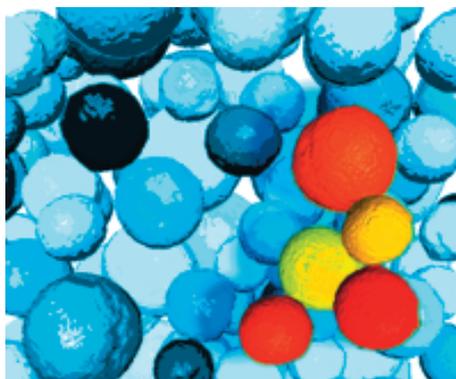
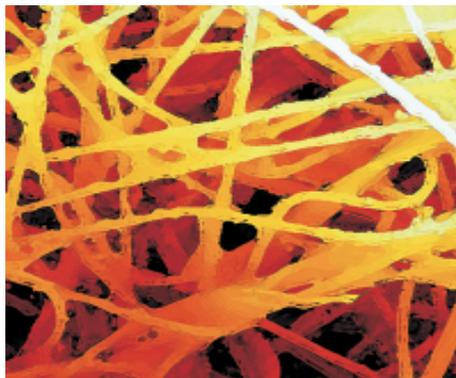
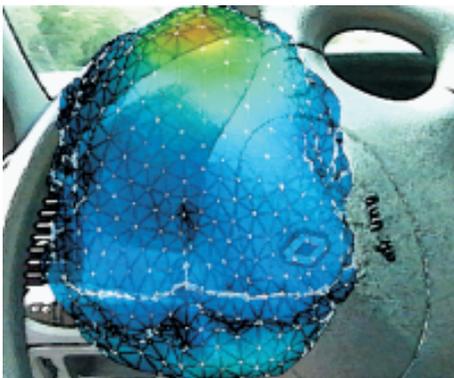




**Fraunhofer** Institut  
Techno- und  
Wirtschaftsmathematik

# Jahresbericht 2000



Jahresbericht 2000

Fraunhofer-Institut  
für Techno- und  
Wirtschaftsmathematik ITWM

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2001

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 Zurverfügungstellung der entsprechenden Bilder.

Dieser Jahresbericht erscheint auch in englischer Sprache.

Adresse Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 49  
D-67663 Kaiserslautern

Telefon +49 (0) 6 31/2 05-41 41

Fax +49 (0) 6 31/2 05-41 39

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

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

Redaktion und Gestaltung Juliette Ambrecht  
Steffen Grützner  
Cäcilie Kowald  
Marion Schulz-Reese

Druck Rohr Druck GmbH  
Kaiserslautern



Juliette Ambrecht



Steffen Grützner



Cäcilie Kowald



Marion Schulz-Reese

# Inhaltsverzeichnis

	
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Das Institut im Profil</b>	<b>8</b>
Projekt-Highlights	10
Internationale Aspekte	12
Kunden und Kooperationspartner	14
<b>Das Institut in Zahlen</b>	<b>15</b>
<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick</b>	<b>17</b>
<b>Abteilung Transportvorgänge</b>	<b>18</b>
Strömungsdynamik	20
Partikelmethoden für kompressible und inkompressible Strömungen	23
Strahlungstransport	26
Kinetik	29
Simulationsbasierte Regelung und Optimierung	30
<b>Abteilung Strömung in komplexen Strukturen</b>	<b>34</b>
Simulation poröser Materialien	36
Virtuelles Materialdesign	40
Füll- und Gießprozesse	44
Hochwasser- und Risikomanagement	48
Parallel Computing und Visualisierung	49
<b>Abteilung Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung</b>	<b>52</b>
Oberflächeninspektion	54
Räumliche Bildanalyse und Modellierung von Mikrostrukturen	58
Datenkompression mit Waveletmethoden	62
Kryptographie	63

Signalanalyse im Eisenbahnbereich	64
<b>Abteilung Adaptive Systeme und Finanzmathematik</b>	<b>66</b>
Analog Insydes: Rechnergestützte Verfahren für den Entwurf analoger Schaltungen	68
Adaptive Systeme in medizinischer Diagnose und Prognose	70
Modellbasierte Überwachung und Regelung mechatronischer Systeme	74
Materialmodelle	77
Finanzmathematik	79
<b>Abteilung Optimierung</b>	<b>82</b>
Innerbetriebliche Logistik	84
Überbetriebliche Logistik	86
Verkehrsplanung	89
Ressourcenoptimierung im sozialen Sektor	91
<b>Anhang</b>	<b>93</b>
Vorträge	93
Publikationen	95
Graduierungsarbeiten	98
Messebeteiligungen und Konferenzen	99
Gastvorträge	100
Mitarbeit in Gremien, Herausgeberebetätigung	101
<b>Das Jahr 2000 im Rückblick</b>	<b>102</b>

Das Jahr 2000 war das wichtigste Jahr in der noch jungen Geschichte des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik. Es markiert den Abschluss einer dynamischen Aufbauphase, an deren Anfang, am 9. November 1995, die Gründung des ITWM als Landesinstitut mit einem gemeinnützigen Verein als Träger stand. Inzwischen sind fünf Jahre intensiver Forschung und Projektarbeit vergangen. Ich glaube, wir können heute mit Recht sagen, der Bogen von der Wissenschaft im Elfenbeinturm zu einer Schlüsseltechnologie für wirtschaftliche und technische Innovationen wurde erfolgreich gespannt, die Fraunhofer-Philosophie, angewandte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft zu betreiben, konsequent umgesetzt. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat dies mit ihrem Senatsbeschluss, das ITWM zum 1.1.2001 als 48. Institut in die Gesellschaft aufzunehmen, bestätigt.

Das ITWM ist als Mathematikinstitut einer der ältesten Wissenschaften überhaupt verpflichtet, die besonders stark durch systemimmanente Entwicklungstendenzen geprägt ist und auch als spannendes und phantasievolles Spiel ihre besondere Attraktivität besitzt. Gleichzeitig stehen wir am Beginn einer neuen Karriere in der Fraunhofer-Gesellschaft, einer der größten und erfolgreichsten angewandten Forschungsorganisationen der Welt. Die Basis für diesen Spagat bildet eine dramatische Veränderung der Relevanz von Mathematik für Produktions-, Dienstleistungs-, Informations- und Kommunikationsprozesse in der modernen Industriegesellschaft. Die Mathematik ist heute mehr denn je zu einem unersetzlichen Hilfsmittel der Naturwissenschaft und Technik mit stetig wachsender Bedeutung für die Wirtschafts-, Sozial- und Lebenswissenschaften geworden. Das ITWM sieht in der Mathematik eine Schlüssel-

technologie, die auf der gleichen Stufe mit anderen Technologien wie etwa der Nano- oder Biotechnologie genannt werden sollte. Dies mag auf den ersten Blick als eine kühne Konstruktion erscheinen, zumindest besitzt sie Erklärungsbedarf. Sicherlich benutzen die Naturwissenschaftler die Mathematik seit Jahrtausenden als Hilfsmittel, als Sprache, in der sie ihre Theorien formulieren, und sie bildet die Basis für die Berechnungen der Ingenieure. So ist sie zumindest ein Rohstoff, der Rohstoff von Modellen, die dann in Technik umgesetzt werden. In den Rang einer Technologie erhoben wurde die Mathematik durch den Computer. Der Computer ist in gewisser Weise die reinste Form von Technik gewordener Mathematik. Die Mathematik hat sich im Computer materialisiert und ist gleichzeitig der Geist jeder Computersimulation. Simulationen benötigen Modelle, Algorithmen zu ihrer Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse. Wenn man genauer hinsieht, dann ist die Basis, sozusagen der »Quellcode« dieser Arbeitsschritte, immer Mathematik. Computer haben unsere Welt verändert. Sie sind im Sinne des Kulturphilosophen Illich zu einem universellen, einem konvivialen Werkzeug geworden. Computersimulationen stellen heute das wesentliche Werkzeug zur Gestaltung und Optimierung von Produkten und Arbeitsprozessen dar. Reale Modelle werden durch virtuelle Modelle ersetzt. Mathematik bildet als Rohstoff und Schlüsseltechnologie das Fundament für den Brückenschlag in diese zweite Welt - die virtuelle Simulationswelt -, die in nahezu allen Bereichen der Gesellschaft und Wirtschaft Fuß gefasst hat.

Das Hauptbetätigungsfeld des ITWM besteht in diesem Kontext darin, anwendbare Mathematik mit Methoden der mathematischen Modellierung und des wissenschaftlichen Rechnens in wirklich angewendete Mathematik

umzusetzen, Theoreme und Algorithmen an Modelle, die aus der Praxis kommen, anzupassen, theoretisch existierende optimale Lösungen in praktikable Lösungen zu verwandeln. Dabei bilden die klassischen Disziplinen der angewandten Mathematik, wie Numerik, Differentialgleichungen, Stochastik und Optimierung, unsere Basiskernkompetenzen, die ergänzt werden durch weitere Theoriefelder, die sich als stark mathematisch orientierte Grenzgebiete zwischen Mathematik und Technologie herauskristallisiert haben. Mit diesen Kompetenzen hat das ITWM seit seiner Gründung über 200 verschiedene Projekte in seinen zentralen Geschäftsbereichen

- virtuelles Material- und Produktdesign,
- Simulation und Optimierung von Prozessen der Technik und Logistik,
- Diagnosesysteme in der Qualitäts- und Prozesskontrolle und der Medizin

durchgeführt. Partner sind Firmen aus den verschiedensten Branchen, von der Automobil- und Luftfahrtindustrie über den klassischen Maschinenbau bis zu Elektronikunternehmen und Firmen der textilen Kette. Intensive Kooperationen gibt es allerdings auch mit Dienstleistern – wie der Deutschen Bundesbahn und der Lufthansa – sowie mit kleinen und mittelständischen Unternehmen, viele aus der Region um Kaiserslautern. Hier kommt die Beratungskompetenz und das Supportangebot des ITWM besonders zur Geltung. Der Technologietransfer des Instituts besteht darin, an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und Mathematikanwendung eigene »inhouse«-Algorithmen und Softwaretools zu pflegen und neue Simulationssoftware, zum Teil in Kooperation mit führenden Softwarefirmen, zu entwickeln.

Thematisch stand 2000 die kontinuierliche Weiterentwicklung von Kernkompetenzen und die erfolgreiche Bearbeitung schon früher gestarteter Projekte im Vordergrund. Aber es gab auch echte Erweiterungen des wissenschaftlichen Know-hows. An prominenter Stelle ist hier die Finanzmathematik zu nennen. Die moderne Finanzmathematik ist eines der zur Zeit am stärksten bearbeiteten mathematischen Arbeitsgebiete mit großer Praxisrelevanz. Die den Modellen des Aktienhandels und Risikomanagements zugrunde liegende Mathematik umfasst sowohl stochastische Prozesse, Differentialgleichungen und Integrationstheorie als auch Methoden der parametrischen und nicht-parametrischen Statistik. Das ITWM sieht auf diesem Gebiet ein großes Erfolgspotential und hat im Jahr 2000 damit begonnen, in der Abteilung Adaptive Systeme einen Schwerpunkt Finanzmathematik aufzubauen. Ziel ist eine eigenständige Abteilung. Mittelfristig strebt das ITWM an, über die Zusammenarbeit mit Banken und größeren Unternehmensberatungen hinaus der Partner für KMUs aus dem Finanzdienstleistungsbereich im Hinblick auf wissenschaftliche Beratung und Softwareentwicklung zu werden. Der zu erwartende Technologietransfer erstreckt sich auf die Gebiete der Ertrags- und Risikosteuerung sowie auf den Einsatz und die Bewertung und Neuentwicklung strukturierter derivativer Finanzprodukte.

Hinsichtlich der Fraunhofer-Gesellschaft war das Jahr 2000 sicherlich durch den weiteren Integrationsprozess geprägt. Viele Institutsleiter begegneten uns mit Sympathie und großem Wohlwollen. Besonders aktive Unterstützung erfuhren wir von Herrn Encarnação vom Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Herrn Sommer vom Institut für Werkstoffmechanik IWM und Herrn Müller vom Institut für Silicatforschung ISC. Wir wurden

allerdings als jüngstes Institut der Fraunhofer-Gesellschaft sofort in die Turbulenzen um die Fusion mit der GMD einbezogen, da wir methodisch zwar eindeutig dem IuK-Bereich zuzurechnen sind, andererseits jedoch unser Angebotsprofil in der Softwareentwicklung eine starke Affinität zu den Fraunhofer-Instituten im Bereich der Werkstoffkunde und Produktionstechnik besitzt. Ähnliches gilt für unsere industriellen Partner. Neben großen Firmen im IuK-Bereich wie Infineon oder SAP gehören viele kleine und mittelständischen Unternehmen z. B. in der Papierindustrie, Gießereibetriebe oder Vlieshersteller dazu. Wie immer im Leben muss man sich, sofern man die Freiheit hat, entscheiden, und das ITWM hat mit dem Beitritt zum IuK-Verband seine Wahl getroffen. Erleichtert wurde diese Entscheidung durch unser gutes Verhältnis zu einigen GMD-Instituten, insbesondere zum SCAI und seinem Leiter Herrn Trottenberg. Allerdings werden wir auch weiterhin mit den anderen Instituten der Gesellschaft eng zusammenarbeiten und versuchen, unser eigenes Profil in diesem Spannungsfeld zu bewahren.

Das gesellschaftliche Highlight war der Festakt am 9.11.2000 anlässlich des Übergangs in die Fraunhofer-Gesellschaft. Zu diesem Anlass konnten wir viele unserer Geschäftspartner, Freunde und Förderer begrüßen und mit ihnen zusammen dieses für uns so wichtige Ereignis feiern. Eine hierfür erstellte Festschrift dokumentiert sehr schön unseren Weg in die Fraunhofer-Gesellschaft.

Mit dem Eintritt in die Fraunhofer-Gesellschaft fand aber auch ein Wechsel in der Leitung des ITWM statt. Professor Neunzert ist am 1.7.2000 aus der Leitung ausgeschieden. Er hat diesen Schritt bewusst ein Jahr vor seinem altersbedingten Ausscheiden getan. Sicherlich wäre es für ihn eine beson-

dere Genugtuung gewesen, als Leiter eines Fraunhofer-Instituts für Mathematik zumindest noch einige Monate die Früchte seiner Aufbauarbeit zu ernten. Aber er hat in der ihm eigenen konsequenten Orientierung an dem, was er für »sein« Institut am besten hält, die Leitung vorzeitig an seinen Nachfolger übergeben. Für uns eine Entscheidung, die wir in besonderer Weise als Verpflichtung begreifen, auf dem gemeinsam eingeschlagenen Weg konsequent weiter voranzugehen. Ohne seine Tatkraft, seinen Optimismus und seinen unermüdlichen Einsatz gäbe es heute kein Fraunhofer-Institut für Mathematik. Er hat sein Ziel, das ITWM in die Fraunhofer Gesellschaft zu überführen, mit Beharrlichkeit, fachlicher und visionärer Kompetenz und großem Verhandlungsgeschick verfolgt. Hierfür danken wir ihm und bauen darauf, dass er auch in den nächsten Jahren dem ITWM insbesondere in Fragen des wissenschaftlichen Austausches und der internationalen Kooperationen mit Rat und Tat zur Seite stehen wird.

Unser Dank gilt auch allen Freunden und Geschäftspartnern, die Vertrauen in uns gesetzt und uns auf dem Weg in die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt haben. Das Land Rheinland-Pfalz hat durch seine großzügige Förderung unserer Aufbauphase und die übernommenen finanziellen Verpflichtungen im Verlauf der weiteren Integration in die Fraunhofer-Gesellschaft die Basis für den Erfolg des ITWM gelegt. Unser besonderer Dank gilt hierbei unserem Minister für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung, Herrn Professor Zöllner und seinem Stab, der uns mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat und bei vielen Problemen schnelle und unbürokratische Unterstützung gewährte. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat uns in vielfältiger Weise aktiv beim Eingliederungsprozess geholfen. Die Universität Kaiserslautern und hier insbesondere

der Fachbereich Mathematik haben durch vielfältige Kooperationsangebote zu einer engen Vernetzung in Forschung und Lehre beigetragen. Der inzwischen ausgeschiedene Leiter der Fraunhofer-Management-Gesellschaft Dr. Deuster hat uns behutsam an die »Denke« der Fraunhofer-Gesellschaft herangeführt und mit vielen wertvollen Ratschlägen geholfen, unnötige Fehler zu vermeiden. Das Kuratorium des ITWM und die Evaluierungskommission haben durch ihre Empfehlungen nachhaltigen Einfluss auf die Entwicklung des ITWM gehabt. Unserer besonderer Dank gilt hier Professor Maaß, der beide Gremien mit großem Engagement und mit viel Umsicht geführt hat.

