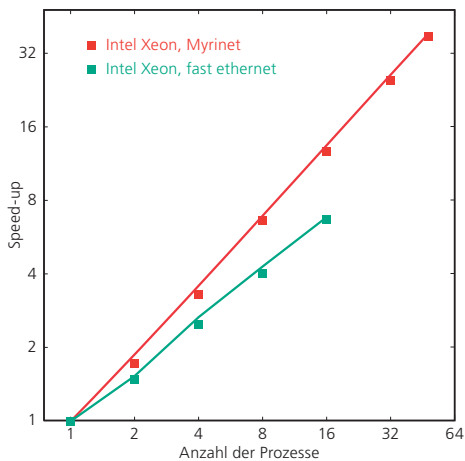
☎ 06 31/3 16 00-46 16

dirk.merten@itwm.fraunhofer.de



## Performance-Analyse und Vorhersage

Mit der steigenden Komplexität moderner Prozessoren und Architekturen wird es immer schwieriger, Performance und Laufzeitverhalten aufwändiger Applikationen zu verstehen oder gar vorherzusagen. Hier erweisen sich Modelle als ein wertvolles Instrument. Diese ermöglichen es insbesondere, Effizienz und Skalierungsverhalten auf nicht zugänglichen oder noch nicht existierenden Systemen realistisch abzuschätzen und vorherzusagen. Informationen dieser Art unterstützen z. B. den Anwender kommerzieller Software-Pakete bei der Entscheidung über System-Erweiterungen und Neuanschaffungen. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes IPACS (Integrated Performance Analysis of Computer Systems) entwickeln wir solche Modelle zur Performance-Vorhersage. Diese basieren auf einer abstrakten Charakterisierung der Hardware mit Hilfe von Low level-Benchmarks sowie der Software durch eine genaue Laufzeitanalyse bezüglich Cache-, Speicher- und Netzwerkzugriffen. Für diverse kommerzielle Software-Pakete (FLUENT, STAR-CD, PowerFlow) und in verschiedenen Projekten konnten entsprechende Modelle erfolgreich entwickelt und eingesetzt werden.



Gemessener (Quadrate) und vorhergesagter (Linien) Speed-up für PowerFlow

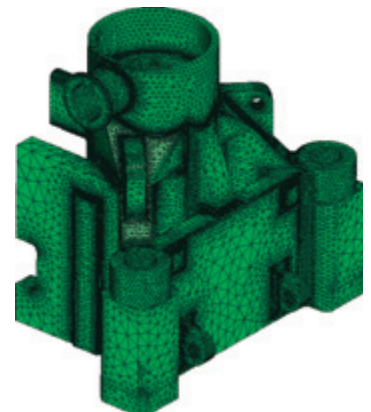
## Parallelisierungs-Framework ParMC

Zusammen mit einem Kunden aus dem Finanzsektor haben wir ein Parallelisierungs-Framework in Form eines Manager-Worker-Systems entwickelt, das auf einem PC-Cluster gleichzeitig viele Monte-Carlo-Berechnungen für Portfolio-Bewertungen durchführt. Die Verwendung von Performance-Vorhersage-Methoden stellt dabei sicher, dass die Leistung des Systems optimal genutzt wird und gleichzeitig die Antwortzeiten der einzelnen Berechnungen kurz bleiben. Wichtig ist auch eine Hochverfügbarkeit, die Fehler oder ganze Ausfälle einzelner Cluster-Knoten toleriert und zusammen mit redundant ausgelegten Hardware-Komponenten zu einer möglichst hohen Fehlertoleranz des Systems führt. Aufbauend auf dem mittlerweile sehr stabil im Produktionsbetrieb laufenden System arbeiten wir zusammen mit unserem Kunden daran, ParMC auch für die Lösung anderer rechenintensiver Aufgaben zu erweitern und daraus ein universell einsetzbares Parallelisierungs-Framework zu entwickeln.



## Formoptimierung mit DDFEM

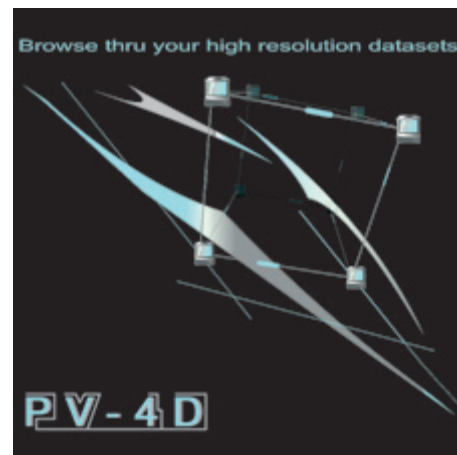
DDFEM ist ein paralleler Finite-Elemente-Code zur Berechnung dreidimensionaler linearer Elastizitätsprobleme, der es ermöglicht, Spannung und Deformationen eines elastischen Körpers unter dem Einfluss externer Kräfte zu bestimmen. Das der Parallelisierung zugrundeliegende Konzept ist die Gebietszerlegung: Der dreidimensionale Körper wird in Teilgebiete zerlegt, die unabhängig voneinander berechnet werden. Die entstandenen sehr großen linearen Gleichungssysteme werden unter Verwendung der PETSc-Bibliothek parallel gelöst. Zur Beschreibung der tetrahedralen Netze und der Randbedingungen für ein vorgegebenes Problem benutzt DDFEM eine eigens dafür entwickelte Eingabesprache. DDFEM erreicht aufgrund seines objektorientierten Designs sowie einer sehr effektiven Parallelisierung eine sehr hohe Performance. Im ITWM wird DDFEM sowohl als eigenständiger Löser für die Untersuchung der elastischen Eigenschaften von Faserstrukturen eingesetzt als auch in Kombination mit anderen Programmen innerhalb einer Formoptimierungsschleife bei der Strukturanalyse.



Viele Anwendungen aus den Bereichen der Simulationstechnik, der Medizin, der Strömungsdynamik (CFD), der Werkstoffwissenschaften oder der Seismologie produzieren Volumendaten, die heute aufgrund ihrer Größe von keinem Visualisierungssystem interaktiv dargestellt werden können. Diese Beschränkung wurde am ITWM zum Anlass genommen, ein eigenes Visualisierungssystem zu entwickeln. PV-4D ([www.pv-4d.com](http://www.pv-4d.com)) ist heute die leistungsstärkste Software im Bereich der volumetrischen Darstellung komplexer, multidimensionaler Daten. Die hohe Performance von PV-4D ermöglicht es dem Betrachter, sich durch vier Dimensionen (x, y, z, t) in stereo zu bewegen. Die Auflösung dieser reinen Softwarelösung in Ort und Zeit liegt dabei weit über der von anderen Hardware- und Softwaresystemen erreichten Performance.

Beim direkten Volumenrendering wird das 2D-Ergebnisbild aus den Volumendaten berechnet. Im Gegensatz zu einer reinen Oberflächendarstellung der 3D-Daten (Iso-valued-Darstellung) können mit diesem Verfahren erheblich mehr Informationen dargestellt werden. Die fehlende Approximation des »Iso-values« auf ein geometrisches Primitiv erhöht weiterhin die Genauigkeit dieser Methode.

Die mit den Fraunhofer Forschungspreis ausgezeichnete Software erzielt ihre Leistungsfähigkeit durch Algorithmen, die an die Architektur moderner CPUs optimal angepasst sind, und durch eine mehrstufige Parallelisierung. Ausgehend von den parallelen Units einer CPU über mehrere CPUs auf einem Board bis hin zu großen Distributed Memory-Systemen wird die volle Leistungsfähigkeit heutiger Clustersysteme für die Visualisierung ausgereizt. Beyond the Graphics card – d. h. PV-4D setzt nicht auf die Leistungsfähigkeit moderner Grafikkarten, um seine Performance zu erreichen, sondern auf



effiziente Software. Grafikkarten sind a priori für den Spielmarkt entwickelt und deshalb nicht für die Visualisierung großer Datenmengen optimiert. Im Jahre 2005 gelang es dem ITWM, eine PV-4D-Implementierung auf dem neuen Cell Prozessor zu realisieren – der Prototyp einer neuen Generation von hybriden Multicore CPUs.

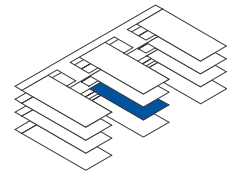
PV-4D ist ein komplexes paralleles Visualisierungstool, das Ethernet, Myrinet und Infiniband als Verbindungsnetz unterstützt. Dem Nutzer präsentiert es sich jedoch als Windows- bzw. Linux-Viewer, der einfach zu bedienen ist. PV-4D ist heute als generisches Visualisierungstool und in speziellen Anpassungen für MAGMASOFT-Nutzer, für die seismische Industrie und für die Visualisierung von CT-Daten der Medizin verfügbar.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Carsten Lojewski

☎ 06 31/3 16 00-42 36

[carsten.lojewski@itwm.fraunhofer.de](mailto:carsten.lojewski@itwm.fraunhofer.de)



## PV-4D MAGMAVR

Als erste Anwendung wurden das am ITWM entwickelte Softwarepaket Par-Pac sowie die parallele Version von MAGMASOFT, dem führenden Simulationspaket für Gießereien, durch PV-4D unterstützt. Dadurch ist es jetzt möglich geworden, die durch die parallele Simulation entstehenden großen Datenmengen zum ersten Mal wirklich interaktiv als bewegte Filme zu visualisieren. Die jetzt verfügbare Darstellung in dem VR-Lab des ITWM ermöglicht gänzlich neue Einsichten und überwältigende Bilder. Die Entstehung und Wirkung von Wirbeln in der Strömung wird hochaufgelöst räumlich erfahrbar. Der Erstarrungsprozess kann erstmals im Detail als zeitabhängiger Prozess genau analysiert werden.

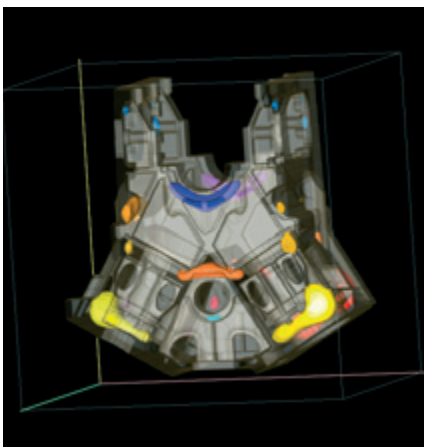
## PV-4D CTPRO

PV-4D CTPRO dient der interaktiven Aufbereitung, Analyse und 3D-Visualisierung von CT-Daten aus der Medizin und den Materialwissenschaften. Die immer größer werdenden Datenvolumina (bis 4000x4000x4000) sind mit klassischen Visualisierungstechniken nicht mehr handhabbar. Erst der Einsatz paralleler Algorithmen und Hardware erlaubt wieder ein interaktives Arbeiten. PV-4D CTPRO liefert dabei neue Einsichten durch neue Methoden. Die interaktive Stereo-Visualisierung eines hochaufgelösten schlagenden Herzens bei voller Beleuchtung des Objektes war dabei eine besondere Herausforderung. Bei der Detektion von Porositäten in Metalwerkstoffen sind vor allem die interaktiven Filter von PV-4D gefragt.

## PV-4D SEISMICPRO

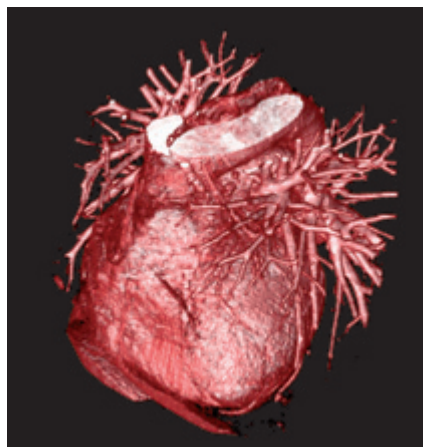
Die Visualisierung umfangreicher seismischer Daten ist in der Industrie noch ein sehr aufwändiger und teurer Prozess, der letztlich eine erhebliche Bedeutung für die Interpretation der Lagerstätten und damit dem Auffinden bzw. der besseren Nutzung von Öl und Gas hat. Die speziell angepasste PV-4D-Version unterstützt weit verbreitete Datenformate, visualisiert auch extrem große Depth Migration-Datensätze, Geschwindigkeitsfelder und bietet dem Nutzer auch Schnittstellen für eigene Anpassungen. Die Viewer-Server-Struktur bietet die Möglichkeit, das Werkzeug auch im weltweiten Verbund standortübergreifend ohne große Performanceverluste einzusetzen. Als PC-basiertes Tool ist PV-4D ungeschlagen in Preis und Performance.