Die Stadt Kaiserslautern hat im Jahr 2000 durch den Ankauf eines großen Grundstückareals für die Ansiedlung der Fraunhofer-Institute eine wesentliche Hürde für die Realisierung eines Institutsneubaus aus dem Weg geräumt. Wir hoffen, dass die Bereitstellung der finanziellen Mittel für das Bauvorhaben seitens des Landes Rheinland-Pfalz und der Fraunhofer-Gesellschaft jetzt zügig erfolgen wird.

Abschließend möchte ich unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meine Anerkennung und meinen Dank für die geleistete Aufbauarbeit aussprechen. Das ITWM ist als Mathematikinstitut ohne wesentliche Laborausstattungen im Spannungsfeld zwischen Forschung und Technologietransfer in besonderer Weise auf sein »human capital« angewiesen. Die Ideen und Kompetenzen unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bilden den Lebensnerv des Instituts. Ihr Einsatz und ihre Selbstverpflichtung unseren Zielen und Visionen gegenüber haben den Erfolg des ITWM erst wirklich möglich gemacht

Der vorliegende Jahresbericht soll Ihnen einen Überblick über unsere Forschung und die Projektarbeit in 2000

geben. Wir freuen uns weiterhin auf eine fruchtbare und erfolgreiche Zusammenarbeit mit unseren Partnern und Freunden in den kommenden Jahren. Wir sind zuversichtlich, dass wir auch in Zukunft dem uns entgegengebrachten Vertrauen und den Erwartungen der Fraunhofer-Gesellschaft gerecht werden.



Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters, Institutsleiter

## Ziele

Abbilder der realen Welt in die virtuelle Welt der Modelle und der Software zu schaffen und diese zur Problemlösung zu nutzen, hat heute eine zentrale Bedeutung erlangt und erfasst alle Industriebereiche von der Raumfahrt bis zur Textilindustrie.

Mathematik ist die Technologie, die notwendig ist, um diese Abbilder zu schaffen und effizient in Software umzusetzen, der Rohstoff der Modelle und der Kern jeder Computersimulation. Mission und Aufgabe des ITWM ist es, diese Technologie weiterzuentwickeln, innovative Anstöße zu geben und gemeinsam mit Industriepartnern praktisch umzusetzen.

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 spielt für das ITWM die enge Anbindung an den Fachbereich Mathematik der Universität Kaiserslautern eine besondere Rolle.

## Kurzportrait

Das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik wurde 1995 von Mitgliedern der Arbeitsgruppe Technomathematik der Universität Kaiserslautern gegründet. Als Forschungseinrichtung des Landes Rheinland-Pfalz stand es von Beginn an unter Fraunhofer Verwaltung und strebte eine Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft an. Nach einer erfolgreichen Evaluation 1999 wurde das ITWM mit Beginn des Jahres 2001 als erstes mathematisches Forschungsinstitut Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft.

Am ITWM haben sich heute drei Geschäftsbereiche etabliert:

- Virtuelles Material- und Produktdesign,
- Simulation und Optimierung von Prozessen der Technik und Logistik,
- Diagnosesysteme in der Qualitäts- und Prozesskontrolle und in der Medizin.

80 Wissenschaftler - vorwiegend Mathematiker und Physiker - befassen sich in fünf Abteilungen mit Forschungs- und Anwenderproblemen mit besonderem Fokus auf mittelständische Unternehmen. Das ITWM verzichtet dabei auf den breiten Einsatz eigener Experimentier- und Messeinrichtungen.

Die Produkte reichen von in Software gegossenem Know-how über Beratungs- und Supportangebote bis hin zu Systemlösungen. Das ITWM nutzt nicht nur Simulationssoftware, sondern es entwickelt sie selbst, oft in Zusammenarbeit mit führenden Softwarefirmen.

Unsere Kooperationspartner sind Firmen aus den verschiedensten Branchen, von der Automobil- und Luftfahrtindustrie über den klassischen Maschinenbau bis hin zu Elektronikunternehmen und Firmen der gesamten textilen Kette. Dienstleister wie die Bundesbahn, die Lufthansa gehören ebenso zum Spektrum wie Forschungsinstitute und Einrichtungen des sozialen Systems.

Das ITWM ist heute die Speerspitze der Mathematik in der Industrie und will diese Position stärken und ausbauen.

## Organigramm

Institutsleitung	Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters	+49 (0) 6 31/2 05-44 42
Führungskreis	Bereichsleiter	Prof. Dr. Horst W. Hamacher +49 (0) 6 31/2 05-44 71
	Internationale Angelegenheiten, wissenschaftlicher Austausch	Prof. Dr. Helmut Neunzert +49 (0) 6 31/2 05-27 46
	Bereichsleiter	Dr. Franz-Josef Pfreundt +49 (0) 6 31/2 05-27 44
	Verwaltungsleiterin	Dr. Marion Schulz-Reese +49 (0) 6 31/2 05-41 40
	Abteilungsleiter	Dr. Raimund Wegener +49 (0) 6 31/2 05-39 26
Abteilungen	Transportvorgänge	Dr. Raimund Wegener +49 (0) 6 31/2 05-39 26
	Strömung in komplexen Strukturen	Dr. Konrad Steiner +49 (0) 6 31/2 05-40 80
	Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung	Dr. Ronald Rösch +49 (0) 6 31/3 66 81-29
	Adaptive Systeme und Finanzmathematik	Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters +49 (0) 6 31/2 05-44 42 Dr. Patrick Lang +49 (0) 6 31/2 05-28 33
	Optimierung	PD Dr. Stefan Nickel +49 (0) 6 31/2 05-45 58
Zentrale Bereiche	Leitung	Dr. Marion Schulz-Reese +49 (0) 6 31/2 05-41 40
	EDV	Dieter Eubell +49 (0) 6 31/2 05-44 43
	Presse- und Öffentlichkeitsarbeit	Dipl.-Math. Steffen Grützner +49 (0) 6 31/2 05-32 43 Cäcilie Kowald +49 (0) 6 31/2 05-23 37

## Kompetenzen und Arbeitsschwerpunkte

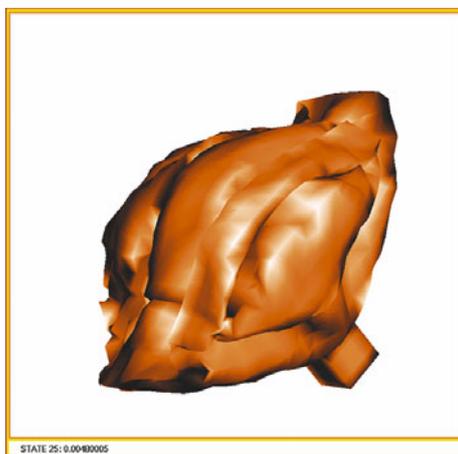
- Strömungsdynamik:
  - Interaktion von Strömung mit flexiblen Strukturen
  - Software-Erweiterungen für FLUENT®, CFX®
- Partikelverfahren für kompressible und inkompressible Strömungen:
  - Airbagentfaltung
  - Betankungsvorgänge
- Strahlungstransport:
  - Abkühlen von Glas
  - Strahlungstransport in biologischem Gewebe
- Kinetik:
  - verdünnte Gasströmungen
  - Verkehrsablaufmodelle
- Simulationsbasierte Regelung und Optimierung:
  - Probleme aus Glas- und Zementindustrie
  - Lautsprecherbau
- Simulation poröser Medien:
  - Feuchte- und Wärmetransport
  - Filtration und Filterauslegung
- Virtuelles Materialdesign:
  - Mikrostruktursimulation
  - Berechnung von Materialeigenschaften (Strömungswiderstand, akustische Absorption)
- Füllprozesse:
  - Gießereisimulation
  - Spritzgießen faserverstärkter Kunststoffe
- Hochwasser- und Risikomanagement städtischer Entwässerungssysteme
- Oberflächeninspektion:
  - Strukturierte und farbige Oberflächen (u.a. Holz, Papier, Stahl)
- 3D-Bildanalyse:
  - Geometrische Charakterisierung von 3D-Strukturen
  - Modellierung von Mikrostrukturen
  - 3D-Bildverarbeitung
- Bild- und Videokompression mit Wavelet-basierten Methoden
- Autonom arbeitende Überwachungssysteme
- Anlogschaltungen:
  - Symbolische Analyse
  - Numerische Simulation
- Diagnose- und Prognosesysteme:
  - Data Mining
  - Medizindiagnostik
- Mechatronische Systeme:
  - Steuerung und Regelung
  - Systemidentifikation
- Materialmodelle
  - viskoelastische Materialien mit Gedächtnis
  - Homogenisierungsverfahren für Verbundwerkstoffe
- Finanzmathematik:
  - Portfoliooptimierung
  - Optionsbewertung
  - Finanzzeitreihen
- Innerbetriebliche Logistik:
  - Materialflussplanung
  - Simulation
  - Online-Optimierung
- Überbetriebliche Logistik:
  - Standortplanung
  - Supply-Chain Management
- Verkehrsplanung:
  - Tarifplanung
  - Anschluss-Sicherung
- Ressourcenoptimierung im sozialen Sektor:
  - Krankenhauslogistik
  - Evakuierungsplanung

## Simulation des Aufblasvorgangs eines Airbags

Um Autoinsassen bei Unfällen wirkungsvoll zu schützen, ist die adäquate Entfaltung der vorhandenen Airbags von entscheidender Bedeutung. Da Crash-Versuche in der Automobilindustrie immer stärker durch Simulationen begleitet werden, ist die Einbeziehung der Airbagentfaltung in diese Simulationen notwendig.

Die ESI Group, Paris, bietet ein breitgefächertes Tool in diesem Marktsegment an, in das nun die Airbagentfaltung auf Basis der am ITWM entwickelten Partikelmethode einbezogen werden soll. Die besondere Herausforderung in diesem Projekt ist die Behandlung des sich prozessbegleitend vollständig ändernden Strömungsgebiets. Hier konnte das am ITWM entwickelte gitterfreie Partikelverfahren (SPH) seine spezifischen Vorzüge bei der Lösung strömungsdynamischer Probleme mit zeitlich veränderlicher Geometrie eindrucksvoll nachweisen.

Abteilung »Transportvorgänge«  
(siehe Seite 24)

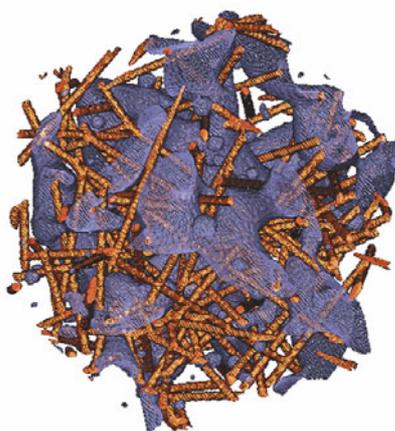


## Virtuelles Materialdesign durch Mikrostruktursimulation

Das virtuelle Materialdesign durch Mikrostruktursimulation unterstützt die Entwicklung neuer und dient der Verbesserung existierender Werkstoffe wie Schäume, Vliese, Papiere, Filze und Keramiken.

Räumliche Realisierungen von Materialmodellen werden im Computer erzeugt. Durch spezielle numerische Verfahren, nämlich die für Strömungen in komplexen Geometrien besonders geeignete Lattice-Boltzmann-Methode, und mittels des mathematischen Werkzeugs der Homogenisierung werden makroskopische Materialeigenschaften (Durchlässigkeit, Kapillardruck, Schallabsorption) berechenbar. Durch Änderungen am Modell lassen sich die Abhängigkeiten der Materialeigenschaften von Herstellungsparametern simulieren. Somit können jetzt Materialien im Computer designed werden.

Abteilung »Strömung in komplexen Strukturen« (siehe Seite 40)

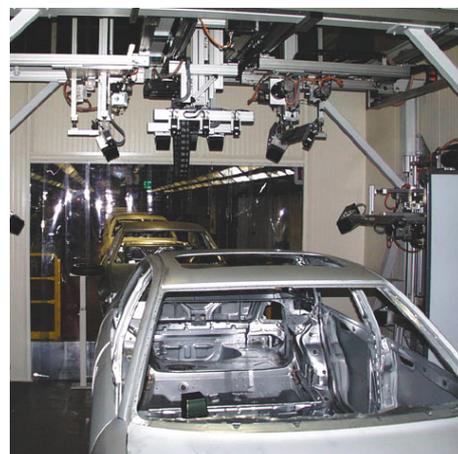


## ABIS: Automatic Body Inspection System

Im Projekt ABIS wurde ein System entwickelt, das nahezu unsichtbare Oberflächenfehler an einer Rohkarosserie automatisch erkennt, klassifiziert und markiert.

Eine Fortpflanzung derartiger Fehler in die Lackierprozesse kann so verhindert werden. Zu diesem Zweck wurden ein optisches Meßsystem zur Sichtbarmachung von Blechfehlern wie z. B. Delen oder Beulen, ein Softwarepaket mit Einsatz modernster Softwaretechnik zur Erkennung von Oberflächenfehlern und die entsprechende Systemtechnik zur Automatisierung der einzelnen Funktionen (Messung, Erkennung, Klassifizierung, Markierung usw.) entwickelt. Das System ist lernfähig, sammelt somit das Wissen erfahrener Prüfer an und wandelt es in objektive Beurteilungskriterien zur Sicherstellung eines konstanten Qualitätsniveaus um.

Abteilung »Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung« (siehe Seite 55)

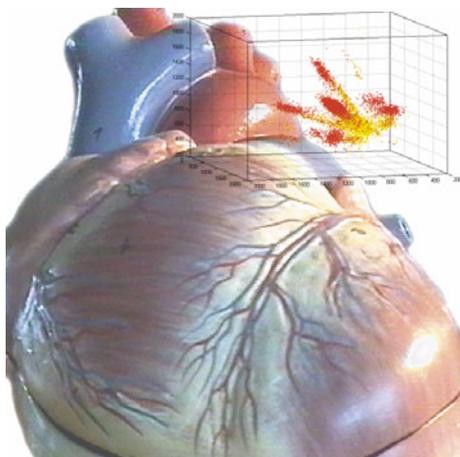


## Risikoparameter für Arrhythmien im Herzschlag

Störungen im hochkomplexen Steuerungssystem des Herzens führen zu Arrhythmien, die völlig harmlos, aber, wie im Falle des Plötzlichen Herztods, auch tödlich verlaufen können. Werden Risikopatienten rechtzeitig erkannt, so können durch antiarrhythmisch wirkende Medikamente oder das Implementieren eines Defibrillators Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Im Projekt »Risikoparameter für Arrhythmien im Herzschlag« werden verschiedene nichtlineare Parameter entwickelt und untersucht, die als Ersatz oder Ergänzung der bislang üblichen die Risikoabschätzung verbessern sollen. Zum Einsatz kommen hierbei Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse, Clusterverfahren und neuronale Netze. Die derzeit in der Praxis genutzten Parameterkombinationen liefern i. a. noch keine zufriedenstellende Risikoabschätzung und führen somit zu teilweise unnötigen Behandlungen.

Abteilung »Adaptive Systeme und Finanzmathematik« (siehe Seite 72)

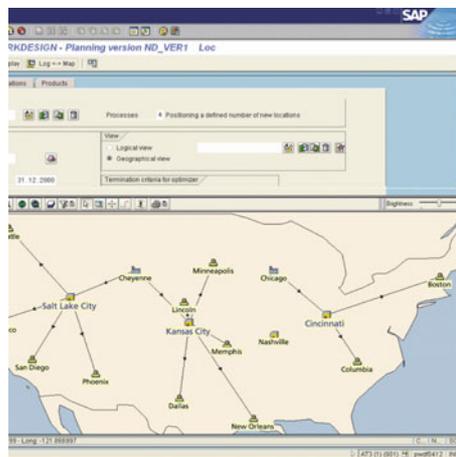


## Network Design

Gemeinsam mit der SAP AG wurde das Softwaretool »Network Design« entwickelt, das den Entscheidungsträger bei der strategischen Auslegung einer Supply-Chain unterstützt. Mittels des Tools können Entscheidungen in den Bereichen Beschaffung, Produktion und Distribution unter Berücksichtigung von Bedarfs- und Kostenstrukturen getroffen werden. Speziell werden die Standortplanung (Öffnen / Schließen von Lagern oder Produktionsstätten) und die Bestimmung der optimalen Kundenzuordnung unterstützt. Die Software erlaubt die Analyse der existierenden Supply-Chain, aber auch ein Redesign.

Dazu stehen im Network Design verschiedene Modelle der diskreten Optimierung zur Verfügung. Diese werden als gemischt ganzzahlige lineare Probleme formuliert. Weiterhin werden auch geographisch orientierte Verfahren angeboten. Network Design ist ein Modul der aktuellen Version der SAP-Supply-Chain-Software APO (Advanced Planner and Optimizer).

Abteilung »Optimierung« (siehe Seite 86)





Prof. Dr. Helmut Neunzert

Da haben wir nun – ich will das nur noch ein einziges Mal mit etwas Stolz vermelden – unser Ziel, ein Fraunhofer-Institut zu werden, erreicht. Wir haben gute Wissenschaftler im Institut und einen breiten Wachstumsmarkt, hauptsächlich in Deutschland. Wissenschaft und Wirtschaft sind aber international; deshalb bemüht sich auch die Fraunhofer-Gesellschaft um Internationalisierung. Sie hat schon einen Ableger in den USA und beginnt jetzt, ihre Aktivitäten in Europa systematisch auszubauen.

Dies passt nun sehr gut zu den »Visionen« des ITWM. Mathematik ist, wie etwa Informatik und Physik auch, eine sehr internationale Wissenschaft; für die Mathematik an der Universität Kaiserslautern gilt dies in ganz besonderem Maße. Über 50 Prozent unserer Studierenden im Hauptstudium kommen aus dem Ausland. Dies liegt an der Offenheit vieler Mathematikprofessoren in Kaiserslautern, insbesondere jener, die mit dem ITWM verbunden sind, und es liegt an der Förderung durch DAAD, Humboldt-Stiftung und BMBF. Deshalb hat das auch ITWM schon heute Mitarbeiter und Doktoranden aus der ganzen Welt, von Nepal bis Bulgarien und Italien, von Indonesien bis Frankreich und Portugal. Der Mangel an »human resources« ist ein starkes Motiv für Internationalisierung; am Rande sei vermerkt, dass uns dieser Mangel genauso trifft wie andere IT-Bereiche und wir wie diese staatliche Nachwuchsförderung benötigen.

Aber nicht nur unser »Personalmarkt« ist global, auch der Markt für unsere Dienstleistungen und Produkte ist nicht auf Deutschland begrenzt. Warum sollte der Bedarf an neuer, maßgeschneiderter Software irgendwo in Europa geringer sein als hier? Es gibt einige, technologisch sehr hoch entwickelte Länder mit einem großen, aber nicht immer bewussten Bedarf für mathematische Forschung in der Industrie; dazu gehören sicher Italien und Schweden. Deshalb ist es gewiss kein Zufall, dass der Fraunhofer-Vorstand gerade diese beiden Länder für die neue Europa-Initiative ausgewählt hat. Und es liegt sehr nahe, dass sich das ITWM dieser Initiative anschließen will, zumal es in beiden Ländern geeignete Partner hat. In Göteborg ist es die »Chalmers Technische Hochschule« und ein dort eingerichtetes »Institut für Angewandte Mathematik (ITM)«, die seit langem Industrieprojekte im Bereich der Mathematik bearbeiten, wenn auch in geringerem Umfang als das ITWM. In Florenz gibt es an der dortigen Universität eine Gruppe angewandter Mathematiker, die sich ganz ausgezeichnete Kontakte zur toskanischen Wirtschaft erfreut. Beide stimmten dem Vorschlag einer engeren Kooperation mit Begeisterung zu.

So entstand die Idee eines europäischen Fraunhofer-Instituts für Mathematik; sie ist gewiss wissenschaftlich und wirtschaftlich »korrekt«, aber nur langsam und mit Geduld zu realisieren. Aber es lohnt sich anzufangen: Mit Göteborg wird ein Business-Plan für ein Fraunhofer-Chalmers-Centre geschmiedet, das hoffentlich als echtes Fraunhofer-Kind Mitte 2001 mit etwa zehn Leuten starten kann. Und mit Florenz gibt es einen bilateralen Kooperationsvertrag zwischen dem ITWM und einem dortigen gemeinnützigen Verein, der in noch sehr bescheidenem Umfang die ersten gemeinsamen Projekte anstrebt.

Ein paar Gedanken zu »Fraunhofer in Europa« seien beigelegt. Die Vorteile sind schon genannt: Human Resources und verbesserter Marktzugang. Es genügt nicht, die Expertise irgendwo in der Welt einzukaufen; dies ist zwar ein beliebtes Modell, insbesondere in Osteuropa, wo es viel Wissen gibt, aber wenige Gelegenheiten, es anzuwenden. »Wir haben phantastische Fachleute für alles – gebt uns das Problem und behaltet die Hälfte der Einnahmen«. Wenn das so einfach wäre! Der extrem wichtige Kontakt zwischen Firma und Institut geht dabei verloren – und wir brauchen die Mitarbeit der Kunden, wir bieten Service, selten Komplettlösungen. Aber auch »Marktzugang durch Kooperation« ist ein schwieriges Unterfangen; so leicht gibt man ein schönes Problem, dessen Lösung auch noch gut bezahlt wird, nicht an einen Kooperationspartner weiter.

Nein, Europäisierung muss mehr bedeuten, nämlich die Schaffung neuer »Fraunhofer-artiger« Einrichtungen im Ausland. Dazu benötigt man natürlich einen passenden Partner vor Ort; doch das, was dabei entsteht, muss (auch) zu uns gehören, muss auch Teil des ITWM sein. So, wie das ITWM letztlich auch Teil der neuen Einheit wird. Wir müssen also etwas Neues, Größeres schaffen: ein europäisches Fraunhofer-Institut an verschiedenen Standorten. Es hätte mehr Kompetenzen und einen größeren Markt.

Ein Schritt in Richtung dieser Vision ist unser Fraunhofer-Chalmers-Centre, seine Verbindung mit dem ITWM und dessen Kooperationspartner Florenz. Ich sagte schon: Es ist ein schwieriger Annäherungsprozess, zu dem man viel Geduld braucht. Schauen wir uns »nur« die Fremdfinanzierung an – sie soll je zur Hälfte aus Schweden und aus der Fraunhofer-Gesellschaft kommen. Die Frage, was »wir in Deutschland denn zurückbekommen für deut-

sche Steuergelder, die nach Schweden fließen«, ist unvermeidlich. Nicht alle eben sind schon echte Europäer! Andererseits haben die Skeptiker auch ein wenig recht: Der Geldfluss geht ohne Zweifel überwiegend in eine Richtung, bestenfalls fließt bezahlte Arbeit zurück. So richtig europäisch ist das auch nicht. Ich würde mir die Lösung so wünschen: Die Hälfte der Fremdfinanzierung kommt immer aus dem europäischen Topf, die andere Hälfte aus dem Standortland; letztendlich sollte dies auch für die deutschen Institute – besser: für die deutschen Standorte europäischer Institute – gelten.

Ich weiß: Das ist sehr viel verlangt, obwohl es doch eigentlich logisch ist. Und weil es ein Schritt in eine echt europäische Richtung wäre, sollte man ihn durch kleine Schritte vorbereiten. Und ein solcher, kleiner Schritt wäre die Gründung des noch relativ kleinen (und deshalb auch preiswerten) europäischen Fraunhofer-Instituts für Mathematik, eines europäischen ITWM. Vielleicht kann man durch solch kleine Schritte, wenn sie denn effizient und erfolgreich ausgeführt werden, die EU davon überzeugen, eine Fraunhofer-nahe Förderungspolitik zu beginnen. Es wäre kein Schaden, weder für die EU noch für Europa. Und dann lohnen sich auch die Investitionen der Fraunhofer-Gesellschaft in ein europäisches ITWM allemal. Nur ein Traum? Als ich vor vielen Jahren von einem Fraunhofer-Institut für Mathematik sprach, haben mich die Leute auch oft für einen Traumtänzer gehalten.

Zurück von den Visionen in die reale Gegenwart. Der Markt in Schweden ist an sich ausgezeichnet, unsere Partner, Chalmers und ITM, haben viele Kontakte hauptsächlich zu großen Firmen wie Volvo und Saab, Ericsson, ABB usw. Da dieses kleine »Institut für angewandte Mathematik« ITM in dem

Fraunhofer-Chalmers-Centre aufgehen wird, sind Startprojekte bereits sicher. Die exzellenten schwedischen KMUs bilden einen großen, aber noch unerschlossenen Markt, aber diese Situation kennt das ITWM und wird seine Erfahrungen einbringen. Klein und bescheiden starten, aber nach drei Jahren das Personal unter strenger Beachtung der Fraunhofer-Regeln verdoppeln: Dieses Rezept hat schon beim ITWM seine Früchte getragen, warum sollte es in Göteborg anders sein. Und gleichzeitig entwickelt sich mit Bedacht das dritte Bein des europäischen Fraunhofer-Instituts für Mathematik in Florenz, zunächst mit zwei bis drei gemeinsamen Projekten aus der toskanischen Industrie. Auf drei Beinen steht ein solches Institut sicher, mit drei Beinen ist es für die Europäische Union auch überzeugender.

Die Zusammenarbeit mit Ländern wie Indien, Indonesien, China usw. lohnen sich nach meiner Meinung (die ich erst nach einigen schmerzhaften Fehlversuchen bildete) mehr für die Universitäten. Man wird in diesen Ländern nicht sehr viele Projekte akquirieren, wohl aber sehr bildungsfähigen Nachwuchs. Fraunhofer-Institute können die meist doch noch notwendige Postgraduiertenausbildung durch Stipendien unterstützen. Der Bildungsmarkt liegt – in Gegensatz zum Projektmarkt - nicht so sehr in der Europäischen Union, sondern in Osteuropa und in der Dritten Welt. Dass aber auch in der EU exzellentes wissenschaftliches Personal zu finden ist, zeigen die Marie-Curie-Zentren - auch das ITWM ist ein solches Zentrum.

Ein europäisches Institut also mit exzellenten Wissenschaftlern aus der ganzen Welt, die aber in Deutschland ihren letzten »Fraunhofer-Schliff« bekommen: ein großes lohnendes Ziel für uns alle am ITWM.

## Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses hat am ITWM eine große Bedeutung. Als Training Site des EU-Programms »Marie Curie« bietet es Doktoranden aus EU-Ländern die Möglichkeit, einen großen Teil ihrer Doktorandenzeit am ITWM zu verbringen. Sie lernen hier, wie man mit mathematischer Modellbildung zur Lösung von praktischen Problemen beitragen kann.

Bei der Nachwuchsförderung arbeitet das ITWM intensiv mit dem Fachbereich Mathematik der Universität zusammen. Das Graduiertenkolleg Technomathematik (GTM), in dem Doktoranden der Wirtschafts- und Technomathematik ausgebildet werden, wird durch Mittel der DFG und des Landes Rheinland-Pfalz gefördert. 20 Doktoranden erfahren in den einzelnen Abteilungen eine direkte Betreuung, die meisten von ihnen sind als Stipendiaten dem GTM direkt assoziiert. Die Finanzierung der Doktoranden erfolgt im allgemeinen durch Stipendien, so dass eine Promotionszeit von ca. 3 Jahren die Regel ist. Daneben entstehen zahlreiche Diplom- und Masterarbeiten. Die Spiegelgruppen der im ITWM beteiligten Professoren bilden ca. 90% aller Diplomanden und Masterstudierenden des Fachbereichs aus. Daneben sind zahlreiche Mitarbeiter des ITWM in Lehrveranstaltungen des Fachbereichs als Dozenten aktiv.

Bei allen Nachwuchsaktivitäten hat die internationale Ausrichtung ein großes Gewicht. Viele Studenten machen ihren Abschluss im Rahmen des Programms »Mathematics International«, bei dem mindestens ein Auslandssemester obligatorisch ist. Die Lehrveranstaltungen nach dem Vordiplom werden fast ausschließlich auf Englisch gehalten.

# Kunden und Kooperationspartner

Das ITWM arbeitet seit Jahren mit Auftraggebern vieler Branchen und Unternehmensgrößen erfolgreich zusammen. Im Folgenden sind Projektpartner des Jahres 2000, die einer Nennung zugestimmt haben, aufgeführt.

- alphaCardio GmbH, Grünstadt
- Analog Microelectronics GmbH, Mainz
- Atecs Mannesmann Dematic, Offenbach
- Automazioni Tessili Frigerio, Lurate Caccivio (I)
- Atmel Germany GmbH, Heilbronn
- Audi AG, Ingolstadt
- BGS Systemplanung, Mainz
- Boehringer Ingelheim Pharma KG, Ingelheim am Rhein
- Caparol Farbe Lacke Bautenschutz GmbH & Co Vertriebs KG, Ober-Ramstadt
- DePfa Bank, Wiesbaden
- Deutsche Bahn AG, Regionalbereich Frankfurt/Main
- Deutsche Gesellschaft für Onkologie e. V., Köln
- Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main
- Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg
- ESI-Group, Paris (F)
- Filterwerk Mann + Hummel GmbH, Speyer
- Findeisen GmbH, Ettlingen
- Freudenberg Vliesstoffe KG, Weinheim und Kaiserslautern
- gbo AG, Rimbach
- GE-Harris, Bad Dürkheim
- Glatz Feinpapiere, Neustadt/Wstr.
- HegerGuss GmbH, Enkenbach-Alsenborn
- HILTI AG, Schaan (Liechtenstein)
- ICON Industrie Consulting GmbH, Karlsruhe
- Imtronic, Berlin
- Infineon Technologies AG, München
- J. Wagner GmbH, Markdorf
- KS Beschallungstechnik GmbH, Hettenleidelheim
- Landesbank Baden-Württemberg
- m2k Informationsmanagement GmbH, Kaiserslautern
- MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen
- Mannesmann-Rexrodt AG, Lohr a. Main
- MVT Maschinen- und Verfahrenstechnik Bernhard Blatton GmbH, Dillingen
- Nahverkehrsservice Sachsen-Anhalt mbH (NASA), Magdeburg
- NEUMAG GmbH & Co., Neumünster
- PHB Stahlguss International, St. Ingbert-Rohrbach
- Pierau Planung, Hamburg
- psb GmbH, Pirmasens
- Regionalbus Saar-Westpfalz GmbH (RSW), Saarbrücken
- SAP AG, Walldorf
- Schott Glas, Mainz
- SIEDA Software GmbH, Kaiserslautern
- Siemens AG (KWU), Mülheim/Ruhr
- Steinbichler Optotechnik GmbH, Neubeuern
- tecmath AG, Kaiserslautern
- Thomas Josef Heimbach GmbH & Co., Düren
- Universität Kaiserslautern
- Verein Deutscher Gießereifachleute (VDG), Düsseldorf
- Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH (VRN), Mannheim
- Verkehrsverbundgesellschaft Saar mbH (VGS), Saarbrücken
- Westpfalz Verkehrsverbund GmbH (WVV), Kaiserslautern

## Kuratorium

Das Kuratorium setzt sich aus Vertretern von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zusammen. Die Mitglieder stehen der Institutsleitung beratend zur Seite. Zum Kuratorium des bisherigen Trägervereins des ITWM gehörten:

Prof. Dr. Dieter Maaß  
(Vorsitzender)

Dr. Gunter Frank  
Dresdner Bank AG, Frankfurt

Prof. Dr. Albert Gilg  
Siemens AG, München

MR Wolfgang Habelitz  
Ministerium für Bildung, Wissenschaft  
und Weiterbildung, Mainz

Dr. Wilhelm Krüger  
tecmath AG, Kaiserslautern

Dr. Martin Kühn  
SAP AG, Walldorf

Dr. Horst Loch  
Schott Glaswerke, Mainz

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

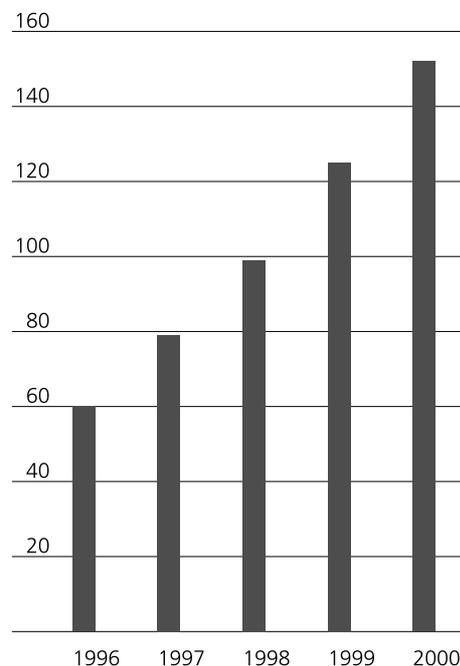
Dr. Werner Sack  
Hilti AG, Schaan, Liechtenstein

Prof. Dr. Günter Warnecke  
Universität Kaiserslautern

## Personalentwicklung

Seit seiner Gründung hat das ITWM sein Stellenkontingent kontinuierlich ausgebaut. Im Jahr 2000 waren am ITWM 81 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (darunter 54 Wissenschaftler, 19 Doktoranden und 8 Mitarbeiter in zentralen Bereichen) sowie 60 wissenschaftliche Hilfskräfte und Praktikanten beschäftigt.