## MAGMAVR



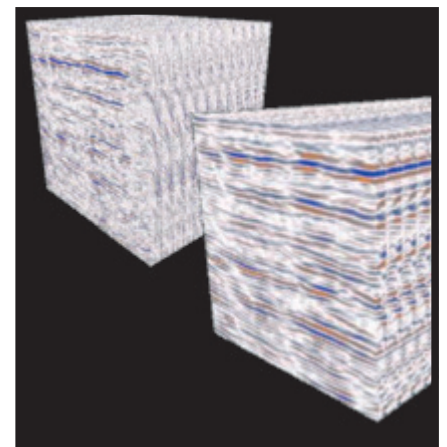
Detektion von »Hot spots« während der Erstarrung: 140 Mio. Zellen, 100 Zeitschritte

## CTPRO

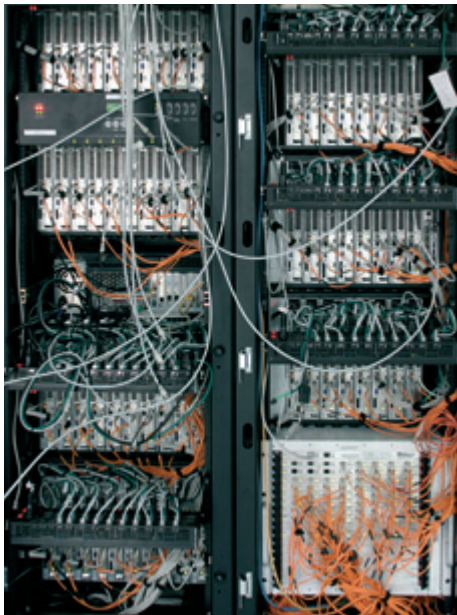


Das menschliche Herz

## SEISMICPRO



Dreidimensionale Visualisierung seismischer Prestack-Daten



Das virtuelle Experiment am Computer ist aus vielen Bereichen industrieller Forschung und Entwicklung nicht mehr wegzudenken. So sind mathematische Methoden für die Stabilitätsanalyse (Finite-Elemente-Methoden FEM) z. B. beim Karosseriebau schon lange im Einsatz. Etwas anders ist die Lage im Bereich des Materialdesigns. Was passiert bei Beschichtungsprozessen? Wann bilden sich Risse? Wann nicht? Durch welche Gemische erhält man optimales Schmierverhalten eines Öls? Bei dieser Art von Fragen spielen physikalische und chemische Prozesse auf atomarer Ebene eine entscheidende Rolle, die durch Kontinuumsmodelle nicht mehr erfasst werden können. Molekulare Simulationsmethoden, die das Material auf atomarer Ebene beschreiben, sind geeignet diese Lücke zu schließen. Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile hat dieses Potenzial erkannt und im Rahmen der MAVO MMM die Entwicklung eines Simulations-Baukastens zur Materialmodellierung initiiert, dessen Module über Schnittstellen miteinander kombiniert werden können. Am ITWM wurde in dieser MAVO in den letzten drei Jahren ein massiv paralleler Molekulardynamik-Code entwickelt.

Das Schema auf der nächsten Seite zeigt die Struktur dieses Codes. Über Plug-and-Play-Schnittstellen können beliebige kurzreichweitige und langreichweitige Kräfte an den Molekulardynamik-Kern gekoppelt werden, wobei die Parallelisierung vollständig im MD-Kern realisiert wird. Das erste vollständige Release dieses Software-Pakets wurde Ende 2004 fertiggestellt.

Im Jahr 2005 lagen die Schwerpunkte der Entwicklungsarbeiten am ITWM einerseits auf der Verbesserung der seriellen und parallelen Performanz des MD-Kerns, wobei hier eine Verbesserung um den Faktor zwei erzielt werden konnte. Andererseits wurden die Funktionalitäten des Molekulardynamik-

Codes so erweitert, dass wir nun in der Lage sind, viele technische Fragestellungen schnell zu simulieren. Somit können in einer Simulation äußere Kräfte und Spannungen auf eine Materialprobe aufgebracht werden, um Materialversagen bzw. Rissbildung und -ausbreitung zu studieren. Ferner können wir Transport-Koeffizienten wie Diffusionskonstanten, Viskositäten und thermische Leitfähigkeiten von Materialien mithilfe der Simulation ermitteln. Darüber hinaus haben wir unseren Simulationsbaukasten auf der Seite der Kraftmodule um ein klassisches Kraftmodul zur Simulation von Polymeren und um ein quantenmechanische Effekte berücksichtigendes Tight-Binding-Kraftmodul erweitert, wie es z. B. für die Simulation von Halbleitern erforderlich ist.

Eine wichtige Kenngröße zur Messung der parallelen Performanz ist der sogenannte Scale-up. Dieser ist definiert durch die benötigte CPU-Zeit auf einem Prozess dividiert durch die CPU-Zeit auf N Prozessoren mal der Anzahl der Prozessoren, wobei das Simulationsvolumen proportional mit der Anzahl der Prozessoren wächst. Die linke Abbildung auf der nächsten Seite zeigt diese Kenngröße für den Molekulardynamik-Kern auf der IBM Power3 am NERSC in Berkeley, USA. Dabei wurde eine hohe parallele Effizienz von 80–85 % gemessen.

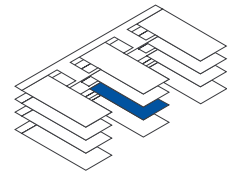
## Ansprechpartner:

Dr. Peter Klein

☎ 06 31/3 16 00-45 91

peter.klein@itwm.fraunhofer.de



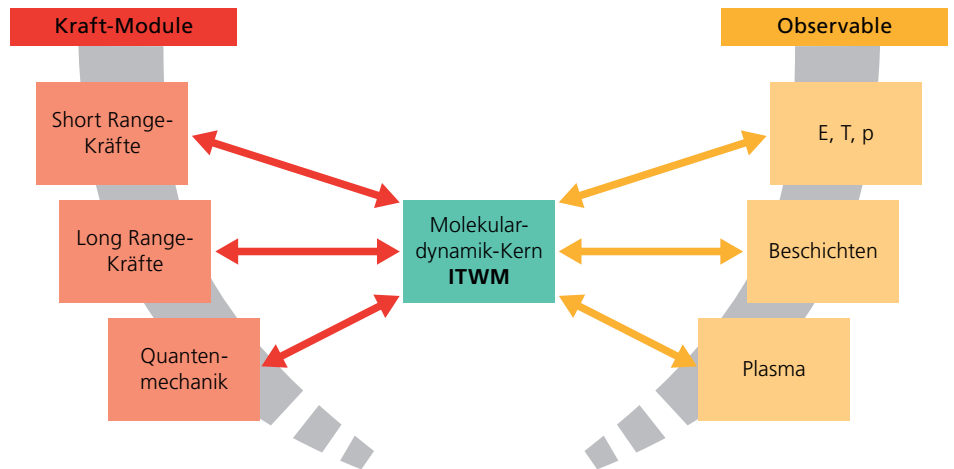


## Simulation von Kupferbeschichtungen auf Silizium

Neben der reinen Software-Entwicklung werden am ITWM auch direkt materialwissenschaftliche Fragestellungen mithilfe von molekulardynamischen Simulationen angegangen. In einem abgeschlossenen DFG-Projekt, zusammen mit dem Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb in Stuttgart, wurde die Beschichtung von Silizium-Oberflächen mit Kupfer simuliert.

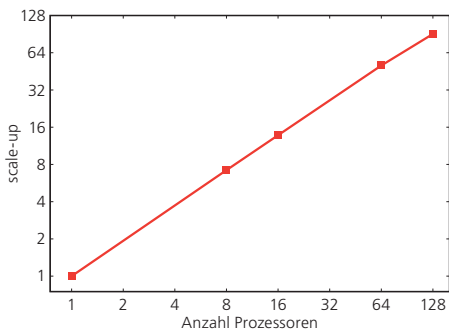
Der Fokus dieses Projektes und seiner Fortsetzung liegt auf der Erforschung der enorm wichtigen Eigenspannungen in dünnen Schichten, die sich während des Beschichtungsvorganges dynamisch aufbauen. Experimentell ist bekannt, dass Eigenspannungen eine Hauptursache für das Schichtversagen darstellen, wobei deren Korrelationen mit experimentellen Prozessparametern weitestgehend unklar sind. Eigenspannungen und deren Dynamik sind somit eine ingenieurwissenschaftliche Zielgröße, die wir simuliert haben. Konsistent mit Experimenten wird eine tensile Eigenspannung in der Schicht gefunden.

Parallel dazu wird in einer Promotion die Kopplung von atomistischer und Kontinuumsbeschreibung zur Reduzierung der Systemgröße untersucht. Da beide Modelle jeweils auf unterschiedlichen Skalen gültig sind, ist dafür zu-

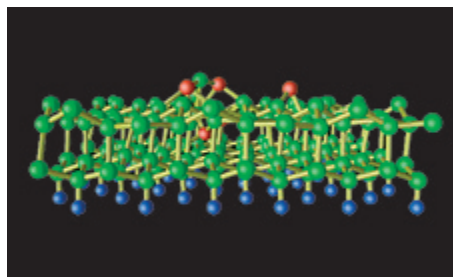


Struktur des MMM-Molekulardynamik-Baukastens

nächst eine zum System gewöhnlicher Differentialgleichungen der Molekulardynamik passende Beschreibung mit partiellen Differentialgleichungen erforderlich. Als Ansatz zur numerischen Diskretisierung der kontinuumsmechanischen Differentialgleichungen wurden Finite Elemente gewählt, auch um den Anschluss an Standard-Bauteilsimulationen zu gewährleisten. In der derzeitigen Formulierung in 2D (siehe Abbildung unten rechts), ist die Finite-Element-Beschreibung aus der atomistischen Beschreibung unter Energieerhaltung abgeleitet worden, was insbesondere auch die kontrollierte Ableitung der Kopplungsbedingungen zwischen Molekulardynamik und Finiten Elementen ermöglicht.



Skalierungsverhalten des parallelen MD-Kerns



Kupferatome (rot), deponiert auf einem Silizium-Wafer (Tight-Binding quantenmechanisches Potenzial)

## Serviceangebote des Competence Centers

- Entwicklung und Portierung von parallelen Anwendungen
- Performance-Analyse und -Tuning
- Benchmarking von Clustersystemen und Anwendungen
- Beratung bei der Einführung von Clustersystemen und beim Einstieg ins Grid Computing
- Visualisierung sehr großer Datenmengen
- HPC-Systemberatung
- Software-Design für parallele Anwendungen

## Technische Einrichtungen am Fraunhofer ITWM

- Produktionscluster: PC-Cluster mit 128 CPUs, Dual XEON, 256 GByte Hauptspeicher
- Benchmark- und Visualisierungssystem: 32 CPUs Dual Opteron, Infiniband, 128 GByte Hauptspeicher
- Dediziertes Fraunhofer-Grid-System: 32 CPUs Dual Opteron, Infiniband, 128 GByte Hauptspeicher
- Parallel Filesystem Lab
- VR-Labor
- PC-Cluster zur Erprobung neuer technischer Konzepte

## I/O-Performancesteigerung durch preiswerte Hardware und parallele Dateisysteme

Die Entwicklung der Festplattentechnologie zeigt keine deutliche Verbesserung der I/O-Performance, ganz im Gegensatz zur Chiptechnologie. Deshalb können aktuelle Festplattensysteme nicht den Datendurchsatz leisten, den die angebotenen Komponenten benötigen. Gleichzeitig verdoppelt sich der Bedarf an Festplattenspeicher alle 15 Monate; in der gleichen Geschwindigkeit steigt die Taktrate verfügbarer CPUs. Der geringe I/O-Durchsatz der Festplattenspeicher begrenzt damit die Leistung des Gesamtsystems, was die Produktivität von Clustersystemen mindert.

Innerhalb der Forschungsplattform »Distributed Computing« wird in Zusammenarbeit mit Linux Networx und der tecmath AG das verteilte Dateisystem »Lustre« (aus Linux und Cluster) am Beispiel eines Medienarchives evaluiert. Lustre ist ein performantes zukünftiges Speichersystem, wobei das besondere Interesse der verfügbaren I/O-Bandbreite gilt. Es wurde zunächst als Open Source entwickelt und wird heute von der Firma Cluster File Systems, Inc. kommerziell weiter betreut. Antrieb für die Entwicklung waren die Anforderungen an High-Performance-Computing-(HPC)-Speichersysteme der großen US-Forschungslabore:

- Kapazitäten von mehreren 100 TByte
- hohe Verfügbarkeit
- konstanter Durchsatz unter Last
- Skalierung bis zu mehreren tausend Clients

Benötigt werden diese Speichersysteme in Clustern, bei der Speicherung von Satellitenaufnahmen, CAD/CAM-Datensätzen und im Bereich von hochauflösenden Videodaten (HDTV).

Der Datendurchsatz des verteilten Dateisystems wird in zwei Stufen verbessert: Zuerst werden einzelne Festplatten in einem RAID-System zusammengeschlossen, danach mehrere dieser Object Storage Target-Rechner (OST) in einem Verbund gruppiert. Die Kombination mehrerer OSTs bildet dann das Lustre-Dateisystem. Lustre erreicht die Skalierung der Disk-I/O-Bandbreite somit durch einfache Hinzunahme weiterer OSTs. Innerhalb des Verbundes wird eine GBit-Ethernet-Technologie verwendet, wobei die OST-Server jeweils mit zwei GBit-Ethernet-Anschlüssen versehen sind.

Für eine Durchsatzmessung wurden zunächst fünf Linux-Clients eingesetzt. Messungen wurden mit einem parallelisierten IOzone-Benchmark sowie dem Benchmark PRIOMark durchgeführt, der in Rahmen des IPACS-Projektes entwickelt wird. Die eingesetzten preiswerten RAID-Server werden dabei voll ausgelastet.

Zur Zeit wird am ITWM ein Parallel Filesystem Lab aufgebaut, dessen Aufgabe es ist, auf modernster Hardware verschiedenen parallelen Dateisysteme hinsichtlich Performance und Zulässigkeit zu vergleichen. Als Testsystem wird das Lab für die Portierung anspruchsvoller Kunden-Applikationen und Erprobung neuer Filesystemtechnologien zur Verfügung stehen.

## Ansprechpartner:

Martin Vogt

☎ 06 31/3 16 00-43 56

[martin.vogt@itwm.fraunhofer.de](mailto:martin.vogt@itwm.fraunhofer.de)



Moritz Baumann, Sven Breuner, Mathias Dalheimer, Dr. Tiberiu Rotaru, Dr. Dirk Petry, Evgeny Ivanov, Dr. Peter Klein, Anja Streit, Dr. Robert Zillich, Dieter Eubell, Dr. Franz-Josef Pfreundt, Dr. Dirk Merten, Dr. Susanne Hahn, Ely Wagner, Dr. Dimitar Stoyanov, Mirko Spell, Matthias Groß, Dr. Carsten Lojewski, Martin Vogt, Christian Peter, Nikolai Ivlev



# Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC

Seit seinem Start 2001 ist das FCC in Göteborg, Schweden, erfolgreich durch die Aufbau- und Konsolidierungsphase gegangen. Das Institut kooperiert eng mit dem Fraunhofer ITWM und der Chalmers University of Technology. Es hat damit eine besondere Stellung unter den schwedischen und europäischen angewandten Forschungsinstituten. Die Fraunhofer-Gesellschaft und Chalmers haben 2005 beschlossen, die Kooperation bis mindestens 2010 fortzusetzen.

Die Einnahmen betragen im vergangenen Jahr 2,4 Millionen Euro. Diese verteilen sich zu 44 Prozent auf Industrieprojekte und zu 24 Prozent auf öffentliche Projekte; die restlichen 33 Prozent sind Grundfinanzierung durch Chalmers bzw. Projektmittel der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Mitarbeiterzahl ist mittlerweile auf 24 angestiegen; damit hat das FCC in etwa die Größe einer ITWM-Abteilung.

Bisher wurden über 100 Projekte mit Firmen unterschiedlicher Größe und aus unterschiedlichen Branchen initiiert, wovon mehr als 80 erfolgreich abgeschlossen wurden. Die Liste der Industriepartner ist mittlerweile auf über 50 angewachsen. Das ist nicht ohne Auswirkungen auf das ITWM geblieben, denn das Volumen an Gemeinschaftsprojekten von FCC und ITWM nimmt zu.

Im Folgenden werden nun vier der FCC-Schwerpunkte beschrieben:

- Geometrie und Bewegungsplanung
- Materialermüdung und Belastungsanalyse
- Computational Electromagnetics
- Systembiologie

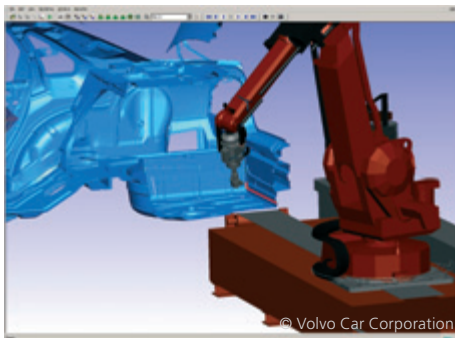
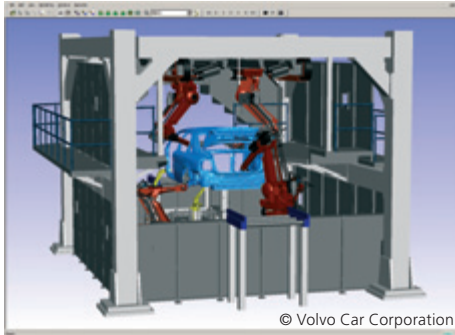
---

## Leiter des FCC:

Dr. Uno Nävert

☎ +46 (0) 31/7 72-42 85

[uno.navert@fcc.chalmers.se](mailto:uno.navert@fcc.chalmers.se)



In der Abdichtungsstation sprüht ein Roboter Abdichtungsmasse entlang einer Punktschweißnaht. Die FCC-Software findet innerhalb kürzester Zeit eine optimale Bewegung des Roboterarms.

Das visuelle Erscheinungsbild und die Funktionalität hängen bei vielen Produkten wie PKWs, Zahnersatz oder Mobiltelefonen von ihrer Geometrie ab. Diese wiederum beeinflusst die Funktionalität eines Produkts. Da geometrische Abweichungen unvermeidlich sind, müssen große Anstrengungen in Design, Verifikation und Produktion unternommen werden, um diese Abweichungen möglichst gering zu halten und die einfache Herstellung von Qualitätsprodukten zu ermöglichen. Die Produktionsanforderungen wie kurze Anfahrzeiten und hohe Durchsätze steigern den Bedarf an optimierten Bewegungsabläufen bei der Montage.

Das FCC hat erfolgreiche Methoden, Algorithmen und Werkzeuge entwickelt, um die Aktivitäten innerhalb der virtuellen Produktrealisation zu unterstützen. Die Projekte gliedern sich in die Schwerpunkte »Geometrische Sicherheit«, »Bahnplanung und Robotik« sowie »Oberflächeninspektion«.

Die Software zur automatischen Bahnplanung ist hinsichtlich Speicherbedarf, Rendering und Geschwindigkeit verbessert worden. Dies erlaubt es, geometrisch komplexe Probleme innerhalb von Minuten anstelle von Tagen zu lösen. Eine besondere Herausforderung bei der Bahnplanung liegt in der Handhabung der geometrischen Qualität und des Produktionsdurchsatzes. Ein erster Schritt ist das Einbeziehen von geometrischer Toleranz, Reihenfolge und Koordinierung der Operationen gewesen.

Andere geometrische Algorithmen wie »Swept Volume Generation« der Bewegungen, Modellreduktion und »Healing« sind entwickelt worden. Unsere Implementierung trifft auf den großen Anspruch der Fertigungstechnik, wenn es um Rechenzeit und Komplexität der geometrischen Modelle geht.

## Bahnplanung und Abdichtung von Karosseriefugen

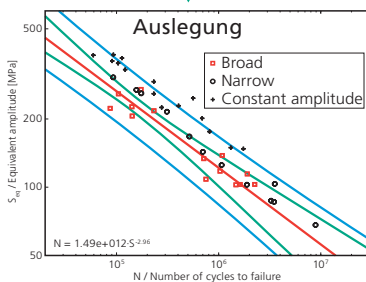
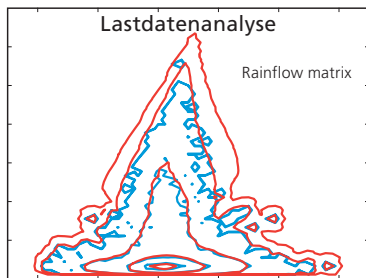
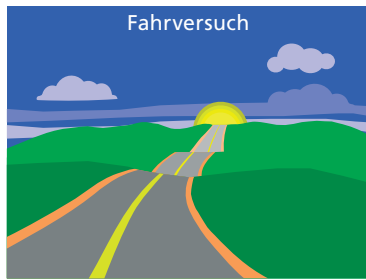
Dieses Projekt mit der Volvo Car Corporation hat zu einer Simulationssoftware für die automatische Bahnplanung bei Abdichtungsanwendungen für Roboter geführt. In der Abdichtungsstation sprühen Roboter Abdichtungsmasse z. B. entlang der Punktschweißnähte. Die Abdichtung verhindert das Eindringen von Schmutz und Wasser und somit die Korrosion. Zudem wirkt sie schalldämpfend. Im ersten Schritt findet der Algorithmus verschiedene kollisionsfreie Bewegungen, um die Abdichtung entlang der einzelnen Nähte zu applizieren. Im zweiten Schritt wird eine kollisionsfreie Bewegung generiert, die eine optimale Abfolge der Lösungen für eine Naht beinhaltet.

### Ansprechpartner:

Dr. Johan Carlson

☎ +46(0)31/7 72-42 89

johan.carlson@fcc.chalmers.se



Das FCC unterstützt den Lastdatenanalyse- und Betriebsfestigkeitsprozess in den hier dargestellten vier Schritten

Seit ihrer Gründung vor fünf Jahren hat die Gruppe neue Methoden zur Beurteilung von Materialermüdung in industriellen Anwendungen entwickelt. Diese Methoden basieren auf zwei Fundamenten: den wissenschaftlichen Kenntnissen und Erfahrungen innerhalb der Gruppe, in enger Verbindung mit akademischen Partnern, und den Kenntnissen über aktuelle industrielle Anwendungen und Fertigkeiten.

Im letzten Jahr wurden gute Resultate in vielen Industrieprojekten erzielt. Die Gruppe ist gewachsen, wodurch die statistischen Anwendungen in der Materialermüdung erweitert wurden. Zudem gibt es neue wissenschaftliche Fortschritte und Aktivitäten für Kooperationen im akademischen Umfeld für gemeinsame Zukunftsprojekte.

Die wissenschaftlichen Anstrengungen haben sich 2005 auf neue Methoden der Zuverlässigkeit in der Industrie gerichtet. Als Ergebnis von Seminaren, Treffen und Diskussionen mit Industriepartnern wurde das neue Zuverlässigkeitskonzept »Uncertainty Weighted Safety Method« formuliert. Diese Methode wird bereits beim Design von Sicherheitskomponenten in LKWs angewendet. Die bestehende Methode zur spektralen Materialermüdungsbewertung wurde durch neue Erkenntnisse vervollständigt. Nun gibt es die Möglichkeit, alte und neue Experimentierergebnisse zu gemeinsamen Festigkeitsmessungen zu kombinieren. Einige Jahre Erfahrungen in der Bewertung von Messungenauigkeiten wurden in einem statistischen Handbuch für Ingenieure gesammelt.

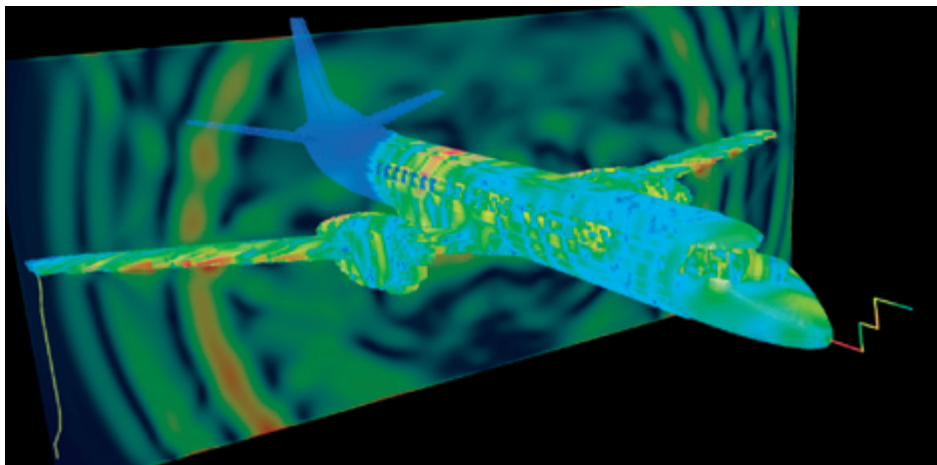
## Projektbeispiele

Vier Projekte über Zuverlässigkeit und Analyse der Betriebsfestigkeit für zwei große Kunden haben die Arbeiten im Jahr 2005 dominiert. Diese Projekte re-

sultierten teilweise aus früheren Bemühungen im Bereich der Zuverlässigkeit, Seminarveranstaltungen für die Industrie und Diskussion mit verschiedenen Industriekontakten. Ein Projekt ist das Resultat der stetigen Arbeit im ESIS Komitee TC20 »Inclusions«. Andere erfolgreiche Industrieprojekte betreffen zwei Belastungsanalysen, eine Implementierung des neuen Zuverlässigkeitskonzeptes und statistische Unterstützung für die Bewertung von Messungenauigkeiten.