Gesamtpersonalentwicklung



	1996	1997	1998	1999	2000
Wissenschaftliche Mitarbeiter	26	32	43	45	54
Doktoranden	5	6	13	17	19
Zentrale Bereiche	3	5	6	7	8
Wissenschaftliche Hilfskräfte	22	26	29	48	60
Sonstige Dienstverträge	4	10	8	8	11

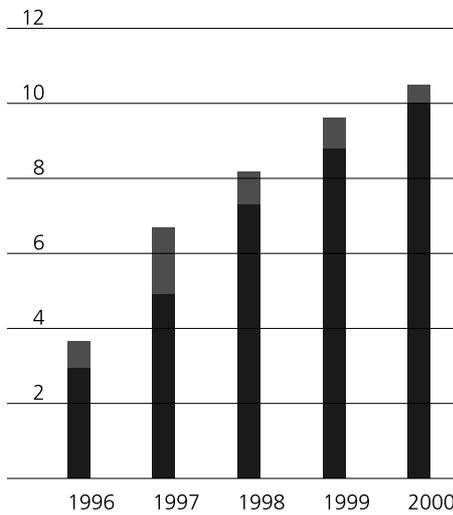
## Haushalt

Die Entwicklung des Betriebshaushalts des Instituts ist in der nebenstehenden Grafik dargestellt. Da der endgültige Abschluss für das Jahr 2000 nach dem Redaktionsschluss des Jahresberichts liegt, sind die Zahlen für 2000 nur vorläufige Zahlen. Sie weichen jedoch erfahrungsgemäß nur unwesentlich von den endgültigen Zahlen ab.

Für das Jahr 2000 wird der Betriebshaushalt voraussichtlich 10 Mio DM erreichen. Davon wurden knapp 7 Mio DM in Form eigener Erlöse erwirtschaftet.

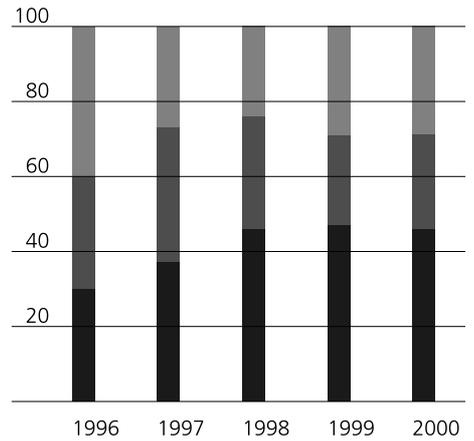
Gegenüber dem Vorjahr stieg damit der Betriebshaushalt um weitere 10 Prozent.

Haushaltsentwicklung  
Mio DM



■ Betriebshaushalt  
■ Investitionen

Ertragsanteile  
in %



■ Industrie  
■ Öffentliche Hand  
■ Institutionelle Förderung

## Zentrale Bereiche am ITWM



Dr. Marion Schulz-Reese



Dipl.-Betriebswirt (VWA) Brigitte Williard



Manuela Hoffmann



Katharina Parusel



Martina Deghmouche

Verwaltung



Dieter Eubell



Dipl.-Phys. Christian Peter

Presse u. Öffentlichkeitsarbeit



Dipl.-Math. Steffen Grützner



Cäcilie Kowald

Mathematik-Allianz



Dipl.-Biol. Claudia Meißner

EDV

# Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Deutschland. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet. Im Rahmen der Technologieprogramme der Europäischen Union wirkt die Fraunhofer-Gesellschaft in Industriekonsortien an der Lösung technischer Fragen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft mit. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im Bereich von Schlüsseltechnologien und im öffentlichen Nachfragebereich (Energie, Verkehr, Umwelt) beitragen.

Die Globalisierung von Wirtschaft und Forschung macht eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Niederlassungen der Fraunhofer-Gesellschaft in Europa, in den USA und in Asien sorgen daher für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftsräumen.

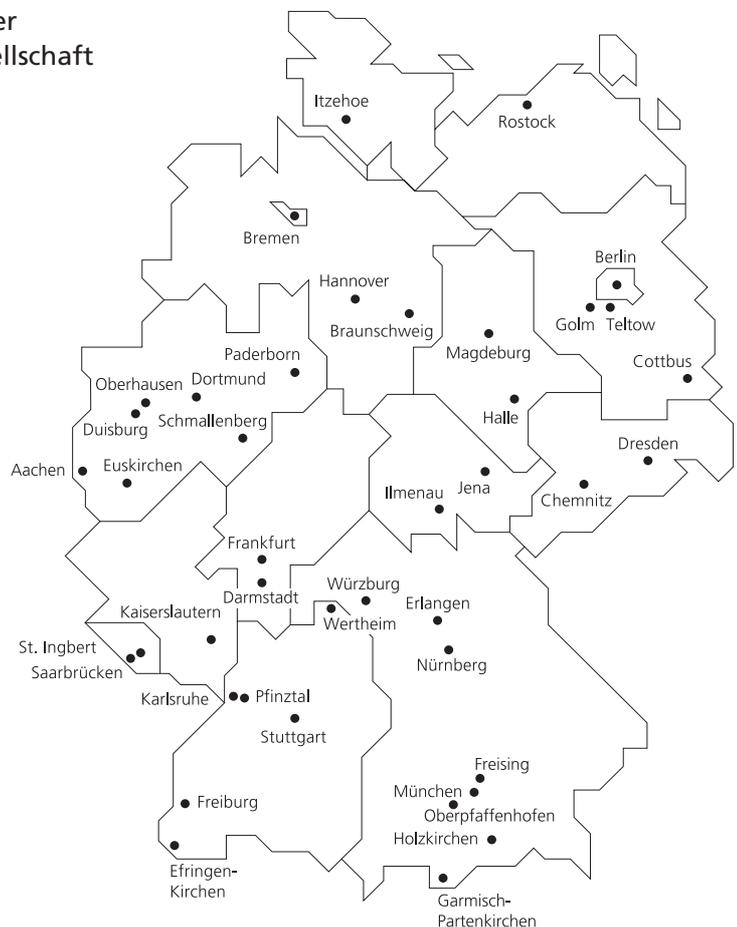
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 48 Forschungseinrichtungen an Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Rund 9 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 760 Millionen Euro. Davon fallen mehr als 650 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die Fraunhofer-Wissenschaftler

sind auf differenzierte Forschungsaufgaben aus einem breiten Spektrum von Forschungsfeldern spezialisiert. Wenn Systemlösungen gefragt sind, arbeiten mehrere Institute interdisziplinär zusammen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

## Die Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland

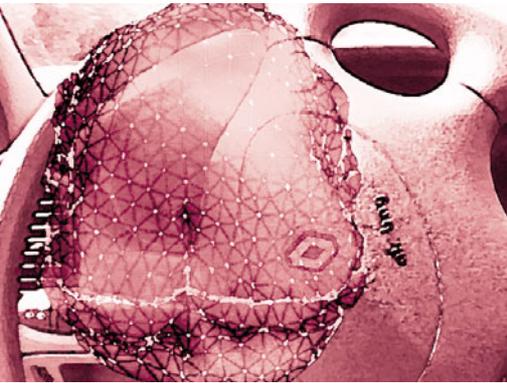


## Die zentrale Anschrift

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e. V.  
Leonrodstraße 54  
D-80636 München

Telefon: +49 (0) 89/12 05-01  
Fax: +49 (0) 89/12 05-3 17  
Internet: [www.fhg.de](http://www.fhg.de)

# Abteilung Transportvorgänge



Die Abteilung Transportvorgänge konnte sich im ersten Jahr nach der Umstrukturierung des Instituts erfolgreich entwickeln und ihr Profil, das sich in den fünf Kompetenzfeldern Strömungsdynamik, Partikelmethode, Strahlungstransport, Kinetik sowie Simulationsbasierte Optimierung und Regelung widerspiegelt, deutlich schärfen.

Im Kompetenzfeld *Strömungsdynamik* prägt sich immer stärker eine Spezialisierung auf die Thematik der Interaktion von Strömungen mit flexiblen Strukturen aus. Die betrachteten Strukturen reichen dabei von Partikeln über Fäden und Bögen bis zu dreidimensionalen Körpern (d. h. punktförmige, linienförmige, flächige und volumenbehaftete Körper). Das Angebot an die Kunden erstreckt sich von Studien bis zu eigenständigen Softwaretools. Dabei werden die Strömungsrechnungen meist mit den CFD-Tools FLUENT® und CFX® ausgeführt, um darauf kontinuumsmechanische Modelle für die flexiblen Strukturen aufzusetzen.

Um langfristig vollständig gekoppelte Lösungen für Fluid-Struktur-Probleme anbieten zu können, soll verstärkt das im Kompetenzfeld *Partikelmethode* entwickelte verallgemeinerte SPH-Verfahren einbezogen werden. Als gitterfreies Verfahren eignet es sich hervorragend für Strömungsberechnungen in zeitlich veränderlichen komplexen Geometrien (siehe Projektbeispiel »Simulation des Aufblasvorgangs eines Airbags«). Es wird zu einem Softwaretool mit breitem Anwendungsspektrum ausgebaut. Weit fortgeschritten sind dabei die Arbeiten im kompressiblen Strömungsbereich, aktuelle Forschungen beschäftigen sich mit inkompressiblen Strömungen und Mehrphasenströmungen, für strukturmechanische Probleme liegen erste Ergebnisse vor.

In den Kompetenzfeldern *Strahlungstransport* und *Kinetik* spiegelt sich das Know-how der Abteilung zur numerischen Lösung partieller Integro-Differentialgleichungen (Boltzmann-Gleichung, Strahlungstransportgleichung etc.) wider. In den vergangenen Jahren



Dr. Raimund  
Wegener



Dipl.-Ing.  
Sergej Antonov



Dipl.-Math.  
Maria P. Gualdani



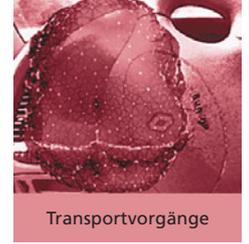
Dr. Marco  
Günther



Dr. Dietmar Hietel



Dr. Jörg Kuhnert



wurden hier große Fortschritte bei der Entwicklung schneller Algorithmen zur Simulation des Abkühlvorgangs von Glas gemacht («Strahlungstransport in semitransparenten Medien»). Diese werden in aktuellen Projekten umgesetzt, neuere Forschungen beschäftigen sich mit dem bedeutend schwierigeren Problem des Strahlungstransports in streuenden Medien.

*Simulationsbasierte Regelung und Optimierung* beschreibt eine Kompetenz, die über die klassischen Anwendungsbereiche für Simulationen (Planungshilfe, Instrument zur Parametervariation, Untersuchung von Prozessdetails etc.) hinausgeht. Hier werden beispielsweise (Projekt »Flanschoptimierung«) auf der Basis von Simulationen kontinuierliche Optimierungsprobleme betrachtet. In einem anderen Projektbeispiel («Mischung von Schüttgut») wird die Simulation eines nichtlinearen Diffusionsprozesses, der die Ablagerung von Granulat beschreibt, in eine Regelung einbezogen. Gerade mit der Bearbeitung solcher Probleme wird sich das ITWM

als mathematisches Forschungsinstitut von anderen Anbietern im Bereich Modellierung und Simulation auch langfristig abheben können.

Kontakt:

Dr. Raimund Wegener  
Abteilungsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-39 26  
E-Mail: [wegener@itwm.fhg.de](mailto:wegener@itwm.fhg.de)



Dipl.-Math.  
Rainer Keck



Dr.-Ing.  
Lutz Lenhart



Dipl.-Math.  
Guillaume Pierrrot



Dr. Jan Mohring



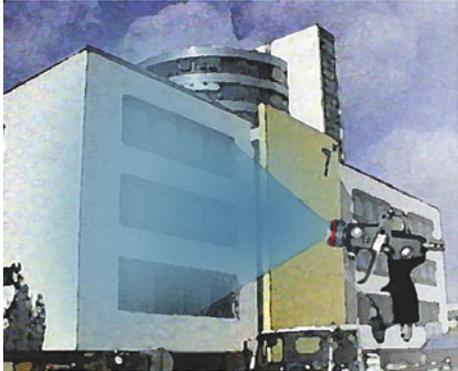
Dipl.-Math.  
Peter Schlosser



Dr. Norbert  
Siedow



Dr. Sudarshan  
Tiwari



Nebelfreies Spritzen von Außenfassaden.

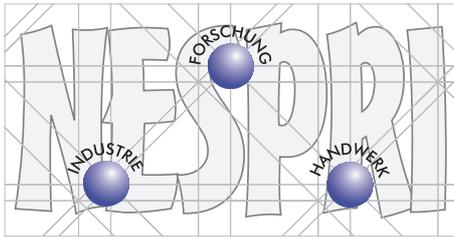
Viele der im Kompetenzfeld Strömungsdynamik realisierten Projekte lassen sich dem Bereich Wechselwirkung von Strömung und Struktur zuordnen. Daneben werden auch eher klassische strömungsmechanische Aufgabenstellungen bearbeitet, die oftmals die Basis für die tiefergehende Problemlösung auf dem Gebiet der Wechselwirkung Struktur-Strömung bilden. Hinsichtlich der sich in einer räumlichen Strömung befindlichen Strukturen ergibt sich eine Klassifikation in volumenbehaftete, flächige (z. B. Bögen), linienförmige (z. B. Fäden) und punktförmige Objekte (z. B. Tröpfchen). Natürlich handelt es sich in allen Fällen grundsätzlich um ein räumliches Objekt in einer dreidimensionalen Strömung, eine effiziente Modellierung und Simulation wird aber stets die Eigenheiten der spezifischen Struktur berücksichtigen. Gemäß der Klassifikation führt dies dazu,

- Bögen als zweidimensionale Objekte mit einer bestimmten Dicke abzubilden, die insbesondere über das Biegeverhalten in die Modellierung einfließt,
- Fäden als eindimensionale Kurven entlang der Mittellinie zu charakterisieren, die einen bestimmten Durchmesser oder auch eine spezifische Kontur der Querschnittsfläche haben,
- Tröpfchen in ihrer Lage als Massenzentren zu beschreiben und für die angreifenden Kräfte ihren Durchmesser oder auch weitere Formparameter heranzuziehen.

Die Dynamik der Struktur wird in allen Fällen durch eine Newtonsche Bewegungsgleichung mit inneren und äußeren Kräften erfasst. Die äußeren Kräfte sind wesentlich durch die Druck- und Strömungsverhältnisse um die Struktur bestimmt. Die Modellierung der strukturierten inneren Kräfte hängt

stark von den Eigenschaften des Objektes ab. Typisch für die bisherigen Projekte ist die Verbindung von Elastizitätstheorie mit einer Asymptotik, die von der Strukturklasse abhängt. Problemstellungen in diesem Gebiet führen im Prinzip auf räumlich dreidimensionale Strömungen, die zusätzlich aufgrund der Kopplung mit der Strukturbewegung instationär sind und alle üblichen zusätzlich erschwerenden Charakteristika wie etwa das Auftreten von Grenzschichten und Turbulenzeffekten besitzen. Für die bisher erfolgreich bearbeiteten Anwendungsfälle sind daher mögliche Modellvereinfachungen ausgenutzt worden, um den mit den Simulationen verbundenen Aufwand zu reduzieren. Die eigentlichen Strömungssimulationen auf Basis der Navier-Stokes-Gleichungen und entsprechender Varianten wurden zumeist mit kommerziellen Programmpaketen wie CFX<sup>®</sup> oder FLUENT<sup>®</sup> durchgeführt.

Die Aktivitäten im Berichtsjahr konzentrieren sich auf das Verhalten von Fäden und Tröpfchen, das an zwei typischen Projekten nachfolgend erläutert wird. Ein in drei Phasen gegliedertes Industrieprojekt zur Simulation der Bewegung einer flächigen Struktur ist Anfang 2000 mit der Erstellung eines beim Projektpartner genutzten Tools zu einem vorläufigen Abschluss gekommen. Weitere Projekte gehören zum Spektrum der klassischen Strömungsmechanik und beschäftigen sich u. a. mit dem Abtransport von Partikeln in einer Strömung. Zukünftig ist neben der Fortführung der durch die Anwendungsfelder angeregten Projekte auch die Verknüpfung mit dem Kompetenzfeld Partikelverfahren geplant. Das längerfristige Ziel ist die Weiterentwicklung des am ITWM entstandenen SPH-Code zu einem integrierten Tool, das Strömungen um die oben klassifizierten Strukturen und deren Dynamik vollständig gekoppelt simulieren kann.