## Ansprechpartner:

Dr. Thomas Svensson  
☎ +46 (0) 31/7 72-42 84  
thomas.svensson@fcc.chalmers.se



Eine Stromzufuhr über einen dünnen Draht an der Nase des Flugzeugs SAAB 2000 simuliert einen Blitzschlag. Im Bild ist am Flugzeugrumpf der induzierte Oberflächenstrom und in einer Schnittebene zu den Flügeln das magnetische Feld zu sehen.

Die Simulation elektromagnetischer Ausbreitung und Wechselwirkung ist eine Technologie, die immer wichtiger wird in Anwendungsfeldern wie der drahtlosen Datenübertragung, Antennenanalyse, elektromagnetische Kompatibilität, Mikroelektronik und Radarerkennung. Die Teilnahme am schwedischen Forschungs- und Software-Entwicklungsprogramm GEMS (General ElectroMagnetic Solvers) hat das FCC an die Spitze der elektromagnetischen Simulationen gebracht. Das FCC hat Verträge mit der schwedischen Telekommunikation- und Luftfahrtindustrie, um weitere Entwicklungen voranzubringen und die Software zu pflegen. Zudem wird das FCC mit der GEMS-Software neue Kunden und Beraterprojekte einwerben können. Die Software ist »State-of-the-Art« für Antennendesign, elektromagnetische Kompatibilität, Radarerkennung und Mikrowellenanwendungen.

Ein Schlüsselmerkmal ist die Anwendung von Hybridmethoden sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich. Im Frequenzbereich wird ein Randintegrallöser mit einem Physical Optics Solver gekoppelt. Im Zeitbereich wird eine

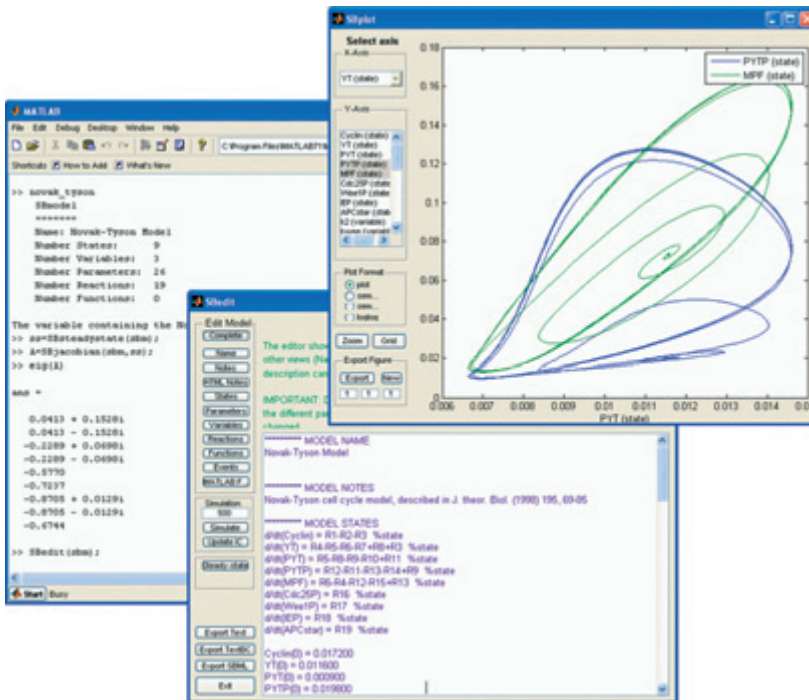
Finite-Element-Methode mit einer Finite-Differenzen-Methode gekoppelt. Die zugrundeliegende Idee der Hybridmethoden ist, die Stärken der einzelnen Methoden zu nutzen ohne deren Nachteile in Kauf nehmen zu müssen, um dadurch das Spektrum an lösbaren Problemen zu vergrößern.

#### **Ansprechpartner:**

Dr. Fredrik Edelvik

☎ +46(0)31/7 72-42 46

fredrik.edelvik@fcc.chalmers.se



Systems Biology Toolbox

Neueste Fortschritte in der Messtechnik, kombiniert mit dem Bedarf an effizienteren Alternativen zu den traditionellen empirischen Methoden in der Medikamentenentwicklung, haben das Interesse an Bioinformatik und Systembiologie vorangetrieben. Das FCC bietet einen integrierten Zugang zur Untersuchung biochemischer und physiologischer Prozesse, von der Analyse der Sequenzdaten bis zur Analyse der dynamischen Phänomene auf Systemniveau.

Einen wichtigen Fortschritt war die Entwicklung der Systembiologie-Toolbox für Matlab. Diese bietet eine effiziente Umgebung für die angewandte Forschung in der Systemidentifikation und der rechnergestützten Analyse von biochemischen Systemen. Sie ist teilweise im Rahmen des BioSim-Projektes entwickelt worden; die öffentliche Version hat sich weit innerhalb und außerhalb des BioSim-Netzwerkes verbreitet.

Das BioSim-Projekt ist 2005 als ein von der EU gefördertes »Network of Ex-

cellence« gestartet; an diesem Projekt sind sowohl akademische als auch industrielle Partner beteiligt. Deshalb ist es ein idealer Rahmen für das FCC, das seine angewandte Forschung für Rechnerwerkzeuge und die Methoden der Biologiesysteme einbringt. Unsere Beteiligung kann in drei Gebiete unterteilt werden:

- Systemidentifikation – Generieren von mathematischen Modellen für dynamische Systeme, basierend auf Messdaten
- Modelreduktion – Reduzieren der Größe und des Anwendungsbereichs der Modelle, um Modelle mit Parametern zu erhalten, die mit vorhandenen Messdaten geschätzt und validiert werden können
- Software-Tools – zur Unterstützung des Modellierungsprozesses und der rechnergestützten Analyse der erhaltenen Modelle

In einem gemeinsamen Projekt mit dem Fraunhofer ITWM haben wir unsere Bemühen fortgesetzt, Techniken der numerisch-symbolischen Modellreduktion aus dem Gebiet des analogen Schaltkreisdesigns auf biochemische Netzwerkmodelle zu übertragen. Zudem ist es uns gelungen, weitere Kunden für unsere angewandte Forschung in Form von Industrieprojekten zu gewinnen.

**Ansprechpartner:**

Dr. Mats Jirstrand  
 ☎ +46 (0) 31/7 72-42 50  
 mats.jirstrand@fcc.chalmers.se





Dr. Johan Carlson, Dr. Robert Rundqvist, Peter Lindroth, Prof. Mats Jirstrand, Magnus Karlsson, Sandra Kjeldsen, Fredrik Ekstedt, Erik Höök, Prof. Marina Axelson-Fisk, Daniel Segerdahl, Dr. Fredrik Edelvik, Prof. Rikard Söderberg, Prof. Michael Patriksson, Domenico Spensieri, Dr. Robert Bohlin, Dr. Pär Johannesson, Annika Eriksson, Tomas Hermansson, Prof. Jacques de Maré, Jenny Ekenberg, Dr. Joachim Johansson, Dr. Sara Lorén, Sebastian Tafuri, Gunnar Cedersund, Dr. Uno Nävert

Acar, Sarp Kaya

*Optimal Capital Structure with a Jump-Diffusion Process*

Recent Developments in Financial and Actuarial Mathematics, November 2005, ETH Zürich

Andrä, Heiko; Matei, Iuliana;  
Teichmann, Emanuel

*Zur Strukturoptimierung von Gussteilen unter Einbeziehung der Erstarrungssimulation*

Arbeitskreis Strukturoptimierung, Karlsruhe, März 2005

Bach, Harriet; Knaf, Hagen

*Data Mining-Methoden im Überblick*

Workshop Data Mining im Einsatz – Methoden, Anwendung, Nutzen, Kaiserslautern, März 2005

Baydar, Evren

*Introduction to Credit Risk: Reduced Form Models*

Bilgi University, Istanbul, Oktober 2005

De Kock, Johan

*CDOs und NtD Baskets: Die Methode von Hull und White*

HVB, München, August 2005

Dreßler, Klaus

*MKS-Simulation eines neuartigen Prüfsystems für Achserproben*

Würzburg, Juni 2005

Godehardt, Michael

*Verarbeitung von Volumenbildern – wichtige Werkzeuge*

und

*Trennung von Regionen oder Objekten*

Workshop Computertomographie und Analyseverfahren für industrielle Anwendungen, Fürth, Dezember 2005

Godehardt, Michael

*Verarbeitung von Volumenbildern des Mikrostruktur von Werkstoffen*

Control, Sinsheim, Mai 2005

Godehardt, Michael

*MAVI – Konzept und Möglichkeiten*

Workshop Analyse von Volumenbildern der Mikrostruktur von Werkstoffen, Kaiserslautern, Februar und April 2005

Günther, Marco

*A posteriori Analysis of Cake Shapes in Candle Filters*

FILTECH 2005, Wiesbaden, Oktober 2005

Halfmann, Thomas

*Symbolic Methods in Industrial Analog Circuit Design*

Summer School on Computational Methods for Microelectronics, Capo D'Orlando, September 2005

Hanne, Thomas

*On the Scheduling of Construction Projects Using Single- and Multiobjective Evolutionary Algorithms*

MIC2005 – The Sixth Metaheuristics International Conference, Wien, August 2005

Hanne, Thomas

*Interactive Decision Support Based on Multiobjective Evolutionary Algorithms*

International Scientific Annual Conference Operations Research 2005, Bremen, September 2005

Hietel, Dietmar

*Modeling and Numerical Simulation of Fiber Dynamics*

GAMM-Jahrestagung, Luxemburg, März 2005

Hietel, Dietmar

*Process Optimization based on Fiber Dynamics Simulation*

Index 05, Exhibitor Presentation, April 2005

Hietel, Dietmar

*Process Optimization based on Fiber Dynamics Simulation*

CIRFS, Research Committee Meeting, Brüssel, Oktober 2005

Hietel, Dietmar

*FIDYST – Fiber Dynamics Simulation Tool: Innovation durch Simulationsunterstützung*

Hofer Vliesstofftage, November 2005

Hollstein, Melanie

*Portfolio-Optimierung und Commodity Derivate*

ITWM-ETH Zürich-Workshop zur Finanzmathematik, Kaiserslautern, Oktober 2005

Hollstein, Melanie

*Asset Liability Management: A simple Example*

Padua, November 2005

Iliev, Oleg

*Applications of Upscaling in Simulation of Filtration Processes*

Workshop on Numerical Upscaling: Theory & Applications, Oberwolfach, Mai 2005

Iliev, Oleg; Popov, Petr; Rybak, Irina

*On numerical upscaling of certain multiscale problems*

European Multigrid and Multiscale Conference, Den Haag, September 2005

Iliev, Oleg

*On Certain Challenges in Modelling and Simulation of Hydrogeological and Geo-Environmental Problems*

Joint Conf. on Math. Modeling & Analysis and on Comp. Meth. in Appl. Math., Trakai, Litauen, Juni 2005

Iliev, Oleg; Rybak, Irina

*On Upscaling of Flow in anisotropic porous Media*

Workshop on Numerical Upscaling: Theory & Applications, Oberwolfach, Mai 2005

Knaf, Hagen

*Mustererkennung in Biosignalen*

Einführungspressekonferenz SRA II – Stroke Risk Analyser, Frankfurt, Februar 2005

Korn, Ralf

*Moderne Methoden der Portfolio-Optimierung: Verallgemeinerungen, Probleme und Gegenbeispiele*

Universität Karlsruhe, Februar 2005

Korn, Ralf

*The Mathematical Tool Box for the Financial Engineer (Workshop mit Elke Korn)*

METU Ankara, März 2005

Korn, Ralf

*Mathematische Modelle für Inflation: Bewertung inflationsgebundener Produkte und optimales Investment*

Universität Ulm, Juni 2005

Korn, Ralf

*Grundlegende Prinzipien der Finanz- und Versicherungsmathematik*

und

*Mathematische Modelle für Inflation: Bewertung inflationsgebundener Produkte und optimales Investment*

Oberwolfach, Juni 2005

Korn, Ralf

*Mathematische Modelle für Inflation: Bewertung inflationsgebundener Produkte und optimales Investment*

DAA-Nachwuchs-Workshop, Reisenburg, September 2005

Korn, Ralf

*Worst-Case Portfolio-Optimierung in Finanz- und Versicherungsmathematik*

und

*Anwendung des Malliavin-Kalküls bei der Berechnung von Optionspreissensitivitäten,*