## NESPRI: Nebelfreies Spritzen von Außenfassaden

Beim Spritzen von Außenfassaden entsteht ein Sprühnebel, der vor allem auf die sich bildenden feinen Farbtropfchen zurückzuführen ist. Durch die resultierende Verschmutzung der Umgebung wie etwa geparkter Autos wird der standardmäßige Einsatz in der handwerklichen Praxis verhindert. Ziel des Verbundes »NESPRI« ist die Überwindung dieser Overspray-Problematik. Im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Programms »InnoNet« haben sich drei Forschungsinstitute und zehn weitere Partner aus Industrie und Handwerk zu einem Netzwerk zusammengeschlossen, das über das nötige Know-how und die fachübergreifende Kompetenz verfügt. Das ITWM ist inhaltlich für den Bereich Modellierung und Simulation zuständig und fungiert als Koordinator des insgesamt auf drei Jahre angelegten Verbundprojekts.

Die bereits erfolgten ersten Projekt-schritte zielen auf die Analyse der Schwachstellen in der bisherigen Spritztechnik ab, um darauf aufbauend geeignete Alternativen zu entwickeln. Am ITWM wird zunächst der Teilprozess nach der Zerstäubung modelliert und simuliert. Die Zerstäubung erfolgt an einer feinen Düse allein durch das Material (Airless) oder mit Luftunterstützung (AirCoat, HVLP). Bei der Airless-Technik werden Überdrücke von bis zu 150 bar eingesetzt. Durch die

Zerstäubung entstehen unzählige kleine Farbtropfen, deren Größenverteilung am IFF in Stuttgart messtechnisch untersucht wurde. Weil kleinere Tröpfchen in ihrer Bewegung zur Wand leichter abgelenkt werden, sind diese für den Overspray verantwortlich.

Die entstehenden nahezu kugelförmigen Farbtropfchen können in ihrer Dynamik durch eine Newtonsche Bewegungsgleichung mit den wirkenden äußeren Kräften aufgrund der Gravitation und umgebenden Luftströmung modelliert werden. Weitere Einflüsse wie etwa Wind und Sensitivitätsaspekte durch das Handling im praktischen Einsatz sind in weitergehenden Untersuchungen zu berücksichtigen. Die Simulationsergebnisse liefern eine quantitative Analyse zur Bewertung der verschiedenen Einflussfaktoren. Einen Eindruck der unvermeidlichen und sich negativ auswirkenden Turbulenzeinflüsse vermittelt die Gegenüberstellung des Partikelverhaltens bei unterschiedlichen Durchmessern (siehe Abb. 1). Die Bahnen der großen Partikel werden deutlich geringer gestört und erzeugen den für den Beobachter sichtbaren Sprühkegel. Die kleinen Partikel unterliegen sehr viel stärker den Störungen aufgrund der Hauptströmung und Turbulenzeinflüsse. Durch den Staupunkt und teilweise Reflektion der Luftströmung werden die bereits stark abgebremsten Partikel nahe der Wand deutlich abgelenkt.

Zusammen mit den anderen im Verbund experimentell und aus der handwerklichen Praxis heraus erzielten Resultaten und deren Interpretation ist die Grundlage für die weitere Entwicklungsarbeit gelegt. Der Verbund NESPRI ist daher in der Erwartung bestärkt, die Overspray-Problematik erfolgreich zu überwinden.

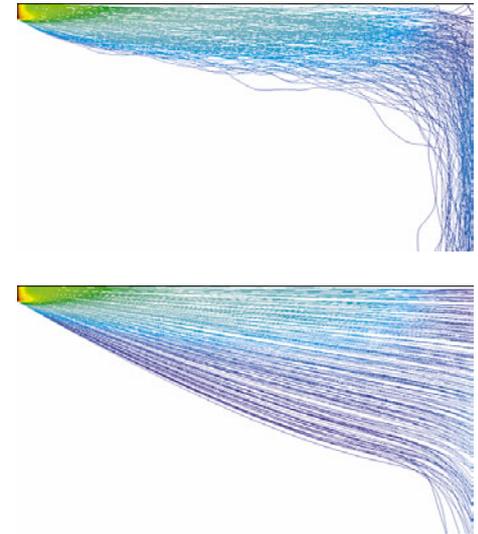


Abb. 1: Bahnen der Farbpartikel im turbulenten Freistrahle oben: Durchmesser 20  $\mu\text{m}$ , unten: Durchmesser 80  $\mu\text{m}$ .

### Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
BMW (InnoNet-Programm)

### Partner:

Institut für Industrielle Fertigung und  
Fabrikbetrieb (IFF), Stuttgart  
Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb (IMB),  
Karlsruhe  
Caparol Farbe Lacke Bautenschutz GmbH & Co  
Vertriebs KG, Ober-Ramstadt  
J. Wagner GmbH, Markdorf  
m2K Informationsmanagement GmbH,  
Kaiserslautern  
De-Wa-Bo Malerbetrieb GmbH, Detmold  
Habekost GmbH, Hildesheim  
Heil Maler GmbH, Steinwenden  
Hoops Malerfachbetrieb GmbH & Co KG, Velbert  
Industrieanstriche und Malerwerkstätten Arens-  
hausen GmbH, Arenshausen  
renfordt Malerfachbetrieb GmbH, Iserlohn  
Karl Stromberg GmbH & Co KG, Duisburg

### Kontakt:

Dr. Dietmar Hietel  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-40 82  
E-Mail: hietel@itwm.fhg.de

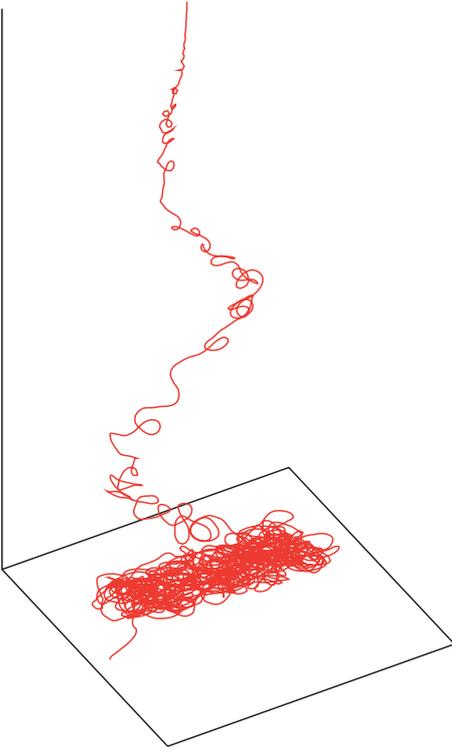


Abb. 2: Fadenstruktur mit abgelegten Teilen.

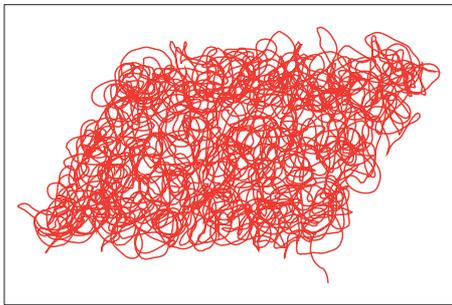


Abb. 3: Ablage auf dem Band für einzelnen Faden.

## Simulation der Vlieslegung

In der Produktion von Vliesstoffen werden Bänder von Einzelfäden zu Schwingungen angeregt und bilden durch Ablage auf einem luftdurchlässigen Band ein textiles Flächengebilde. Die Anregung wird durch periodisch auf die Fäden wirkende Kräfte erzeugt. Die zugehörigen zweidimensionalen Strömungsberechnungen sind in Verbindung mit einem einfachen Modell der Fadenbewegung in der ersten Projektphase durchgeführt worden (siehe ITWM-Tätigkeitsbericht 1999). Die darauf aufbauende zweite Phase hat vor allem die genauere Modellierung der Fadenbewegung und der inneren Fadenstruktur zum Ziel. Parallel hierzu sind in einem anderen Projekt Strömungsberechnungen durchgeführt worden, die zur Unterstützung der konstruktiven Entwicklung für eine neue Produktionsanlage dienen.

Die zur Vlieslegung betrachteten Einzelfäden mit einem Durchmesser unter 0,1 mm sind bereits verstreckt. Wegen der vernachlässigbaren Dehnung können diese als Kurve abhängig von der Fadendynamik durch eine Newtonsche Bewegungsgleichung gegeben:

$$\sigma \ddot{x} = \partial_s (T \partial_s x) - S_k \partial_{ssss} x - \sigma g e_{\perp} + f_L$$

$$\|\partial_s x\| = 1$$

Auf Basis der linearen Elastizitätstheorie lassen sich mit Hilfe asymptotischer Betrachtungen die inneren Kraftanteile zu Spannungen und der vom E-Modul abhängigen Biegung herleiten. Die angreifenden Strömungskräfte  $f_L$  werden aufgespalten in einen deterministischen Anteil der relativen Luftbewegung unmittelbar um den Faden und einen stochastischen Einfluss aufgrund der auftretenden Turbulenzeffekte. Für die Fadenablage auf dem sich bewe-

genden Band sind spezifische Randbedingungen hergeleitet worden. Das gerade anliegende Fadenende wird über eine implizite Gleichung unter Einbeziehung des häufig auftretenden Falls der Ablage kompletter Schlaufen bestimmt.

Die numerische Umsetzung der beschriebenen Modelle erfolgt durch Kopplung der zweidimensionalen Strömungsberechnungen mit der Fadendynamik. Die Rückwirkung des Fadenbandes kann aufgrund der großen Strömungsgeschwindigkeiten und der ständigen Impuls- und Energiezufuhr vernachlässigt werden. Die Implementierung des nichtlinearen Fadenmodells erfolgt mit Finiten Differenzen und der iterativen Lösung der resultierenden Gleichungssysteme. Ein charakteristisches Beispiel für das mit dem Modell beschreibbare Fadenverhalten zeigt Abbildung 2, die auch die Ablage einer kompletten Schlaufe veranschaulicht. Die globale Schwingung mit wenigen Umkehrpunkten resultiert hauptsächlich aus dem durch die relativen Strömungsgeschwindigkeiten bestimmten Kraftanteil. Die Modulation dieser Bewegung mit Bildung der Schlaufen ist vor allem auf das Wechselspiel zwischen den stochastischen Turbulenzeffekten und den inneren Biegekräften zurückzuführen.

Durch Identifikation der Modellparameter und Validierung mit Messergebnissen ist das Modell an die konkrete Situation bei Freudenberg angepasst worden. Zunächst sind damit realitätsnahe Simulationen der Bewegung einzelner Fäden durchgeführt worden. Charakteristisch für die komplexe Ablage bereits bei einem einzelnen Faden ist das in Abbildung 3 visualisierte Simulationsergebnis. Durch Betrachtung ganzer Fadenbänder an mehreren Spinnbalken soll dies zukünftig Simulationen der gesamten Vlieslegung ermöglichen.

Partner:  
Freudenberg Vliesstoffe KG, Kaiserslautern

Kontakt:  
Dr. Dietmar Hietel  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-40 82  
E-Mail: hietel@itwm.fhg.de  
Dipl.-Ing. Serguei Antonov  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 27  
E-Mail: antonov@itwm.fhg.de

# Partikelmethoden für kompressible und inkompressible Strömungen



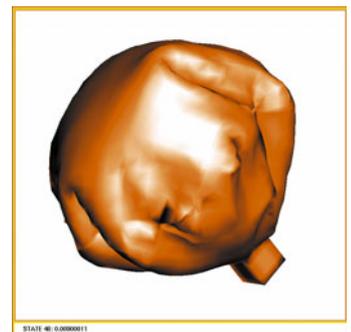
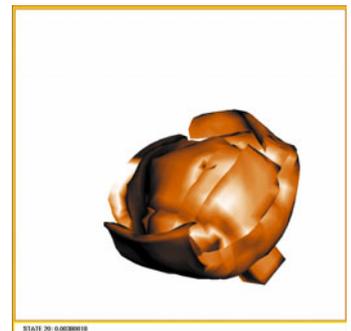
Partikelmethoden sind numerische Methoden zur approximativen Lösung von gasdynamischen oder hydrodynamischen Strömungsprozessen. Die Bezeichnung »Partikel« repräsentiert in diesem Zusammenhang die numerische Herangehensweise, um Strömungsprobleme zu simulieren. Die am ITWM eingesetzten Partikelverfahren finden ihren Ursprung in der klassischen Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)-Methode und stellen eine Weiterentwicklung derselben dar. Die mathematisch-physikalische Basis für eine sehr große Gruppe von Strömungsproblemen bilden die Euler-Gleichungen (für reibungsfreie Vorgänge) und die Navier-Stokes-Gleichungen (für reibungsbehaftete Vorgänge). In diesem Sinne unterscheiden sich Partikelmethoden nicht von klassischen Methoden wie Finite-Volumen-Methoden (FVM) oder Finite-Elemente-Methoden (FEM), da diese dieselben Gleichungen als Basis verwenden.

Partikel sind hier bewegte diskrete numerische Punkte. Das zu untersuchende Strömungsgebiet ist gleichmäßig mit Partikeln gefüllt, und ein jedes repräsentiert einen kleinen, lokalen Teil des strömenden Mediums. Dabei ist jedes Partikel der Träger von relevanten Informationen über den lokalen Strömungszustand, also Informationen über die Dichte, Massenimpuls und Energie. Jedes Partikel bewegt sich mit der Strömungsgeschwindigkeit, wobei die relevanten Informationen Änderungen unterliegen. Die Aufgabe der numerischen Methode ist, diese Änderungen auf dem Partikelpfad möglichst genau zu approximieren. Das erfordert im allgemeinen die Kenntnis der ersten und zweiten örtlichen Ableitung des Geschwindigkeitsfeldes und der ersten örtlichen Ableitung des Drucks.

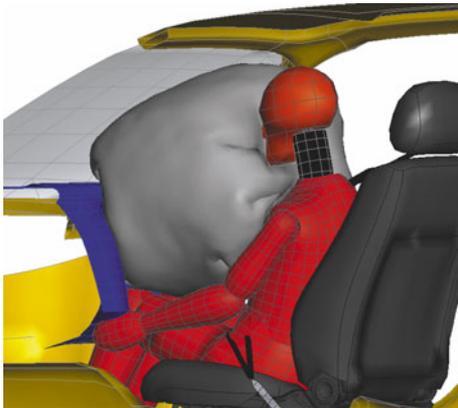
Die Berechnung dieser Ableitungen erweist sich als nicht trivial, und der Aufgabe, aus den diskret gegebenen Werten von Druck und Geschwindigkeit glatte Ableitungen zu berechnen, wird daher besondere Bedeutung zugemessen. Eine wesentliche Schwierigkeit besteht darin, dass die Partikelpositionen als geometrische Basis in der Regel räumlich unstrukturiert sind und sich zeitlich stark ändern. Unsere Herangehensweise ist die Approximation der Ableitungen auf »Moving Least Squares« (MLS)-Basis oder auf »Least Squares« (LS)-Basis. Für Probleme in der Gasdynamik wird neben dem MLS-Verfahren noch ein am ITWM entwickeltes Upwind-Verfahren eingesetzt, um das Rechenschema zu stabilisieren.

Partikelverfahren sind wegen ihrer komplexen Berechnung von Ableitungen vergleichsweise aufwendig, sie haben aber einige nicht zu unterschätzende Vorzüge. Wegen der sehr einfachen Gitterstruktur (Punkte) bedarf es nur eines verschwindend kleinen Rechenaufwands für die Erzeugung und Verwaltung eines geometrischen Netzes, ganz im Gegensatz zu FEM oder FVM. Das ist besonders bei bewegten Strömungsgeometrien von Vorteil, denn die Partikel folgen der Bewegung der Geometrie. Daher ist die Verwendung von Partikelmethoden sehr vorteilhaft für:

- Strömungen mit sehr komplexer Geometrie,
- Strömungen mit zeitlich stark veränderlicher Geometrie,
- Strömungen mit freien Oberflächen,
- Mehrphasenströmungen.



Simulation des Aufblasens eines gefalteten Airbags.



Simulationsumgebung für den Airbag.

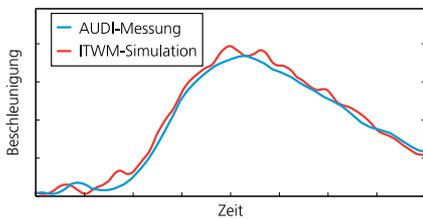


Abb. 4: Vergleich der von AUDI gemessenen und vom ITWM berechneten Beschleunigungen auf eine Dummypuppe.

## Simulation des Aufblasvorgangs eines Airbags

Das ITWM hat sich stark bei der numerischen Simulation des Aufblasvorgangs von Airbags, die zum Schutz der Passagiere in einem Fahrzeug bei starkem Aufprall dienen, engagiert. Kooperation besteht hier mit der Softwarefirma »ESI Group«, welche ein umfassendes Softwarepaket zur Simulation von technisch relevanten Vorgängen, besonders im Fahr- und Flugzeugbereich, auf den Markt gebracht hat.