ITWM-ETH Zürich-Workshop zur Finanzmathematik in Kaiserslautern, Oktober 2005

- Korn, Ralf  
*Fraunhofer Finance – The Bridge between Academia and Industry*  
Fraunhofer-HVB-Finance-Workshop, Kaiserslautern  
Oktober 2005
- Korn, Ralf  
*Portfolio Optimization and Statistics in stochastic Volatility Markets*  
Chalmers University, Göteborg, November 2005
- Korn, Ralf  
*Algorithmen und Software für moderne Finanzmathematik*  
Dagstuhl, November 2005
- Kroisandt, Gerald  
*ALM-Sim: Anwendung beim staatlichen schwedischen Rentenfond*  
Oberwolfach, Juni 2005
- Kroisandt, Gerald  
*Redesigning Ratings: Assessing the Discriminatory Power of Credit Scores under Censoring*  
3rd IASC world conference on Computational Statistics & Data Analysis, Limassol, Zypern, Oktober 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Strahlentherapieplanung – Modellfall eines mehrkriteriellen Therapieentscheids im Krankenhaus*  
Jahrestagung »OR im Gesundheitswesen« der GOR, TU Wien, Februar 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Reverse Engineering using Multiple Criteria Optimization*  
FCC Göteborg und ABB Västerås, Schweden, April 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Mehrkriterielle Entscheidungsfindung im klinischen Umfeld – Projekte und Lösungskonzepte bei Therapieplanung und -management*  
Jahrestagung »Praxis der mathematischen Optimierung« der GOR, Siemens, München, April 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Multicriteria Optimization in Intensiv Modulated Radiotherapy Planning*  
SIAM Optimization, Stockholm, Schweden, Mai 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Multikriterielle Optimierung und Reverse Engineering*  
ABB Baden, Schweiz, Juni 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Multikriterielle Optimierung und Reverse Engineering*  
Universität Paderborn, Juli 2005
- Kuhnert, Jörg  
*FPM for Stationary Flow Problems*  
3rd International Conference on Meshfree Methods, Bonn, September 2005
- Latz, Arnulf  
*On numerical Simulation of viscoelastic Fluids*  
Grenoble, Annual European Rheology Conference, April 2005
- Lautensack, Claudia  
*Zufällige Laguerre-Mosaik*  
Seminar Stochastische Geometrie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, September 2005
- Lautensack, Claudia  
*Modellierung von Sinterstrukturen*  
Workshop Zufällige Mosaik und ihre Anwendungen, Karlsruhe, Dezember 2005
- Lorenz, Stefan  
*Anwendung des Malliavin-Kalküls bei der Bewertung amerikanischer Optionen*  
ITWM-ETH Zürich-Workshop zur Finanzmathematik, Kaiserslautern, Oktober 2005
- Melo, Teresa  
*Integrierte Modellierung von Logistikprozessen in Krankenhäusern*  
Jahrestagung »OR im Gesundheitswesen« der GOR, TU Wien, Februar 2005
- Melo, Teresa  
*A two-stage heuristic Approach for a dynamic Multicommodity Facility Location Problem*  
X International Symposium on Locational Decisions, Sevilla, Juni 2005
- Melo, Teresa  
*Heuristics for Dynamic Dial-a-Ride Problems for In-House Hospital Transportation*  
Universität Lissabon, September 2005 und Universität Catania, Oktober 2005
- Melo, Teresa  
*Neue Optimierungsansätze zur strategischen Supply Chain-Gestaltung*  
Jahrestagung »Supply Chain Management« der GOR, Wiesbaden, Oktober 2005
- Müller, Marlene  
*Nichtparametrische Komponenten in Discrete-Choice- und Generalisierten Linearen Modellen*  
Biometrisches Kolloquium, DKFZ Heidelberg, Januar 2005
- Müller, Marlene  
*Nonparametric Components in highdimensional generalized Regression Models*  
3rd IASC World Conference on Computational Statistics & Data Analysis, Limassol, Zypern, Oktober 2005
- Naumovich, Anna; Iliev, Oleg; Gaspar, Francisco  
*On numerical Solution of Poroelasticity Equations*  
Joint Conf. On Math. Modeling & Analysis and on Comp. Meth. in Appl. Math., Trakai, Litauen, Juni 2005
- Naumovich, Anna; Iliev, Oleg; Gaspar, Francisco  
*On a multigrid solution for three dimensional poroelasticity equations with discontinuous coefficients*  
European Multigrid and Multiscale Conference, Den Haag, September 2005
- Nickel, Stefan  
*Simulation und Optimierung zur Planung und Steuerung von Kommissioniersystemen*  
VDI Seminar, Karlsruhe, März 2005
- Nickel, Stefan  
*Logistikmanagement: Effizienzsteigerung durch moderne Planungsverfahren*  
Unternehmertag der Universität des Saarlandes, September 2005
- Nickel, Stefan  
*New Approaches for the discrete OMP*  
Jahrestagung der GOR, Bremen, September 2005
- Nickel, Stefan  
*Patient Transports in Hospitals*  
UPC Barcelona, November 2005
- Nickel, Stefan  
*Ordered Median Problems*  
X International Symposium on Locational Decisions, Sevilla, Juni 2005
- Nickel, Stefan  
*Simulation und Optimierung zur Planung und Steuerung von Kommissioniersystemen*  
VDI Seminar, Karlsruhe, März 2005
- Nickel, Stefan  
*New Approaches for the discrete OMP*  
International Scientific Annual Conference Operations Research 2005, Bremen, September 2005
- Nickel, Stefan  
*AnSiM – Anschluss-Sicherungsmanagement im ÖPNV*  
Workshop IT für den ÖPNV, Dortmund, September 2005
- Niedziela, Dariusz  
*Numerical Study of Preconditioners for Discretized Non-Newtonian Flow Equations*  
Sozopol, 5th International Conference on Large Scale Scientific Computations, Juni 2005

- Pereverzyev, Sergiy  
*Regularized fixed-point Iteration for nonlinear Inverse Problems*  
RICAM, Linz, Februar 2005
- Pereverzyev, Sergiy; Pinnau, René; Siedow, Norbert  
*Initial Temperature Reconstruction for a nonlinear Heat Equation*  
5th International Conference on Inverse Problems in Engineering, Cambridge (UK), Juli 2005
- Peters, Stefanie  
*Automatische Segmentierung mittels evolutionärer Algorithmen*  
13. Arbeitstagung Quantitative Bildanalyse, Darmstadt, Juni 2005
- Romero, Eric; Siedow, Norbert  
*Radiative Heat Transfer in flat Glass Tempering*  
Glass Days 2005, Kaiserslautern, April 2005
- Rösch, Ronald  
*Industrielle Anwendungen der 2D- und 3D-Bildverarbeitung für die Qualitätssicherung in der Fertigung*  
Messe Continental Teves, Frankfurt, November 2005
- Sarishvili, Alex  
*Data Mining in der Modellierung der Materialeigenschaften*  
Workshop Data Mining im Einsatz – Methoden, Anwendung, Nutzen, Kaiserslautern, März 2005
- Schladitz, Katja  
*Analyse der Teilchenbewegung während des Sinterns anhand von Volumenbildern*  
13. Arbeitstagung Quantitative Bildanalyse, Darmstadt, Juni 2005
- Schladitz, Katja  
*Geometrische Charakterisierung von Segmenten in Volumenbildern*  
und  
*Geometrische Charakterisierung von Objekten in Volumenbildern*  
Workshop Computertomographie und Analyseverfahren für industrielle Anwendungen, Fürth, Dezember 2005
- Schladitz, Katja  
*Einführung in die Analyse von Volumenbildern*  
Workshop Analyse von Volumenbildern der Mikrostruktur von Werkstoffen, Kaiserslautern, Februar und April 2005
- Schröder, Michael  
*IT-Unterstützung für Fahrplanabstimmung und Anschlussicherung in Verkehrsverbänden*  
Traffic Day, Darmstadt, Mai 2005
- Schulz, Volker  
*Flow, Heat Conductivity, and Gas Diffusion in Partly Saturated Microstructures*  
2nd NAFEMS CFD-Seminar, Simulation of Complex Flows (CFD), Niedernhausen b. Wiesbaden, April 2005
- Schulz, Volker  
*Strömung, Wärmeleitung und Gasdiffusion in teilgesättigten Mikrostrukturen – Anwendungsbeispiel: Brennstoffzelle*  
Institut für Wasserbau, Stuttgart, April 2005
- Schulz, Volker  
*Diffusion Media in a Fuel Cell: Simulation of Flow, Heat Conductivity, and Gas Diffusion*  
The Electrochemical Engine Center, Penn State University, Pennsylvania, USA, September 2005
- Schulz, Volker  
*Computersimulation of Non-wovens for Automotive Acoustic Trims*  
TechTextil Kongress, Frankfurt, Juni 2005
- Siedow, Norbert  
*Heat Transfer in Glass*  
Glass Days 2005, Kaiserslautern, April 2005
- Sommer, Ralf; Halfmann Thomas ; Platte, Daniel  
*Symbolische Schaltungsanalyse und automatische Verhaltensmodellgenerierung*  
Tutorial, Analog 2005, Hannover, März 2005
- Speckert, Michael  
*MKS-Simulation eines neuartigen Prüfsystems für Achserprobungen*  
Würzburg, Juni 2005
- Steiner, Konrad  
*Multiskalensimulation: Vom Atom zum Bauteil*  
Kuratoriumssitzung Fraunhofer ITWM, Februar 2005
- Steiner, Konrad  
*Virtual Non-Woven Design of Saturation Dependent Objective Functions*  
TechTextil Kongress, Frankfurt, Juni 2005
- Steiner, Konrad  
*Benefits, Limits and Risks of the Lattice Boltzmann Method*  
Fluid Dynamics Application in Ground Transportation, Lyon, Oktober 2005
- Steiner, Konrad  
*Material- und Prozess-Simulation textiler Produkte*  
Fraunhofer ITWM Alumni-Treffen, Kaiserslautern, November 2005
- Steiner, Konrad  
*Simulation of Saturation dependent Material Properties*  
Schlumberger Research Center, Cambridge (UK), Dezember 2005
- Süss, Philipp  
*A dual algorithm to obtain highly practical solutions in static multileaf collimation*  
International Scientific Annual Conference Operations Research 2005, Bremen, September 2005
- Sych, Tetyana  
*Analyse offener Schäume*  
Workshop Analyse von Volumenbildern der Mikrostruktur von Werkstoffen, Kaiserslautern, Februar und April 2005
- Sych, Tetyana  
*3d image analysis of open foams using spatial tessellations*  
Workshop Zufällige Mosaik und ihre Anwendungen, Karlsruhe, Dezember 2005
- Tiwari, Sudarshan  
*Meshfree method for simulations of the interaction between flexible structure and fluids*  
3rd International Conference on Meshfree Methods, Bonn, September 2005
- Tiwari, Sudarshani  
*Meshfree Method for Simulations of Multiphase Flows*  
Workshop on Multiphase Flows, Rossendorf, Juni 2005
- Trinkaus, Hans  
*knowCube – Navigation in Entscheidungsräumen*  
Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, Mai 2005
- Trinkaus, Hans  
*Interactive Analyzing, Optimizing, and Controlling of Multi Criteria Processes*  
IFORS Triennial Conference, Honolulu, USA, Juli 2005
- Trinkaus, Hans  
*knowCube – a Spreadsheet Method for DM in Multi Criteria Scenarios*  
OR 2005, Bremen, September 2005
- Velásquez, Rafael  
*An LP-based heuristic Approach for strategic Supply Chain Design und*  
*A set packing Approach for Scheduling elective surgical Procedures*  
International Scientific Annual Conference Operations Research 2005, Bremen, September 2005