Der Airbag ist ein Beispiel von Fluid-Struktur-Interaktion: die Airbagmembran bewegt sich nur in Abhängigkeit des Drucks, den das einströmende Gas auf die Membran ausübt. Andererseits wird die Treibgasströmung sehr stark von der Struktur und Lage der Membran als Randbedingung beeinflusst. Im Mittelpunkt steht eine möglichst gute Simulation des Entfaltungsvorgangs des Airbags und dessen Interaktion mit dem Passagier. Die Frage nach Verletzungen durch den Airbag ist entscheidend.

Zur Simulation der Gasströmung wurde die Partikelsoftware des ITWM in das Programmpaket der Firma ESI eingebunden. Die Gründe zur Verwendung der Partikelmethode liegen auf der Hand. Das Innere des Airbags, betrachtet als Strömungsgebiet, stellt eine sehr komplexe, zeitlich sich stark verändernde Geometrie dar. Darüber hinaus weist die Membran des Airbags den Charakter einer freien Oberfläche auf. Die ITWM-Partikelmethode ist hier im Vorteil und ist im Falle der Airbagsimulation gegenüber der ESI-eigenen FVM um einen Faktor zehn schneller.

Die Bewegung der Airbagmembran selbst wird durch die ESI-Software mittels FEM simuliert. Zwischen den beiden Programmen besteht in jedem

Zeitschritt ein Datenaustausch. Die Partikelmethode berechnet den Druck entlang der Membran und übergibt diesen an die ESI-Software. Mit dem Druck als Randbedingung wird die Änderung der Membranposition und der zugehörigen Geschwindigkeiten bestimmt. Der neue Zustand der Membran wird an die Partikelsoftware zurückgegeben und dort wiederum als Randbedingung verwendet.

Sehr viele, nicht zum eigentlichen numerischen Partikelschema gehörende Probleme wurden und werden innerhalb der Zusammenarbeit mit ESI bewältigt. Dazu gehören beispielsweise

- die Frage nach möglichst effizienter Auffindung von relevanten Nachbarpartikeln zu einem gegebenen Punkt,
- die Entwicklung geometrisch sicherer Entscheidungskriterien, ob ein Partikel sich innerhalb oder außerhalb des Airbags befindet,
- eine präzise Zeitschrittweitensteuerung für die gekoppelte Methode,
- die Frage, wie man das Verhalten der Partikel in der Nähe scharfer Falten des Airbags formuliert.

Durch Tests beim deutschen Automobilhersteller AUDI wurde eine hervorragende Übereinstimmung der Rechenergebnisse mit den Versuchsergebnissen festgestellt. Die Versuchsanordnung ist ein (noch) nicht gefalteter Fahrerairbag, der beim Entfaltungsvorgang eine zu Beginn nur 5 cm vom Airbag entfernte Dummypuppe davon stößt. Die messtechnisch ermittelten und die berechneten Beschleunigungen der Dummypuppe sind in Abbildung 4 zu sehen (blau: gemessen, rot: gerechnet).

Partner:  
ESI Group, Paris

Kontakt:  
Dr. Jörg Kuhnert  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 86  
E-Mail: kuhnert@itwm.fhg.de



Transportvorgänge

## Partikelmethoden für Mehrphasenströmungen

Das am ITWM entwickelte Partikelverfahren für kompressible Strömungen wird gegenwärtig im Rahmen des DFG-Schwerpunkt-Programms ANuM (Analysis und Numerik für Erhaltungsgleichungen) für inkompressible Strömungsanwendungen weiterentwickelt. Aus den oben genannten Vorteilen der Partikelverfahren ergeben sich viele praktische oder technische Anwendungsmöglichkeiten gerade im inkompressiblen Bereich, etwa für Vulkaneruptionen, Dammbuchprobleme, Füllvorgänge, Einspritzprobleme oder Gasblasen in einer Flüssigkeit. Deshalb ist es erforderlich, eine direkt inkompressible numerische Partikelmethode zu entwickeln.

Eine klassische Methode, inkompressible Probleme mit einem Partikelschema zu lösen, ist die sogenannte quasi-inkompressible Methode. Hierbei verwendet man eine kompressible Partikelformulierung, die theoretisch sehr gut verstanden ist, und koppelt sie mit einer sehr steifen thermodynamischen Zustandsgleichung. Dabei ergeben sich Strömungen mit sehr kleinen Machzahlen, so dass dadurch eine annähernd inkompressible Strömung entsteht. Diese Herangehensweise hat jedoch einen bedeutenden Nachteil. Je kleiner die Machzahl, desto kleiner auch der Zeitschritt, mit dem die numerische Zeitintegration durchgeführt werden kann. Quasi-inkompressible Simulationen bringen daher einen großen Rechenaufwand mit sich. Abhilfe wird in direkt inkompressiblen Partikelschemata gesucht. Die Entwicklung eines solchen Schemas ist eine der wesentlichen Aufgaben des hier erwähnten DFG-Projekts, und erste Ansätze sind bereits erfolversprechend.

Eine wesentliche Motivation für diese Arbeit sind inkompressible Strömungen mit freien Oberflächen. Fragen wie die Auffindung der Partikel an der freien Oberfläche und des Vorgebens von zugehörigen Randbedingungen stehen im Mittelpunkt. Die Grafiken in Abbildung 5 vermitteln einen Eindruck von der Oberflächenbewegung für das sogenannte Dammbuchproblem.

Ein weiterer wesentlicher Punkt im DFG-Projekt besteht in der Einbeziehung von Effekten der Oberflächenspannung in die Partikelformulierung. Solche Effekte sind dort von Bedeutung, wo sich frei bewegliche Oberflächen oder Phasengrenzen ausbilden. Die Oberflächenspannungskräfte sind direkt proportional zur Krümmung der Oberfläche. Es stellt sich als ein sehr komplexes Problem heraus, die Krümmung einer Oberfläche, die nur durch diskrete Partikel gegeben ist, genau zu ermitteln. Hier gibt es ebenfalls einen Least-Squares-Ansatz, der darauf basiert, eine möglichst glatte Funktion lokal in die gegebenen Oberflächenpunkte einzubeschreiben. Diese Idee wird zur Zeit geprüft.

Eine dritte und letzte Aufgabenstellung im Rahmen des DFG-Projektes besteht in der Formulierung der Partikelmethode für mehrphasige Strömungen. Hier geht es vor allem um die Auffindung und Charakterisierung der Phasengrenze. Ein wesentlicher Punkt ist, das numerische Partikelschema entsprechend den physikalischen Gegebenheiten an den Phasengrenzen zu modifizieren.

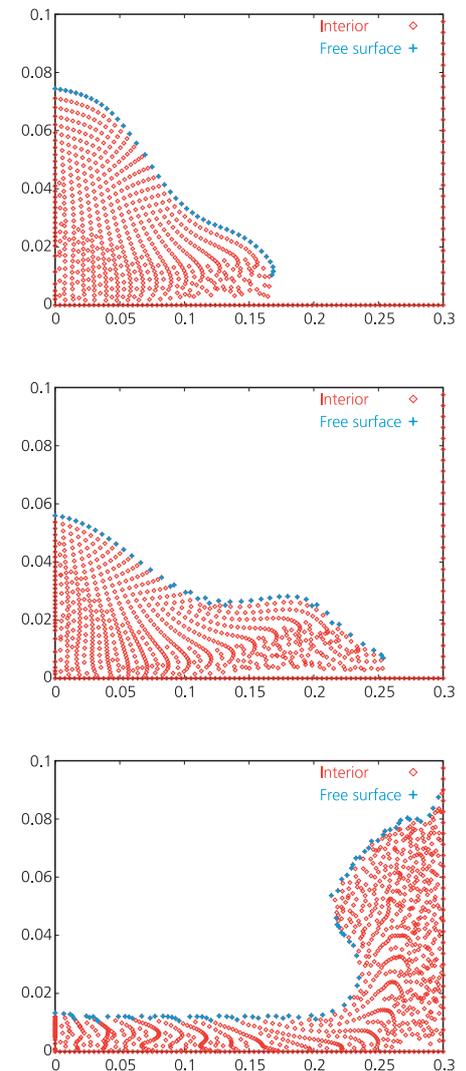


Abb. 5: Verschiedene Zeitstadien bei der Simulation des Dammbuchproblems.

Gefördert durch:  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Kontakt:  
Dr. Jörg Kuhnert  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 86  
E-Mail: kuhnert@itwm.fhg.de  
Dr. Sudarshan Tiwari  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-40 87  
E-Mail: tiwari@itwm.fhg.de



Wärmestrahlung in Glas.



Tiefenpyrometrie.

In semitransparenten Materialien ist zur Beschreibung des Temperaturverhaltens neben Wärmeleitung und -konvektion auch die Wärmestrahlung zu beachten, die im Gegensatz zu den erstgenannten Prozessen ein stark nichtlokales Phänomen ist und die numerische Simulation zunächst sehr aufwendig macht. Ein typisches semitransparentes Material ist Glas. Kommerzielle Softwarepakete beinhalten Lösungsverfahren für die reine Wärmeleitung, so dass Wärmetransportprobleme ohne Strahlung für den industriellen Anwender im allgemeinen lösbar sind. Im Gegensatz dazu sind diese Softwarepakete nicht oder nur sehr eingeschränkt in der Lage, den Wärmetransport mittels Strahlung in semitransparenten Medien zu berechnen. Vom ITWM wurde ein Tool zur Lösung realistischer dreidimensionaler Probleme entwickelt, das leicht in kommerzielle Softwarepakete eingebaut werden kann. Grundlage der Strahlungsberechnung sind speziell entwickelte Diffusionsnäherungen, die die geometrischen und physikalischen Besonderheiten des zu lösenden Problems berücksichtigen. In Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit des das Glas umgebenden Mediums kann die Strahlung sowohl gerichtet als auch diffus reflektiert werden. Die diffuse Streuung am Hintergrund koppelt die Intensitäten der verschiedenen Richtungen. Diese Kopplung wird bei der numerischen Realisierung sowohl im ein- wie auch im dreidimensionalen Fall beachtet. Die aktuellen Forschungsaktivitäten befassen sich mit der Untersuchung weiterer physikalischer Prozesse, wie z. B. Parameteridentifikation unter besonderer Berücksichtigung von Strahlung und der Entwicklung von effizienten numerischen Verfahren für den Strahlungstransport unter Berücksichtigung von Streueffekten.

Neben der Simulation ist die Messung die gebräuchliche Methode zur Temperaturbestimmung. Berührungsbehaftete Messmethoden benutzen standardmäßig Thermoelemente oder Thermoelementketten. In vielen Fällen (z. B. bei der Heißformgebung) können diese nicht verwendet werden. Deshalb ist man an berührungslosen Messverfahren interessiert. Als Standard-Messmethode wird zur Zeit die Pyrometrie zur Bestimmung von Oberflächentemperaturen bei opaken (d. h. für alle Wellenlängen undurchsichtigen) Materialien benutzt. Glas ist ein semitransparentes Material, bei dem für bestimmte Wellenlängen Strahlung auch aus dem Inneren an die Oberfläche gelangt und abgestrahlt wird. Diese wellenlängenabhängige Intensität kann zur Temperaturrekonstruktion im Inneren des Glases genutzt werden. Zur Lösung dieses inversen, schlecht gestellten Problems wurde ein iterativ regularisiertes Gauß-Newton-Verfahren mit einem dem Problem angepassten Regularisierungsoperator verwendet. Bei der Auswertung der Messdaten kann ein strahlendes Hintergrundmaterial berücksichtigt werden. Zusammen mit der entsprechenden Messtechnik zur Bestimmung der Wärmestrahlung für unterschiedliche Wellenlängen ist man damit erstmals in der Lage, Temperaturverteilungen auch innerhalb des Glases berührungslos zu ermitteln.



Transportvorgänge

## Wärmetransport zwischen Glas und Form bei der Heißformgebung

Um die einzelnen Teilprozesse bei der Glasherstellung, wie z. B. Schmelzen, Heißformgebung, Kühlen, technisch beherrschen zu können, muss der Wärmetransport sowohl innerhalb des Glases als auch zwischen dem Glas und dem Behälter, Formwerkzeugen oder Kühleinrichtungen korrekt beschrieben werden. Insbesondere bei der Heißformgebung kann der Wärmeentzug aus dem Glas in die Formgebungswerkzeuge nicht vernachlässigt werden. Für die numerische Simulation des Wärmetransports bei der Heißformgebung wird u. a. der Wärmeübergangskoeffizient Glas - Form benötigt. Heißes Glas tritt in Kontakt mit einer kälteren Form. Zwischen der Glasoberfläche und der Form kann sich aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung beim Abkühlen eine Luftschicht bilden. Ohne eine solche Luftschicht »klebt« das Glas am Ende des Pressvorgangs an der Form. Ein solches »Ankleben« muss bei der Heißformgebung unbedingt vermieden werden. Alle diese Effekte besitzen Einfluss auf den Wärmeübergang und dessen Zeitabhängigkeit. Bei der mathematischen Modellierung dieser Prozesse ist die Strahlung des semitransparenten Glases zu berücksichtigen. Die Oberfläche der Form kann die Strahlung sowohl diffus als auch gerichtet reflektieren. An der Grenzlinie zwischen Glas und Form sind zur Beschreibung des Wärmeaustauschs Interface-Bedingungen zu stellen.

Zur Lösung des komplett beschriebenen eindimensionalen Transportproblems ist ein numerischer Algorithmus entwickelt worden, der die Temperaturverteilung in Glas und Form zeitabhängig berechnet. Im Vergleich zur bekannten Literatur wurden hier die Beiträge zum Wärmeübergang Glas-

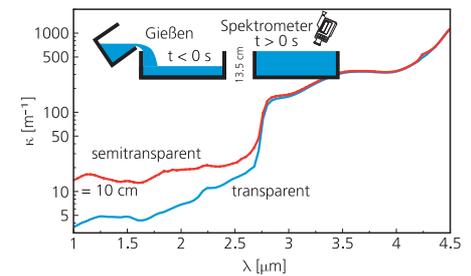
Form sowohl durch Materialkontakt als auch durch Strahlung berücksichtigt.

Von besonderem praktischen Interesse ist das inverse Problem: die Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten unter Berücksichtigung zusätzlicher Temperaturmesswerte. Auch hierzu wurde vom ITWM ein Verfahren entwickelt und in Software umgesetzt. Durch Anwendung dieses Verfahrens auf Messdaten aus Laborexperimenten, die bei der Firma Schott erzeugt wurden, können reine Kontakt-Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt werden.

Für die Glasindustrie wurde somit in den letzten Jahren eine Reihe von Softwarelösungen zur Kontrolle des Temperaturverhaltens entwickelt:

- Die Temperatur kann direkt durch eine ein- oder dreidimensionale Simulationsrechnung unter Berücksichtigung des für das Glas wichtigen Strahlungstransports ermittelt werden.
- Die für die Simulation notwendigen Parameter können indirekt aus anderen für den Ingenieur leichter zugänglichen Parametern bestimmt werden.
- Aus spektralen Strahlungsintensitäten, die mit einem Spektrometer gemessen werden, kann die Temperatur nicht nur an der Oberfläche, sondern auch innerhalb des Glases bestimmt werden.

Die Abbildung 5 zeigt das gute Zusammenspiel von Simulation und Messung.



Versuchsaufbau.

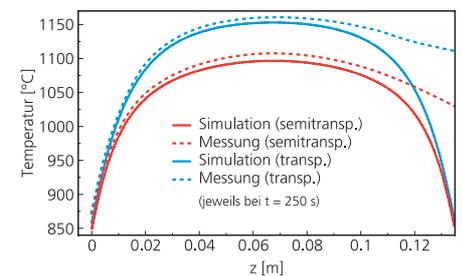


Abb. 5: Vergleich der simulierten und der durch Pyrometrie rekonstruierten Temperatur für zwei verschiedene Glassorten.

Partner:

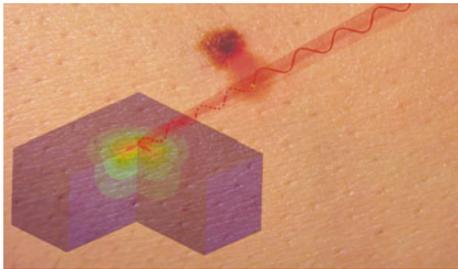
Schott Glas, Mainz

Kontakt:

Dr. Norbert Siedow

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 26

E-Mail: siedow@itwm.fhg.de



Versuchsaufbau.