- Wiegmann, Andreas  
*Fast Structural Topology Design*  
GAMM Seminar, MPI Leipzig, Januar 2005
- Wiegmann, Andreas  
*Filter Efficiency and Filter Life Time of Nonwovens*  
Workshop Fibers in Industrial Flow, Göteborg, März 2005
- Wiegmann, Andreas  
*Virtual Material Design and Air Filtration Simulation Techniques inside GeoDict and FilterDict*  
Annual Conference of the American Filtration and Separation Society, Atlanta, April 2005
- Wiegmann, Andreas  
*Fast iterative Solvers for virtual Material Design*  
International Conference on Scientific Computing, Nanjing, Juni 2005
- Wiegmann, Andreas  
*Some industrial Challenges to Level Set Methods*  
Workshop on Level Set Methods for direct and inverse Problems, Linz, September 2005
- Wiegmann, Andreas  
*Computer Simulation of Air Filtration including electric Surface Charges in three-dimensional fibrous Microstructures*  
Filtech Europe 2005, Wiesbaden, Oktober 2005
- Wirjadi, Oliver  
*Segmentierung*  
Workshop Computertomographie und Analyseverfahren für industrielle Anwendungen, Fürth, Dezember 2005
- Wirjadi, Oliver  
*Segmentierung*  
Workshop Analyse von Volumenbildern der Mikrostruktur von Werkstoffen, Kaiserslautern, Februar und April 2005
- Andrä, Heiko  
*Einführung in die Boundary-Element-Methode*  
Universität Kaiserslautern, Sommersemester 2005
- Andrä, Heiko  
*Kontaktmechanik*  
TU Kaiserslautern, Wintersemester 2005/2006
- Dreßler, Klaus; Speckert, Michael  
*Statistische Methoden in der Betriebsfestigkeit*  
DaimlerChrysler, Stuttgart, September 2005
- Dreßler, Klaus; Speckert, Michael; Bitsch, Gerd  
*Lastdaten – Analyse, Bemessung und Simulation*  
ITWM Kaiserslautern und DaimlerChrysler, Roggenbeuren, Juni 2005
- Iliev, Oleg  
*Modern Methods for Linear and Nonlinear Equations*  
TU Kaiserslautern, Wintersemester 2005/2006
- Knaf, Hagen  
*Einblicke in die Biosignalanalyse*  
Kaiserslautern, WS 2005
- Korn, Ralf  
*Continuous-time portfolio optimization in finance and insurance*  
Gastprofessur an der L'Université Louis Pasteur in Strasbourg, Wintersemester 2004/2005
- Kroisandt, Gerald  
*Applied Stochastic Processes*  
TU Kaiserslautern, Sommersemester 2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Probability Algorithms*  
TU Kaiserslautern, Wintersemester 2004/2005
- Küfer, Karl-Heinz  
*Scheduling Algorithms*  
TU Kaiserslautern, Sommersemester 2005
- Küfer, Karl-Heinz, Lavrov, Alexander, Melo, Teresa, Schröder, Michael  
*Seminar «Optimization for Industrial Applications»*  
TU Kaiserslautern, Wintersemester 2005/2006
- Latz, Arnulf  
*Theorie granularer Medien*  
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Sommersemester 2005
- Melo, Teresa  
*Optimization Methods for Logistics Systems Planning*  
TU Kaiserslautern, Wintersemester 2005/2006
- Müller, Marlene  
*Multivariate Statistical Analysis I*  
Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2005/2006
- Müller, Marlene  
*Non- and Semiparametric Modelling I*  
Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2004/2005
- Nögel, Ulrich  
*Montana Capital Credit Derivatives/CDO Workshop*  
Montana Capital AG Wien, November 2005
- Schulz, Volker  
*Technische Mechanik I und II*  
Hochschule Mannheim, Sommersemester 2005, Wintersemester 2005/2006

Ambrust, Ove; Berlage, Thomas; Hanne, Thomas; Lang, Patrick ; Münch, Jürgen; Nickel, Stefan; Rus, Iona; Sarishvili, Alex; Von Stockum, Sascha; Wirsen, Andreas

*Simulation based software process modeling and evaluation*

Handbook of software engineering & knowledge engineering, Volume 3, Recent advances, World Scientific, August 2005

Amstutz, Samuel; Andrä, Heiko

*A new algorithm for topology optimization using level-set methods*

Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 78, 2005

Andrä, Heiko; Girlich, Dieter; Rief, Stefan; Schladitz, Katja

*Open metal foams – geometry of the microstructure and material properties*

CELLMET 2005 - Cellular Metals for Structural and Functional Applications. 1st International Symposium, Mai 2005

Andrä, Heiko; Linn, Joachim; Matei, Iuliana; Shklyar, Inga; Steiner, Konrad; Teichmann, Emanuel

*OPTCAST - Entwicklung adäquater Strukturoptimierungsverfahren für Gießereien Technischer Bericht (KURZFASSUNG)*

Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 80, 2005

Andrä, Heiko; Rief, Stefan; Schladitz, Katja; Girlich, Dietrich

*Open metal foams - Geometry of the microstructure and material properties*

CELLMET 2005 - Cellular Metals for Structural and Functional Applications, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

Andrä, Heiko; Schulz, Volker; Steiner, Konrad; Wiegmann, Andreas; et al.:

*Innovative Simulationstechniken als Werkzeug einer integrierten Produktpolitik am Beispiel von Formpressteilen im Automobilbau*  
StMUGV, 2005

Armbrust, Ove, Berlage, Thomas, Hanne, Thomas, Lang, Patrick, Münch, Jürgen, Neu, Holger; Nickel, Stefan; Rus, Iona; Sarishvili, Alex; van Stockum, Sascha; Wirsen, Andreas

*Simulation-based software process modelling and evaluation*

S. K. Chang (Ed.): Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering, Volume 3: Recent Advances. World Scientific, New Jersey, S. 333-364, 2005

Bertram, Martin; Deines, Eduard; Mohring, Jan; Jegorovs, Jevgenij; Hagen, Hans

*Phonon Tracing for Auralization and Visualization of Sound*

Proc. IEEE Visualization, Minneapolis, S. 151-158, 2005

Ettrich, Norman

*Generation of surface elevation models for urban drainage simulation*

Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 79, 2005

Ettrich, Norman; Steiner, Konrad; Thomas, Martin; Rothe, Rene

*Surface models for coupled modeling of runoff and sewer flow in urban areas*

Water Science & Technology, Vol. 52, S. 25-33, 2005

Godehardt, Michael; Schladitz, Katja; Sych, Tetyana

*Analysis of volume images – a tool for understanding the microstructure of foams*

Cellular Metals and Polymers: R. F. Singer, C. Körner, V. Altstadt, H. Münstedt (Eds.): Trans Tech Publications, Zürich, 2005

Goettlich, S.; Herty, M; Klar, Axel

*Network models for supply chains*  
CMS 3(4), S. 545-559, 2005

Gugat, M.; Herty, M; Klar, Axel; Leugering, G.

*Adjoint Calculus for traffic flow networks*  
JOTA 126(3), 2005

Halfmann, Thomas; Lang Patrick; Mohring, Jan; Wirsen, Andreas

*Systemsimulation zum Design nichtlinearer Regler für integrierte aktive Materialien*  
und

*Systemsimulation zum Design nichtlinearer Regler für integrierte aktive Materialien*  
Proceedings Adaptronic Congress, Göttingen 2005

Hanne, Thomas

*Eine Übersicht zum Scheduling von Baustellen*  
Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 74, 2005

Hanne, Thomas

*Application issues for multiobjective evolutionary algorithms*

Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. E. Steuer (Eds.): Practical Approaches to Multi-Objective Optimization, Dagstuhl-Seminar 04461, 2005

Hanne, Thomas, Nickel, Stefan

*A multi-objective evolutionary algorithm for scheduling and inspection planning in software development projects*

European Journal of Operational Research 167, S. 663-678, 2005

Herty M.; Klar, Axel; Pareschi, L.

*General kinetic models for vehicular traffic flow and Monte Carlo methods*

Computational methods in applied mathematics 5(2), S. 155-169, 2005

Hietel, Dietmar; Junk, Michael; Kuhnert, Jörg; Tiwari Sudarshan

*Meshless Methods for Conservation Laws*

Analysis and Numerics for Conservation Laws, Warnecke Gerald (Ed.), Springer, S. 339-362, 2005

Hietel, Dietmar; Marheineke, Nicole

*Modeling and Numerical Simulation of Fiber Dynamics*

Proc. Appl. Math. Mech. 5, S. 667-700, 2005

Hietel, Dietmar; Wegener Raimund

*Simulation of spinning and laydown processes*  
Technical Textiles, 3, 2005

Jancke, Roland; Böhme, Sandra; Clauß, Christoph; Halfmann, Thomas; Schwarz, Peter; Sommer, Ralf; Trappe, Peter

*Modellierungsunterstützung für Mixed-Signal-Systeme durch symbolische Vereinfachung nichtlinearer Blöcke*

Proceedings Analog 2005, Hannover, März 2005

Keck, Rainer; Hietel, Dietmar

*A projection technique for incompressible flow in the meshless finite volume particle method*

Advances in Computational Mathematics 23, S. 143-169, 2005

Kehrwald, Dirk

*Lattice Boltzmann Simulation of Shear-Thinning Fluids*

J. Stat. Phys. 121, 223, 2005; DOI: 10.1007/s10955-005-5963-z

Klar, Axel; Lang, J; Seaid, M.

*Adaptive solutions of SP\_N-Approximations to radiative heat transfer in glass*

Int. J. Thermal Sciences, 44, S. 1013-1023, 2005

Klar, Axel; Seaid, M; Pinnau, R.

*Numerical Solvers for Radiation and Conduction in High Temperature Gas Flows*

J. Flow Turbulence and Combustion, 75, S. 173-190, 2005

Knaf, Hagen; Lang, Patrick; Prätzel-Wolters, Dieter

*Expert Systems in Complementary Oncology*

J. Beuth (editor), Complementary Oncology, Thieme, Stuttgart, 2005

Kohrt, Kristina

*Automatische Qualitätskontrolle – Bildverarbeitung in der Industrie*

Keramische Zeitschrift 2-05, März/April 2005, S. 90-92

Korn, Ralf

*Worst-Case Scenario Investment for Insurers*

Insurance: Mathematics and Economics 36, S. 1-11, 2005

- Korn, Ralf  
*Optimal Portfolios with a positive lower Bound on final Wealth*  
Quantitative Finance 5(3), S. 315-321, 2005
- Korn, Ralf; Menkens, Olaf  
*Worst-Case Scenario Portfolio Optimization: A New Stochastic Control Approach*  
Mathematical Methods of Operations Research 62 (1), S. 123-140, 2005
- Korn, Ralf; Rogers, Chris  
*Stocks paying discrete dividends: modelling and option pricing*  
Journal of Derivatives 13 (2), S. 44-49, 2005
- Lampert, Christoph; Wirjadi, Oliver  
*An optimal non-orthogonal separation of the anisotropic gaussian convolution filter*  
Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 82, 2005
- Lautensack, Claudia; Sych, Tetyana  
*3d image analysis of foams using random tessellations*  
Proceedings of 9th European Congress on Stereology and Image Analysis and 7th STERMAT Zakopane, Volume I, S. 147-153, 2005
- Marheineke, Nicole; Wegener, Raimund  
*Fiber Dynamics in Turbulent Flows, Part I: General Modeling Framework, Part II: Specific Taylor Drag*  
Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 81, 2005
- Melo, Teresa; Saldanha da Gama, Francisco; Silva, Margarida  
*Solving a Dynamic Capacitated Phase-in/Phase-out Location Problem by Benders Decomposition*  
Technical Report 9, Zentrum für Operations Research, Universität Lissabon, 2005
- Norbert Siedow, D. Locheignies, Theodor Grosan, E. Romero  
*Application of a New Method for Radiative Heat Transfer to Flat Glass Tempering*  
J. Am. Ceram. Soc., 88 [8], S. 2181-2187, 2005
- Naumovich, Anna; Iliev, Oleg; Gaspar, Francisco; Lisbona, Francisco; Vabishchevich, Peter  
*On numerical solution for poroelasticity equations in a multilayered domain*  
Math. Modelling and Analysis, Vol. 10, Nr. 3, 2005, S. 287-304
- Nickel, Stefan; Dominguez-Marin, Patricia; Hansen, Peter; Mladenovic, Nenad  
*Heuristic Procedures for Solving the Discrete Ordered Median Problem*  
Annals of Operations Research 136, 2005
- Nickel, Stefan; Hanne, Thomas  
*A Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Scheduling and Inspection Planning in Software Development Projects*  
European Journal of Operational Research 167, 2005
- Nickel, Stefan; Kalcsics, Jörg; Schröder, Michael  
*Towards a Unified Territorial Design Approach – Applications, Algorithms and GIS Integration*  
Sociedad de Estadística e Investigación Operativa 13, 2005
- Nickel, Stefan; Kalcsics, Jörg; Schröder, Michael  
*Towards a Unified Territorial Design Approach – Applications, Algorithms and GIS Integration*  
Sociedad de Estadística e Investigación Operativa TOP 13, S. 1-74, 2005
- Nickel, Stefan; Puerto, J.; Rodriguez-Chia, A.; Weissler, A.  
*Multicriteria Ordered Median Problems*  
Journal of Optimization Theory and Applications 126, 2005
- Nickel, Stefan; Puerto, J.; Rodriguez-Chia, A.  
*MCDM Location Problems, in: J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Annotated Surveys*  
Berlin u.a., Springer 2005
- Nickel, Stefan; Puerto, Justo  
*Location Theory: A Unified Approach*  
Berlin u.a., Springer 2005
- Nickel, Stefan; Puerto, Justo; Rodriguez-Chia, Antonio  
*MCDM Location Problems*  
in: J. Figueira, S. Greco and M. Ehrgott (Eds.): Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art, Annotated Surveys, Berlin u.a., Springer 2005
- Nickel, Stefan; Puerto, Justo; Rodriguez-Chia, Antonio; Weissler, Ansgar  
*Multicriteria Ordered Median Problems*  
Journal of Optimization Theory and Applications 126 (3), S. 657-683, 2005
- Nickel, Stefan; Dominguez-Marin, Patricia; Hansen Pierre; Mladenovic, Nenad  
*Heuristic Procedures for Solving the Discrete Ordered Median Problem*  
Annals of Operations Research 136 (1), S. 145-173, 2005
- Ohser, Joachim; Schladitz, Katja; Koch, Karsten, Nöthe, Michael  
*Diffraction by image processing and its application in materials science*  
Zeitschrift für Metallkunde (96), Nr. 7, S. 731-737, 2005
- Orlik, Julia  
*Homogenization of strength, fatigue and creep durability of composites with near periodic structure*  
Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, Vol. 15, Nr. 9(15), S. 1329-1347, 2005
- Rauhut, Markus  
*Alles dicht? – Vollautomatische Oberflächeninspektion von Dichtungen*  
Qualität und Zuverlässigkeit, Vol. 2, S. 41-43, 2005
- Repsch, Matthias; Huber, Ulrich; Rief, Stefan; Kehrwald, Dirk; Steiner, Konrad  
*Investigations on impregnation effects on a non crimp fiber bed*  
Proceedings IMECE 2005, Orlando, 2005
- Rief, Stefan; Latz, Arnulf; Wiegmann, Andreas  
*Computer simulation of air filtration including electric surface charges in three-dimensional fibrous micro structures*  
Filtech, Wiesbaden, 2005
- Rutka, Vita; Wiegmann, Andreas:  
*Explicit Jump Immersed Interface Method for virtual material design of the effective elastic moduli of composite materials*  
Bericht des Fraunhofer ITWM, Nr. 73, 2005
- Sergiy Pereverzyev, René Pinnau, Norbert Siedow  
*Initial temperature reconstruction for a nonlinear heat equation: application to radiative and conductive heat transfer*  
In D. Lesnic (Ed.): Proceedings of the 5th International Conference on Inverse Problems in Engineering: Theory and Practice, P02, S. 1-8, 2005
- Scherrer, Alexander; Küfer, Karl-Heinz; Bortfeld, Thomas; Monz, Michael; Alonso, Fernando  
*IMRT planning on adaptive volume structures - a decisive reduction in computational complexity*  
Physics in Medicine and Biology, 50, S. 2033-2053, 2005
- Schladitz, Katja  
*Qualitätskontrolle für die Vliesstoffproduktion mit Hilfe von 3D-Bildern*  
Taschenbuch Textil-Industrie, S. 297-303, Schiele & Schön, Berlin, 2005
- Schladitz, Katja; Peters, Stephanie; Reinel-Bitzer, Doris; Wiegmann, Andreas; Ohser, Joachim  
*Design of acoustic trim based on geometric modeling and flow simulation for non-woven*  
Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 72, 2005