## Strahlungstransport in stark streuenden Medien

Stark streuende Materialien sind in den verschiedensten technischen Bereichen anzutreffen. Zur Thermoisolation - beispielsweise von Schmelzwannen in der Glasproduktion - werden keramische Stoffe als Isoliermaterialien eingesetzt. Bei hohen Temperaturen sind diese keramischen Werkstoffe semitransparent. Neben Wärmeleitung werden die Isoliereigenschaften dann auch durch Wärmestrahlung beeinflusst. Im Gegensatz zu Glas sind Keramiken stark streuende Materialien. In der Medizin werden Photonen- und Elektronenstrahlen seit geraumer Zeit zur Diagnostik und Therapie verwendet. So gehören beispielsweise die Computertomographie in der Krebsdiagnose oder die Dosimetrie in der Krebstherapie zu den anerkannten Behandlungsmethoden. Die Optische Tomographie wird weltweit zur Erkennung von Strukturen und Eigenschaften in menschlichem Gewebe erforscht. Die laserinduzierte interstitielle Thermotheapie erweist sich als erfolgversprechender Ansatz zur Behandlung von Gehirntumoren. Die Liste der Anwendungen im Medizin- und Industriebereich ist also lang.

Der Strahlungstransport wird mathematisch durch eine Integro-Differentialgleichung, die Strahlungstransportgleichung, beschrieben. Diese Gleichungen erfordern für ihre Lösung den Einsatz numerischer Algorithmen. Derzeit verwendete numerische Verfahren beruhen entweder auf einfachen Diffusionsansätzen, die die zu untersuchenden Prozesse nur ungenau beschreiben können, oder auf sehr zeitaufwendigen Monte-Carlo-Simulationen, die die mikroskopischen Vorgänge modellieren. Abhängig vom konkreten Modell ist die Entwicklung neuer effizienter numerischer Verfahren unbedingt not-

wendig. Am ITWM wurden in den letzten Jahren numerische Verfahren auf der Grundlage asymptotischer Entwicklungen untersucht, die sich durch eine gute Genauigkeit und eine sehr hohe Rechengeschwindigkeit auszeichnen. Diese verbesserte Diffusionsapproximation geht dabei jedoch nur von zwei physikalischen Grundprozessen aus: der Emission und der Absorption. Eine Erweiterung des Verfahrens für stark streuende Medien ist sowohl aus wissenschaftlicher Sicht als auch aus praktischen Erfordernissen notwendig. Zur numerischen Lösung der Strahlungstransportgleichung wurden verschiedene Verfahrensklassen untersucht. Ist die Streuung dominant gegenüber der Absorption, dann lässt sich mit asymptotischen Überlegungen die Transportgleichung durch eine Diffusionsgleichung ersetzen, deren Lösung mit Standardmethoden vorgenommen werden kann. Verwendet man die Methode der Diskreten Ordinaten, dann erhält man ein sehr großes, jedoch schwach besetztes Gleichungssystem. Als Lösungsalgorithmus bietet sich ein vorkonditioniertes CG-Verfahren an, wobei die Strahlungstransportgleichung ohne Streuung als Vorkonditionierer geeignet ist. Die sogenannte DSA-Vorkonditionierung verwendet die  $P_1$ -Approximation. Insbesondere für stark streuende oder optisch dicke Medien ist diese Art der Vorkonditionierung sehr effektiv. Für den Fall isotroper bzw. linear isotroper Streuung lässt sich die Strahlungstransportgleichung als eine Integralgleichung mit schwach singulärem Kern formulieren. Verschiedene Diskretisierungsverfahren sowie Panel-Cluster-Techniken wurden theoretisch untersucht und für den eindimensionalen Fall Vergleichsrechnungen durchgeführt.

Gefördert durch:

Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation

Kontakt:

Dr. Norbert Siedow

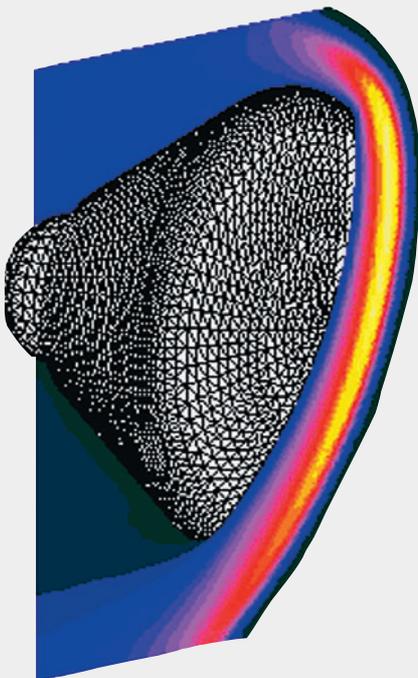
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 26

E-Mail: siedow@itwm.fhg.de



Transportvorgänge

Das Kompetenzfeld Kinetik hat seine Ursprünge in den langjährigen Arbeiten der Gruppe um Prof. Dr. H. Neunzert zur Simulation verdünnter Gasströmungen. Im Umfeld der europäischen Raumfahrtprogramme entstand hier das Simulationstool ParBoSS (Parallel Boltzmann Simulation System), ein vollständig parallelisiertes, modular aufgebautes Werkzeug zur Lösung der Boltzmann-Gleichung mit Modulen u. a. für Vibration, Rotation und Chemie. Das Tool ist am ITWM verfügbar und wird gepflegt - eine Weiterentwicklung findet aber zur Zeit nicht statt. Trotzdem resultieren aus dem nach wie vor auch personell vorhandenen Know-how im Bereich kinetischer Gleichungen besondere Stärken in der Modellierung von Problemen mit ausgeprägtem Skalencharakter (mikroskopisch, mesoskopisch, makroskopisch). Das nachfolgende Projektbeispiel aus der aktuellen Forschung zeigt die Herleitung von Verkehrsablaufmodellen (makroskopische Skala) aus Modellen des individuellen Fahrerverhaltens (mikroskopische Skala).



ParBoSS - Temperaturverteilung um die ARD-Kapsel beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre.

## Entwicklung, analytische Grundlagen und numerische Simulation von Verkehrsablaufmodellen

Realistische und numerisch handhabbare Verkehrsablaufmodelle werden in Zukunft den Kern moderner Verkehrsleittechniksysteme bilden und so helfen, unser bestehendes Straßennetz optimal auszunutzen. Im Bereich der Verkehrsablaufsimulation für Autobahnen kommen neben zellulären Automaten insbesondere makroskopische (hydrodynamische) Modelle in Betracht. Letztere besitzen prinzipiell ein ausgezeichnetes Potential verschiedenste Verkehrssituationen auch quantitativ befriedigend wiederzugeben. Allerdings wurde in der Literatur der letzten Jahre die korrekte Form der Gleichungen und die Wahl der auftretenden Koeffizienten kontrovers diskutiert. Die Kontroverse konnte im laufenden Projekt auf Basis einer kinetischen Ableitungsprozedur zu Gunsten des sogenannten Aw/Rascle-Modells entschieden werden. Ein Schwachpunkt aller bisherigen Ableitungsprozeduren makroskopischer Gleichungen ist der Umweg über die numerische Lösung der homogenen stationären Gleichungen. Selbst Existenz und Eindeutigkeit solcher Lösungen sind für die bislang entwickelten Modelle noch Gegenstand aktueller Forschung. Neben der abgeschlossenen Begründung des Aw/Rascle-Modells konzentrierte sich die Projektarbeit daher auf die Entwicklung und Analyse neuer analytisch handhabbarer kinetischer Modelle – auch hier gelang ein Durchbruch. Aktuelle Arbeiten zielen auf die Einführung und Begründung von Diffusionstermen in den makroskopischen Modellen.



Verkehrsfluss auf Autobahnen.

Gefördert durch:  
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Partner:  
Prof. Dr. Axel Klar  
TU Darmstadt, AG Wissenschaftliches Rechnen

Kontakt:  
Dr. Raimund Wegner  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-39 26  
E-Mail: wegner@itwm.fhg.de

# Simulationsbasierte Regelung und Optimierung



Thermo-elektrischer Flansch.

Wie muss das Bauteil zur Zuführung eines Heizstromes geformt sein, damit sich eine homogene Temperaturverteilung einstellt? Mit welcher Spannung muss ein Basslautsprecher beschickt werden, damit er ein vorgegebenes akustisches Signal verzerrungsfrei reproduziert? Wie muss Schüttgut auf einer Halde verteilt werden, damit überall ein gleichmäßig gutes Mischungsverhältnis herrscht?

Aus mathematischer Sicht haben diese zunächst recht unterschiedlich erscheinenden Fragestellungen eine gemeinsame Struktur:

- Die interessante Größe ist ein Feld, also eine räumliche und zeitliche Verteilung: z. B. das Schallfeld in und um den Lautsprecher, das Temperaturfeld im Flansch oder die Rohstoffmischung an verschiedenen Orten des Mischbettes. Die Abhängigkeit dieser Felder von Geometrie-, Material- und weiteren Parametern lässt sich durch partielle Differentialgleichungen oder verwandte Modelle beschreiben. Die Simulation besteht dann in der Diskretisierung und numerischen Lösung dieser Gleichungen, z. B. per Finite-Elemente-Methode.



Bassreflexlautsprecher.

- Die Regelung oder Optimierung zielt auf die Minimierung einer Funktion dieses Feldes, z. B. der Abweichung des Schalldrucks vom Referenzsignal an einem bestimmten Hörpunkt, der Varianz der Flanschttemperaturen oder der Abweichung von einer Sollmischung in Segmenten einer Halde.
- Die Felder lassen sich nicht nur durch einige wenige Parameter beeinflussen, unter denen man vielleicht noch durch Probieren geeignete finden könnte. Vielmehr werden ganze Parameterfunktionen gesucht: Spannungen für alle Zeiten des Lautsprecherbetriebes, die Dicke des Flansches über allen Punkten seiner Grundfläche oder Ort, Quellstärke und Zusammensetzung der Schüttgutzufuhr für alle Zeiten des Haldenaufbaus.

Die Kompetenz des ITWM bei der Bearbeitung derartiger Probleme, also der Kopplung von Regelung bzw. kontinuierlicher Optimierung mit der Lösung partieller Differentialgleichungen, wird nun anhand von drei repräsentativen Projekten dargestellt.



Mischbett.



## Flanschoptimierung

Flansche werden in der Glasindustrie zur elektrischen Beheizung von Platinrohren, in denen die Glasschmelze fließt, genutzt. Durch die Einleitung von elektrischem Strom  $j$  und dadurch erzeugte Joulesche Wärme in der Rohrwandung kann die Temperatur der Glasschmelze beeinflusst werden. Der Flansch soll dabei das Rohr homogen erwärmen und insbesondere Kristallbildungen der Glasschmelze an den Rohrwänden verhindern.

Solche ungewünschten Inhomogenitäten beeinflussen die Qualität des Glases entscheidend. Die Regelung der Flanschttemperatur nur durch den einzuleitenden elektrischen Strom reicht nicht, um solche lokalen Effekte zu vermeiden. Deshalb muss zusätzlich die Geometrie des Flansches derart bestimmt werden, dass in einem Teilgebiet  $S$  in der Nähe des Rohranschlusses die Temperatur des Flansches möglichst konstant ist. Dieses Optimal-Shape-Design ist ein inverses Problem, bei dem neben der homogenen Temperatureinleitung vom Flansch ins Rohr weitere Bedingungen zu beachten sind: das elektrische Potential genügt der Potentialgleichung, die Temperatur der Wärmeleitungsgleichung, betriebswirtschaftliche Aspekte sind zu berücksichtigen. Da die Flanschdicke sehr klein im Verhältnis zu den anderen Abmessungen ist, kann das dreidimensionale Shape-Design-Problem mit Hilfe eines asymptotischen Ansatzes auf ein zweidimensionales Parameteridentifikationsproblem reduziert werden. Die zu bestimmende Parameterfunktion ist die Dicke  $h(x,y)$  des Flansches.

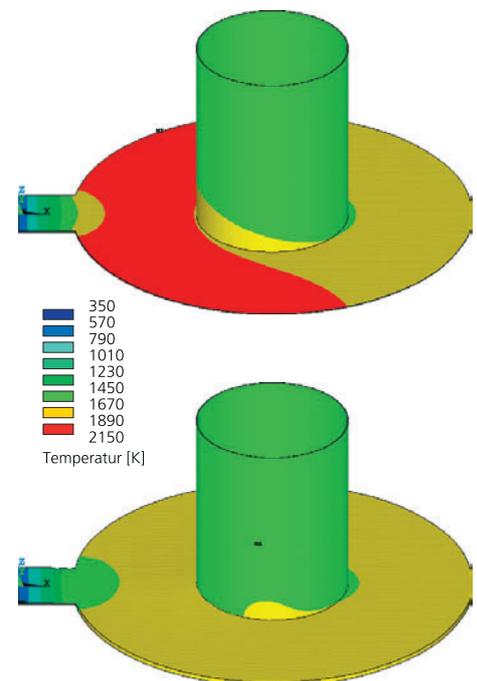
$$\vec{\nabla}_{(x,y)} \cdot (h(x,y) \vec{\nabla}_{(x,y)} \phi_0(x,y)) = 0, \\ \text{für } (x,y) \in \Omega,$$

$$\vec{\nabla}_{(x,y)} \cdot (h(x,y) \vec{\nabla}_{(x,y)} T_0(x,y)) = \\ \frac{h(x,y) |\vec{\nabla}_{(x,y)} \phi_0(x,y)|^2}{k_t \rho_e}, \\ \text{für } (x,y) \in \Omega.$$

Dieses inverse Problem wurde mit Lagrangeschen Multiplikatoren gelöst und ein entsprechendes Programm entwickelt. Dem Industriepartner wurde damit ein Werkzeug in die Hand gegeben, das eine wesentlich einfachere Entwicklung von Flanschen unter entsprechenden betriebstechnischen Erfordernissen ermöglicht.



Thermo-elektrischer Flansch.



Temperaturverteilung vor und nach der Optimierung.

Partner:

Schott Glas, Mainz

Kontakt:

Dr. Norbert Siedow

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 26

E-Mail: siedow@itwm.fhg.de

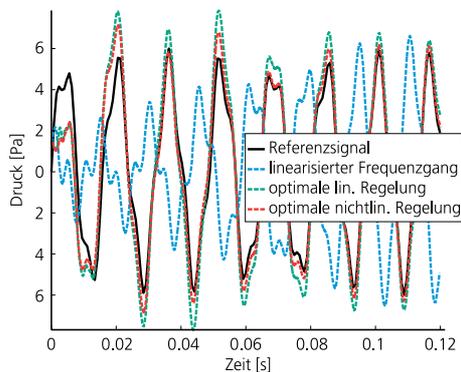
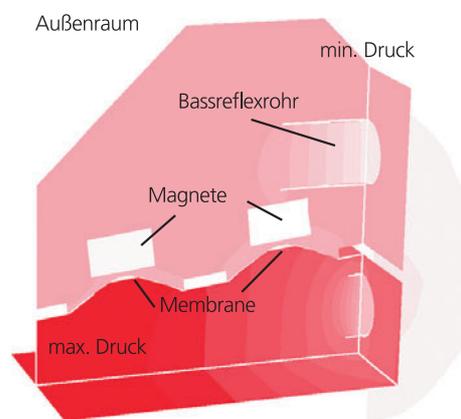


Abb. 6: Unterschiedliche Regler im Vergleich.



Simulierte Druckverteilung in einem Bassreflexlautsprecher.

## Digitale Vorausentzerrung bei kompakten Lautsprechergehäusen

In der professionellen Beschallungstechnik verlangt der Markt nach Bassreflexlautsprechern, die trotz geringem Gehäusevolumen höhere Leistung und verbesserte Klangqualität liefern. Das Unternehmen KS-Beschallungstechnik entwickelt deshalb kompakte Tieftöner mit neuartiger DSP-gestützter Regelung. Diese wird nichtlineare Verzerrungen ausgleichen, die bei hohen Schalldrücken und kleinen Gehäusen auftauchen, sowie die Einschwingzeit nach Signalen minimieren, die sich abrupt ändern. Das FuE-Projekt der Firma wird von der Investitions- und Strukturbank (ISB), Mainz gefördert. Als wissenschaftlicher Partner ist das ITWM verantwortlich für das Regelungskonzept und die Software zur Optimierung der Gehäuseform. Letztere erfolgt auf Grundlage nichtlinear berechneter Schallfelder hoher Amplitude.

Das Regelungskonzept unterscheidet sich erheblich sowohl von herkömmlichen Filtern zur Linearisierung des Frequenzgangs als auch von nichtlinearen Filtern wie dem Mirror-Filter. Es sieht vor, mit Hilfe eines digitalen Signalprozessors das nichtlineare Lautsprecherverhalten in Echtzeit zu simulieren und daraufhin die Klemmenspannung so zu berechnen, dass einerseits der Schalldruck dem Eingangssignal möglichst genau folgt und andererseits die elektrische und mechanische Belastung unkritisch bleiben. Kern der Echtzeitsimulation ist ein nichtlineares Zustandsraummodell des Lautsprechers. Es beschreibt, wie sich dessen Zustandsgrößen, z. B. die Membranauslenkung, unter dem Einfluss der Klemmenspannung zeitlich ändern. Zusätzlich wird die Impedanz gemessen, um den berechneten Zustand nachzukorrigieren. Aufgrund dieser Schätzung und des einige Millisekunden vorweggenomme-

nen Eingangssignals wird schließlich die Klemmenspannung berechnet. Die besonderen Herausforderungen des Regelungsproblems sind die Nichtlinearitäten, die Echtzeitberechnung und die vom Referenzsignal abhängige - also veränderliche - Zielfunktion. Um das entsprechende Optimierungsproblem alle 10 ms lösen zu können, wird es durch Verknüpfung von Computeralgebra und asymptotischer Analysis auf die Auswertung eines großen Polynoms mehrerer Veränderlicher reduziert.