Schröder, Michael; Solchenbach, Isabel  
*Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit*  
 Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 84, 2005

Schulz, Volker; Kehrwald, Dirk; Wiegmann, Andreas; Steiner, Konrad  
*Flow, Heat Conductivity, and Gas Diffusion in partly saturated Microstructures*  
 Tagungsband des NAFEMS-Seminars »Die Simulation komplexer Strömungsvorgänge (CFD)«, Niedernhausen bei Wiesbaden, April 2005

Seaid, M.; Klar, Axel  
*Multigrid Solution of Three-Dimensional Radiative Heat Transfer in Glass Manufacturing*  
 Proceedings of ECMI 2004, Progress in Industrial Mathematics, 8, S. 283-287, 2005

Speckert, Michael; Dreßler, Klaus; Mauch, Heiko; Lion, Alexander; Wierda, G.J.  
*Simulation eines neuartigen Prüfsystems für Achserprobungen durch MKS-Modellierung einschließlich Regelung*  
 VDI-Berichte Nr. 1900, 2005

Sudarshan Tiwari; Jörg Kuhnert  
*A Numerical Scheme for solving incompressible and low Mach number flows by Finite Point-set Method*  
 Springer Lect. Notes Comp. Sci. Eng., Vol 43, S. 191-206, 2005

Trinkaus, Hans L., Thomas Hanne  
*knowCube: a Visual and Interactive Support for Multicriteria Decision Making*  
 Computers & Operations Research 32, S. 1289-1309, 2005

Velásquez, Rafael; Ehrgott, Matthias; Ryan, David; Schöbel, Anita  
*A set-packing Approach to routing Trains through Railway Stations*  
 Proceedings of the 40th Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand, 2005

Vogel, Hans-Jörg; Tölke, Jonas; Schulz, Volker; Krafczyk, Manfred; Roth, Kurt  
*Comparison of a Lattice-Boltzmann Model, a Full-Morphology Model, and a Pore Network Model for Determining Capillary Pressure Saturation Relationships*  
 Vadose Zone Journal, Vol. 4, S. 380-388, 2005, doi:10.2136/vzj2004.0114

Wiegmann, Andreas; Latz, Arnulf; Rief, Stefan  
*Virtual Material Design and Air Filtration Simulation Techniques inside GeoDict and FilterDict*  
 American Filtration & Separation Society, Atlanta, 2005

Wirjadi, Oliver; Jablonski, Andreas; Schladitz, Katja; Nöthe, Michael  
*Volumetric Analysis of a Sinter Process in Time*  
 Proc. 27th Annual meeting of the German Association for Pattern Recognition (DAGM), S. 409-416, 2005

Wirjadi, Oliver; Breuel, Thomas  
*Approximate separable 3D anisotropic Gauss filter*  
 IEEE International Conference on Image Processing 2005, Band II, S. 149-152

In diesen Abschnitt wurden auch durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ITWM betreute Graduierungsarbeiten aufgenommen.

Adrien du Moulinet d'Hardemare  
*Statistical classification and programming for Microarrays*  
 Masterarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Ahmed, Danish  
*Parameter Estimation of Nonlinear Systems using an Extended Kalman Filter*  
 Master Thesis, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Ali, Muhammed  
*Efficient Techniques for Computing Principal Logarithm of a Real Matrix*  
 Master Thesis, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Bedolla, Diana  
*Using Epipolar Geometry in Stereo Image Analysis*  
 Masterarbeit, ICTP Trieste, FB MCR

Bornhofen, Sandra  
*The waveform-relaxation method for the numerical solution of differential-algebraic systems*  
 Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Decker, Till  
*Datenklassifikation mittels Bayestechniken*  
 Diplomarbeit, TFH Berlin, FB Mathematik

Dhadwal, Renu  
*Fibre spinning: Model Analysis*  
 Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Dreyer, Alexander  
*Interval Analysis of Analog Circuits with Component Tolerances*  
 Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Duve, Britta  
*Network Voronoi diagrams as a tool to model retail trade areas*  
 Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Frank, Martin  
*Partial moment models for radiative transfer*  
 Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Gerkhardt, Sascha  
*Bewegungsschätzung und Signalrekonstruktion in der Wavelet-Domäne*  
 Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik



- Halim, Siana  
*Räumliche adaptive Erkennung von Störungen in Zeitreihen und stochastischen Prozessen auf Gitter Z2*  
Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Heng, Yi  
*Spectrum Estimation with Dynamical Networks*  
Master Thesis, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Hirschenberger, Falco  
*Schnelle Volumenvisualisierung großer dreidimensionaler Bilddaten unter Verwendung von OpenGL*  
Diplomarbeit, FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, FB Informatik
- Maag, Volker:  
*Parametric Shape Optimization – Convexification Schemes for global Optimization Problems*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Marheineke, Nicole  
*Turbulent Fibers*  
Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Ortrovska, Arina  
*Space-Time Finite Element Approximation and Numerical Solution of Hereditary Linear Viscoelasticity Problems*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Panda, Satyananda  
*The Dynamics of viscous Fibres*  
Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Pop, Rares  
*Modeling and Simulation of the Float Glass Process*  
Promotion, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik
- Ratish Koppireddy, Venkata  
*Robust  $H_\infty$ -Control of a Piezoceramic Actuator*  
Masterarbeit, Universität Siegen
- Rief, Stefan  
*Nonlinear Flow in Porous Media Numerical Solution of the Navier-Stokes System with two Pressures and Application to Paper Making*  
Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Rutka, Vita  
*Immersed Interface Methods for Elliptic Boundary Value Problems*  
Promotion, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Salzig, Christian  
*Controller Design for a nonlinear Plant by NLQ-Theory*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Scheerer, Christian  
 *$H_\infty$ -Control for Sound Power Reduction of Vibrating Plates*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Schuster, Eva  
*A Method to reduce stable discrete and continuous linear Systems preserving their Stability*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Spies, Hendrik  
*Kostenfunktionen und Scheduling von (2D-)Bildverarbeitungsalgorithmen*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Informatik
- Steege, Jörg  
*Hybrid Heuristics for Earliness/Tardiness Scheduling Problems*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Süss, Philipp  
*A dual network simplex algorithm for an extended transshipment problem – flexible algorithms for IMRT delivery*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik
- Unverzagt, Katharina  
*Spectral Analysis of Random Closed Sets - The surface measure associated with a Random closed Set*  
Diplomarbeit, Uni Siegen, FB Mathematik
- von Nida, Markus  
*Meshfree Methods for the Dynamics of Solids*  
Promotion, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik
- Wagner, Björn  
*Entwicklung eines Ansatzes zum hochperformanten Zugriff auf große, verteilte n-dimensionale Bilddaten am Beispiel zweier Kernalgorithmen aus der 3D-Bildanalyse*  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Informatik
- Wolf, Claudia  
*Erstellung eines webbasierten Leitstandes für die industrielle Oberflächeninspektion*  
Diplomarbeit, FH Zweibrücken, FB Informatik
13. Arbeitstagung »Quantitative Bildanalyse«  
Darmstadt, Juni 2005, Vorträge
14. Fachtagung »Kommunikation in verteilten Systemen«  
Kaiserslautern, März 2005, Teilnehmer
2. Landshuter Leichtbau-Colloquium  
Landshut, Februar 2005, Aussteller
20. Hofer Vliesstofftage  
Hof, November 2005, Aussteller und Vortrag
27. DAGM  
Wien (Österreich), September 2005, Poster
27. Heidelberger Bildverarbeitungsforum »Thermographische Bildaufnahme und Bildanalyse«  
Oberkochen, März 2005, Teilnehmer
28. Heidelberger Bildverarbeitungsforum »Automatische visuelle Inspektion komplizierter Oberflächen«  
Weinheim, Juli 2005, Teilnehmer
29. Heidelberger Bildverarbeitungsforum »3D-Bildanalyse«  
Darmstadt, November 2005, Teilnehmer
- 3rd IASC world conference on Computational Statistics & Data Analysis  
Limassol (Zypern), Oktober 2005, Vorträge
4. Thüringer Geometrietag  
Jena, September 2005, Teilnehmer
4. Workshop »Entwurfplattformen komplexer angewandter Systeme und Schaltungen (EkompasS)«  
Hannover, April 2005, Softwarepräsentation Analog Insydes
44. Internationale Chemiefasertagung  
Dornbirn (Österreich), September 2005, Aussteller
- 67th EAGE Conference & Exhibition  
Madrid (Spanien), Juni 2005, Teilnehmer
- 9th European Congress on Stereology and Image Analysis  
Zakopane (Polen), Mai 2005, Poster
- Adaptronic Congress 2005  
Göttingen, Mai/Juni 2005
- Analog 2005  
Hannover, März 2005, Softwarepräsentation Analog Insydes

*Annual European Rheology Conference, April 2005*  
Grenoble, April 2005, Vortrag

*Ausstellung »Mathematik begreifen«*  
Kaiserslautern, September – Oktober 2005,  
Aussteller und Vorträge

*automotive testing expo*  
Stuttgart, Mai/Juni 2005, Teilnahme

*Cellmet*  
Dresden, Mai 2005, Vortrag und Poster

*Control 2005*  
Sinsheim, April 2005, Aussteller

*DVM AK BF »Fügen+BF«*  
Darmstadt, Oktober 2005, Teilnehmer

*FilTech Europe 2005*  
Wiesbaden, Oktober 2005, Aussteller

*Finance Day*  
Universität Mainz, Januar 2005, Teilnehmer

*Foundation of Computational Mathematics*  
Santander (Spanien), Juli 2005, Poster

*Glass Days 2005*  
Kaiserslautern, April 2005, Veranstalter und Vorträge

*IEEE International Conference on Image Processing*  
Genua (Italien), September 2005, Vortrag

*IFAT: Internationale Fachmesse für Wasser-Abwasser-Abfall-Recycling*  
München, April 2005, Teilnehmer

*Index 05*  
Genf, April 2005, Aussteller und Vortrag

*Internatiol Symposium on Locational Decisions (ISOLDE)*  
Sevilla, Vortrag

*International Symposium on Mathematical Morphology*  
Paris, April 2005, Teilnehmer

*Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Finanzwirtschaft*  
Augsburg, Oktober 2005, Teilnehmer

*Jahrestagung der GOR*  
Bremen, September 2005, Vortrag

*MAGMASOFT-User-Meeting*  
Aachen, Oktober 2005, Poster

*Material Innovativ*  
Nürnberg, März 2005, Aussteller

*Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung*  
Stuttgart, Dezember 2005, Projektvorstellung NetMod

*Powder and Grains 2005*  
Stuttgart, Juli 2005, Teilnehmer

*Reifen-Fahrbahn-Fahrwerk*  
Hannover, Oktober 2005, Teilnehmer

*Schüler-Technik-Tag der TU Kaiserslautern*  
Kaiserslautern, Mai 2005, Aussteller

*Seminar »Lastdaten – Analyse, Bemessung und Simulation«*  
Kaiserslautern und Roggenbeuren, Juni 2005, Veranstalter und Vorträge

*Summer school »Open Software for Algebraic and Geometric Computation«*  
Sophia Antipolis (Frankreich), September 2005, Teilnehmer

*Symposium on structural durability*  
Darmstadt, Juni 2005, Teilnehmer

*TechTextil 2005*  
Frankfurt/Main, Juni 2005, Aussteller und Vorträge

*VDI »Erprobung und Simulation«*  
Würzburg, Juni 2005, Vortrag und Aussteller

*Workshop »Analyse von Volumenbildern der Mikrostruktur von Werkstoffen«*  
Kaiserslautern, Februar und April 2005, Veranstalter und Vorträge

*Workshop »Computertomographie und Analyseverfahren für industrielle Anwendungen«*  
Fürth, Dezember 2005, Mitveranstalter und Vorträge

*Workshop »Data Mining im Einsatz – Methoden, Anwendung, Nutzen«*  
Kaiserslautern, März 2005, Veranstalter und Vorträge

*Workshop »Optimierung der IMRT«*  
Kaiserslautern, Januar 2005, Veranstalter

*Workshop »Stochastik Geometry and Spatial Statistics«*  
Freudenstadt, Februar/März 2005, Veranstalter und Vorträge

*Workshop »Zufällige Mosaik und ihre Anwendungen«*  
Karlsruhe, Dezember 2005, Veranstalter und Vorträge

*Workshop »Fibers in Industrial Flow«*  
Göteborg, März 2005, Veranstalter zusammen mit FCC

*Zulieferer-Innovativ*  
Ingolstadt, Juli 2005, Aussteller

- Ahmad, K. (Aligarh, Indien)  
*Anwendung von Wavelets in der Elektrokardiogrammanalyse*  
Mai-Juli 2005
- Bortfeld, Thomas (Massachusetts General Hospital, Boston, USA)  
*4D-Optimierung der Strahlentherapie-Planung*  
Januar 2005
- Brandt, Achi (Weizmann-Institut, Israel, und UCLA, USA)  
*Mehrgitter- und Multiskalenmethoden*  
Juli 2005
- Chen Jin (China)  
*Nichtharmonische Fourieranalyse von Elektroenzephalogrammen*  
Januar – Dezember 2005
- Ciegis, Raimondas (TU Wilna, Litauen)  
*Strömung in porösen Medien und Parallelisierung*  
März 2005
- Cleary, Paul (CSIRO, Australien)  
*Partikelmethode*  
Mai 2002
- Craft, David (Massachusetts General Hospital, Boston, USA)  
*Optimization in IMRT: new ideas*  
Januar 2005
- Ewing, Richard (Texas A&M University, College Station, Texas, USA)  
*Multiskalen- und Multiphysikprobleme im Zusammenhang mit porösen Medien*  
Mai 2005
- Gasser, Ingenuin (Hamburg)  
*Mathematische Modelle zur Beschreibung von Tunnelbränden*  
Juni 2005
- Hinze, Michael (Technische Universität Dresden)  
*Simulationsmethoden in der Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen*  
Februar 2005
- Jenkins, David (CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Mathematical and Information Sciences, Australien)  
*Optimal spacing and penetration of regular crack arrays in shrinking solids*  
Juni 2005
- Klöppel, Susanne (ETH Zürich, Schweiz)  
*Duale Methoden in der Portfolio-Optimierung*  
Oktober 2005
- Kopfer, Herbert (Universität Bremen, Lehrstuhl für Logistik)  
*Transportation Optimization by Freight Consolidation and Vehicle Routing*  
September 2005
- Krause, Rolf (Institut für numerische Simulation, Universität Bonn und DFG Forschungszentrum «Matheon», Berlin)  
*Effizienz durch Lokalisierung – Diskretisierungs- und Lösungsmethoden für Variationsungleichungen*  
Februar 2005
- Krumke, Sven (Technische Universität Kaiserslautern, Arbeitsgruppe Optimierung)  
*Optimierung für die Gelben Engel*  
Januar 2005
- Kudryavtsev, Alexey N. (Russische Akademie der Wissenschaften, Novosibirsk, Russland)  
*Numerische Simulation kompressibler Strömungen*  
Dezember 2005
- Lazarov, Raytcho (Texas A&M University, College Station, Texas, USA)  
*Numerische Methoden für partielle Differentialgleichungen*  
Dezember-Juli 2006
- Margenov, Svetozar (Institut für Parallele Datenverarbeitung, Sofia, Bulgarien)  
*Mehrskalmodellierung menschlicher Knochen*  
Dezember 2005
- Osterrieder, Jörg (ETH Zürich)  
*Diverse Portfolios*  
Oktober 2005
- Popov, Petr (Texas A&M University, College Station, Texas, USA)  
*Modellierung und Simulation von Strömungen in deformierbaren porösen Medien*  
April-Juni 2005
- Rasclé, Michel (University Nice Sophia-Antipolis, Frankreich)  
*Coupling of Systems of Hyperbolic Equations*  
Juni 2005
- Rybak, Irina (Institut für Mathematik, Minsk, Weißrussland)  
*Numerisches Upscaling*  
Februar 2005, Mai 2005, November-Dezember 2005
- Särkkä, Aila (Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden)  
*Vortrag: Analyzing spatial mapped point patterns*  
Oktober 2005
- Schweizer, Martin (ETH Zürich)  
*Zusammenhang zwischen Assets und Zinsen*  
Oktober 2005
- Starikovicius, Vadimas (TU Wilna, Litauen)  
*Simulation granularer Strömungen*  
April-Juni 2005
- Stein, Oliver (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Lehrstuhl C für Mathematik, Aachen)  
*Design centering from a semi-infinite perspective*  
November 2005
- Strömberg, Ann-Brith, Hooks, Erik (Fraunhofer-Chalmers Centre for Industrial Mathematics, Göteborg, Schweden)  
*Übersicht über FCC-Projekte*  
Januar 2005
- Tammer, Christiane (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Optimierung und Stochastik)  
*Ein Proximal-Point-Algorithmus zur Lösung von Approximationsproblemen*  
Oktober 2005
- Wagner, Peter (Institut für Verkehrsforschung, DLR, Berlin)  
*Microscopic traffic flow models for large traffic networks*  
Juni 2005
- Wilmott, Paul (London, Großbritannien)  
*Volatility Arbitrage*  
Oktober 2005
- Wissel, Jörg (ETH Zürich, Schweiz)  
*Implied term structure models for volatility*  
Oktober 2005

# Mitarbeit in Gremien, Herausgebertätigkeit

Ettrich, Norman

- Geophysics (Gutachter)
- Geophysical Prospecting (Gutachter)

Hanne, Thomas

- Mitglied im Programmkomitee bei:
- EMO 2005, Third International Conference on Evolutionary Multi-Criteria Optimization, March 9-11, 2005, Guanajuato, Mexico
- ISC'2005, Industrial Simulation Conference 2005, June 9-11, 2005, Berlin, Germany
- GECCO 2005, Genetic and Evolutionary Computation Conference, June 25-29, 2005, Washington, D.C., USA

Kehrwald, Dirk

- Journal of Statistical Physics (Gutachter)
- Wissenschaftlich-Technischer Rat der Fraunhofer-Gesellschaft (stellv. Mitglied)

Klar, Axel

- SIAM J. Numerical Analysis (Editor)
- Journal of Applied Numerical Analysis and Computational Mathematics (Editor)
- Annales de la Faculte des Sciences de Toulouse (Editor)

Korn, Ralf

- Vorstandsmitglied DGVMF
- Mathematical Methods of Operations Research (Associate Editor)
- Mathematical Finance (Associate Editor)
- Landesexzellenzcluster Dependable Adaptive Systems and Mathematical Modeling (Sprecher)
- Dekan des Fachbereichs Mathematik der TU Kaiserslautern

Küfer, Karl-Heinz

- Arbeitsgruppe »OR im Gesundheitswesen« der GOR (Vorsitz)
- Mathematics of Operations Research (Gutachter)
- Medical Physics (Gutachter)
- OR Spectrum (Guest Editor)
- Zentralblatt für Mathematik (Reviewer)
- Mathematical Programming (Gutachter)

Latz, Arnulf

- Journal of Physics (Gutachter)
- Journal of Chemical Physics (Gutachter)

Lavrov, Alexander

- Arbeitsgruppe »Praxis der mathematischen Optimierung“ der GOR (stellvertretender Vorsitzender)
- Fachausschuss »Modellbildung« des VDI (Mitglied)

Müller, Marlene

- Computational Statistics (Associate Editor)
- Mitglied des BoD der European Regional Section der International Association for Statistical Computing (IASC)

Neunzert, Helmut

- European Journal of Applied Mathematics (Editorial Board)
- Monte Carlo Methods and Application (Editorial Board)
- Springer Series on Industrial Mathematics (Editorial Board)
- Internationale Jury für Wittgenstein- und Startpreise in Wien (Mitglied)
- Internationale Jury des Programms »Mathematik und ...« des Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds WWTF (Vorsitzender)
- Evaluierungskommission Mathematik im Projekt »Evaluierung der Lehre« der TU Kaiserslautern und der ETH Zürich
- Fellow der Royal Society of Edingburgh, seit Juni 2003

Nickel, Stefan

- European Journal of Operational Research (Gutachter)
- OR Spectrum (Gutachter)
- Mathematical Programming (Gutachter)
- Zentralblatt für Mathematik (Reviewer)
- Mathematical Reviews (Reviewer)
- IEEE Transactions (Gutachter)
- Annals of OR (Gutachter)
- Omega (Gutachter)
- Networks (Gutachter)

- Operations Research Letters (Associate Editor)
- Computers & Operations Research (Editorial Board)

Oleg, Iliev

- J. Comp. Meth. Appl. Math. (Redakteur)
- Math. Modelling and Analysis (Redakteur)
- LNCS, Springer (Gutachter)

Prätzel-Wolters, Dieter

- ECMI – Council
- GAMM-Fachausschuss »Dynamik und Regelungstheorie«
- MACSI-net – Executive Committee
- Mitglied des Graduiertenkollegs »Mathematik und Praxis« der Technischen Universität Kaiserslautern
- Mitglied des rheinland-pfälzischen Landesschwerpunkts »Mathematik und Praxis«
- Mitglied der Hauptkommission der Fraunhofer-Gesellschaft

Rösch, Ronald

- Fraunhofer Allianz Vision (Mitglied)
- Arbeitskreis Bildanalyse und Mustererkennung Kaiserslautern (Mitglied)
- FIT Leichtbau (Mitglied)
- Master-Studiengang »Computer Vision and Computational Intelligence«, FH Südwestfalen (Gutachter)

Schladitz, Katja

- Leichtbau-Cluster (Mitglied)
- Journal of Microscopy (Gutachter)
- Image Analysis & Stereology (Gutachter)
- Advances of Applied Probability (Gutachter)

Steiner, Konrad

- European Journal for Applied Mathematics, »Surveys on Mathematics for Industry« (Gutachter)

Wenzel, Jörg

- Zentralblatt für Mathematik (Reviewer)

Wiegmann, Andreas

- Numerical Algorithms (Gutachter)
- Numerical Methods for Partial Differential Equations (Gutachter)
- SIAM Journal on Numerical Analysis (Gutachter)
- Wiener Wissenschaftstransfer (Gutachter)







## Kontakt

Fraunhofer-Institut für Techno-  
und Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

Telefon: +49(0)6 31/3 1600-0

Telefax: +49(0)6 31/3 1600-1099

E-Mail: [info@itwm.fraunhofer.de](mailto:info@itwm.fraunhofer.de)

Internet: [www.itwm.fraunhofer.de](http://www.itwm.fraunhofer.de)