Zweites Projektziel ist die Optimierung der Gehäuseform. Wegen der hohen Amplituden reicht die Wellengleichung, die die Grundlage kommerzieller Akustiksoftware bildet, nicht mehr zur Beschreibung aus. Daher wurde am ITWM eine Approximation der Eulergleichungen abgeleitet, die im Gegensatz zur Wellengleichung die Membranauslenkung nicht nur in erster, sondern in zweiter Ordnung berücksichtigt. Für harmonische Anregungen sind trotzdem auch weiterhin nur lineare Helmholtzgleichungen zu lösen.

Für virtuelle Basslautsprecher, die sich durch nichtlineare Modelle dritter Ordnung exakt beschreiben lassen, wurde die Wirkung des Reglers simuliert. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse für einen Lautsprecher mit schwach gedämpfter Resonanz bei ca. 60 Hz dargestellt. Gegenüber einem linearen Regler ansonsten gleichen Prinzips ist das Überspringen reduziert. Verglichen mit einem herkömmlichen Filter zur Linearisierung des Amplitudenfrequenzgangs sind Einschwingzeit und Klirrfaktor geringer und das Signal wird phasentreu reproduziert. Gegenwärtig wird ein Programm zur automatischen Parameteridentifikation aus Messdaten erstellt und die erweiterte Wellengleichung in die Akustiksoftware HeSol – eine Eigenentwicklung – integriert.

Partner:  
KS Beschallungstechnik GmbH,  
Hettenleidelheim

Kontakt:  
Dr. Jan Mohring  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 86  
E-Mail: mohring@itwm.fhg.de



## Mischung von Schüttgut

Im Auftrag der Firma MVT Maschinen- und Verfahrenstechnik Bernhard Blatton GmbH wurde Software zur Regelung und Simulation von Mischbetten weiterentwickelt. Mischbetten dienen der Homogenisierung und Mischung großer Mengen verschiedener Schüttgüter, z. B. in der Zementindustrie. Das Projekt wurde gemeinsam von den Abteilungen Transportvorgänge und Adaptive Systeme bearbeitet.

In der unteren Abbildung auf Seite 30 ist ein modernes Mischbett dargestellt. Die Rohstoffe gelangen aus getrennten Bunkern auf ein gemeinsames Förderband, werden im Brecher zerkleinert, online auf ihre chemische Zusammensetzung hin untersucht und schließlich vom Absetzer im Mischbett aufgeschichtet. Der Mischeffekt resultiert daraus, dass das Material quer zu den Aufhaldeschichten scheibenweise abgetragen wird. Ziel der Regelung ist es, die Rohstoffzufuhr aus den Bunkern so zu steuern, dass die Zusammensetzung der abzutragenden Scheiben gewisse Anforderungen erfüllt, z. B. nur in engen Grenzen um Sollwerte für Kalkstandard und Silikatmodul schwankt. Die Mischbettsimulation ermittelt dazu, wie sich das vorgemischte Material über der Halde und schließlich auf die abzutragenden Scheiben verteilt. Durch Messungen ist dies mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

Im Rahmen eines vorangegangenen Projekts wurden am ITWM zunächst die mathematischen und algorithmischen Grundlagen zu Regelung und Mischbettsimulation gelegt und ein Simulationswerkzeug für Forschungs- und Werbezwecke entwickelt. Gegenstand des aktuellen Projektes war die Einbeziehung des Transportsystems. Die Bunker sind über verschiedene lange, teilweise aufeinanderführende

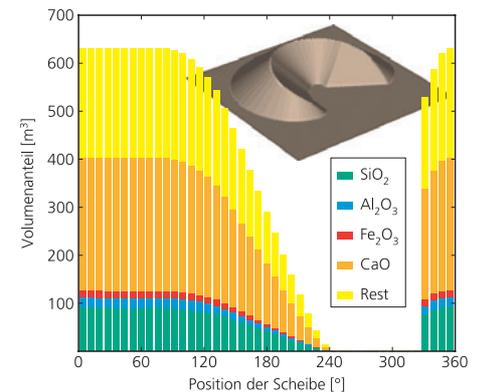
Bänder mit dem Messgerät verbunden. Unter anderem sind folgende Fragen zu klären: Wann und in welchen Mengen haben diejenigen Rohstoffe die Bunker verlassen, die gerade gemessen werden? Wann und wie müssen die Bandgeschwindigkeiten eingestellt werden, damit am Abwurfpunkt - also zeitversetzt - das gewünschte Mischungsverhältnis erreicht wird?

Die Vormischregelung hat drei wesentliche Aspekte:

- Von der gemessenen Zusammensetzung des vorgemischten Materials ist auf die Zusammensetzung der Rohstoffe in den Bunkern zu schließen. Dies geschieht mit Hilfe eines Beobachters.
- Die Rohstoffzufuhr ist so zu regeln, dass gewisse Moduln optimale Werte annehmen. Dies führt auf ein quadratisches Optimierungsproblem mit linearen Nebenbedingungen.
- Zur Interpretation der Messergebnisse und zur rechtzeitigen Einstellung der Bandgeschwindigkeiten ist das Transportsystem zu simulieren.

Grundlage der Mischbettsimulation bildet ein am ITWM entwickeltes schnelles Lösungsverfahren für eine bekannte Variationsungleichung. Diese beschreibt die Verteilung eines Granulats bei schwacher Materialzufuhr. Der Diskretisierungsfehler lässt sich sicher abschätzen.

Mit Hilfe der entwickelten Software ist es z. B. möglich, Homogenisierungseffekte des Mischbettes zu quantifizieren und daraus Garantieleistungen abzuleiten, Mischbettgröße und Schichtzahl auf das nötige Maß zu reduzieren und verschiedene Regler, Auf- und Abhaldevorgänge zu vergleichen und Modifikationen durchzuspielen.



Rundmischbett: Gestalt und Zusammensetzung.

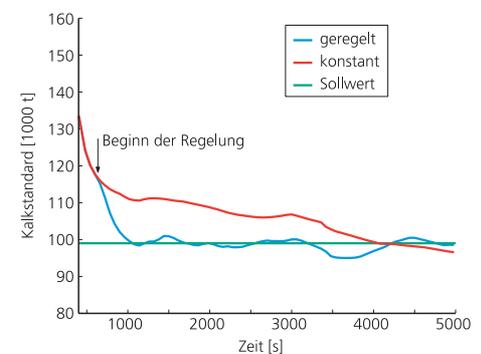


Abb. 7: Zeitliche Entwicklung eines Qualitätsparameters (Kalkstandard) innerhalb der jeweils zuletzt auf das Mischbett aufgebrauchten 1000 t gemischten Materials, einmal mit konstantem und einmal mit geregelttem Mischungsverhältnis. Die Zusammensetzung der zu mischenden Rohstoffe schwankt zufällig um gewisse Mittelwerte.

Partner:

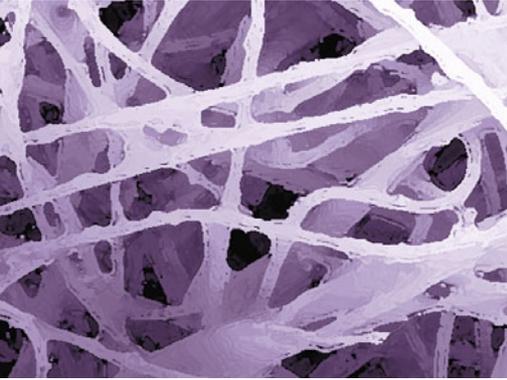
MVT Maschinen- und Verfahrenstechnik Bernhard Blatton GmbH, Dillingen

Kontakt:

Dr. Jan Mohring  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 86  
E-Mail: mohring@itwm.fhg.de

Dr. Günter Gramlich (Adaptive Systeme)  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 42  
E-Mail: gramlich@itwm.fhg.de

# Abteilung Strömung in komplexen Strukturen



In der Abteilung »Strömung in komplexen Strukturen« werden mathematische Modelle und Algorithmen zur Simulation und Optimierung vorwiegend strömungsdynamischer Prozesse in komplexen Strukturen entwickelt. Die Geschäftsfelder liegen schwerpunktmäßig im Bereich poröser Materialien (insbesondere technischer Textilien) und der Füllprozesse (insbesondere Gießsimulation von Kunststoffen und Metallen). Nach der Gründung im Frühjahr 1999 gibt es mittlerweile fünf Arbeitsschwerpunkte, die im folgenden ausführlich beschrieben werden.

## Simulation poröser Materialien

Die Projekte befassen sich mit der Auslegung und Optimierung technischer Textilien in sehr unterschiedlichen Einsatzgebieten, die von der Filterindustrie bis zur Papier- und Windelherstellung reichen.

## Virtuelles Materialdesign

Mit dem Werkzeug der Mikrostruktursimulation können offenporige Materialien (Vliese, Papiere, Schäume) hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften optimiert werden.

## Füll- und Gießprozesse

Die Simulation von Füllprozessen mit der numerischen Schwierigkeit der Behandlung freier Oberflächen bildet die Kernkompetenz dieses Bereiches. Aktuelle Anwendungsgebiete neben dem Metallguss sind der Spritzguss von faserverstärkten Kunststoffteilen.



Dr. Franz-Josef  
Pfreundt



Dr. Konrad Steiner



Dr. Irina Ginzburg



Dipl.-Math.  
Michael Hilden



Dr. Oleg Iliev



Dipl.-Math.  
Dirk Kehrwald



Dr. Peter Klein



M.Sc. Vsevolod  
Laptev



Dr.-Ing.  
Joachim Linn



Strömung in komplexen Strukturen

## Hochwasser- und Risikomanagement

Für kritische Hochwassersituationen wie z. B. das Überlaufen von Kanalsystemen oder das Überfluten von Kellern werden geeignete Simulationsverfahren entwickelt und ein Planungstool für Kommunen und Versicherungen erstellt.

## Parallel Computing und Visualisierung

Die aufwendigen Strömungssimulationen in komplexen Strukturen erfordern die Nutzung von parallelen Rechner-Systemen. Hierzu werden geeignete parallele Algorithmen insbesondere für PC-Cluster entwickelt.

## Forschungsaktivitäten

Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten ist die Weiterentwicklung der verallgemeinerten Lattice-Boltzmann Methode (LBM). LBM ist besonders für Strömungssimulationen in geometrisch komplizierten Strukturen geeignet, wie sie in den abteilungsspezifischen Anwendungen (Mikrostruktursimulation, Füllprozesse) auftreten. Die Forschung erfolgt in enger Kooperation mit der AG Technomathematik der Universität Kaiserslautern und in einem neu gegründeten DFG-Forschungsverbund.

### Kontakt:

Dr. Konrad Steiner  
Abteilungsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-40 80  
E-Mail: steiner@itwm.fhg.de



Dr.-Ing.  
Carsten Lojewski



Dr. Klaus-Peter  
Nieschulz



Dr. Doris  
Reinel-Bitzer



Dipl.-Phys. Martin  
Rheinländer



Dipl.-Math.  
Stefan Rief



M.Sc.  
Dimiter Stoyanov



Dr. Ramiro Guerra  
Valdes

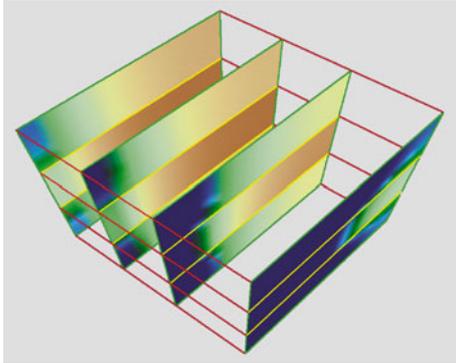


Dr. Andreas  
Wiegmann



Dr. Aivars Zemitis

# Simulation poröser Materialien



Sättigung in verschiedenen Querschnitten eines vielschichtigen Materials in einer 3D-Simulation mit VSIM.

## Prozesse und Anwendungen

Poröse Materialien spielen in einer Vielzahl industrieller Prozesse eine Schlüsselrolle. Unsere Forschungsarbeit beschäftigt sich vorwiegend mit textilen Materialien, Papier und Membranen – sie ist jedoch nicht darauf begrenzt. Die Modellierung und Simulation von Transportprozessen in porösen Materialien bildet die Kernkompetenz dieses Bereiches. Aktuelle Projekte befassen sich mit der Auslegung und Optimierung technischer Textilien für die Filter-, Papier-, Windel- und Vliesstoffindustrie.

## Mathematische Modelle und Methoden

Das mathematische Modell einer gesättigten Strömung in porösen Medien basiert auf dem Gesetz von Darcy. Für eine ungesättigte Strömung wird der Spezialfall der Richards-Gleichung betrachtet. Spezielle Modelle für elastische poröse Materialien dienen der Berechnung von Verformungen. In jedem Fall können die Materialparameter (z. B. Permeabilität) durch die Simulation der Mikrostrukturen berechnet werden (s. S. 40 »Virtuelles Materialdesign«).

Bei nicht-isothermen Prozessen kommen Konvektions-Diffusions-Gleichungen zum Einsatz. Die Fictitious-Domain-Methode und die Level-Set-Methode werden im Falle von komplexen Geometrien und/oder sich verändernden Rändern angewendet.

## VSIM – Strömungen in mehrschichtigen porösen Materialien

Für die Verbesserung von Eigenschaften hinsichtlich des Flüssigkeits- oder Feuchtigkeitstransports werden häufig textile Schichten mit verschiedenen Eigenschaften miteinander (oder textile Schichten mit einer Membran) kombiniert. Solche Kombinationen finden sich u. a. bei der Herstellung von Bekleidung, Schuhen, im Baugewerbe.

Hier wurde das bereits früher entwickelte Software-Tool VSIM für die Simulation von gesättigten und ungesättigten Strömungen in einem mehrschichtigen porösen Quader weiter verfeinert. VSIM ist mit einem benutzerfreundlichen Interface und einer erweiterten Datenbank für textile Materialien und Parametrisierungen versehen (siehe ITWM-Tätigkeitsberichte 1998 und 1999). Für die Simulation spezieller Fragestellungen wird Software zu Forschungszwecken entwickelt, die bei Nachfrage mit einem benutzerfreundlichen Interface ausgerüstet und geliefert werden kann.



## Flüssigkeitstransport in Windeln mit superabsorbierenden Polymeren

Bei Hygieneartikeln werden superabsorbierende Polymere (SAP) benutzt, um Flüssigkeiten aufzunehmen. Das Verhältnis der Aufnahme freier Flüssigkeiten durch SAP sowie ihr Quellverhältnis sind entscheidend für die Leistungsfähigkeit dieser Materialien. Die Aufnahme von Flüssigkeiten durch SAP wird üblicherweise durch eine gewöhnliche Differentialgleichung erster Ordnung modelliert. Ein entsprechender Senkenterm erscheint in der Richards-Gleichung. Dem Quellen des SAP wird gegenwärtig durch die Anwendung von Volumenbilanzen Rechnung getragen.

Durch die Simulation des Flüssigkeitstransports in Windeln mittels superabsorbierenden Polymeren lässt sich deren Leistungsfähigkeit bezüglich

- Rate und Menge der aufgenommenen Flüssigkeit,
- Menge der freien Flüssigkeit,
- Auftreten von Gel-Blocking usw.

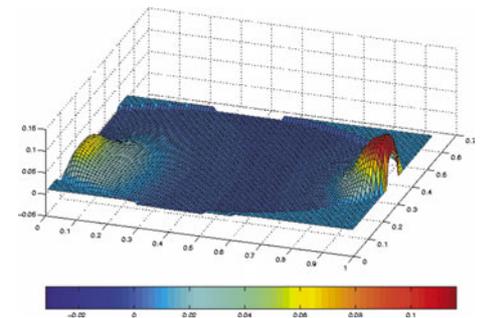
vorhersagen. Art, Menge und Verteilung des SAP in einer Windel kann durch die numerische Simulation optimiert werden.

## Flüssigkeitstransport in Filtern

Ein Ziel ist es, durch die Untersuchung des Verhältnisses zwischen dem Massenfluss durch einen Ölfilter und dem Druckabfall sowie der räumlichen Verteilung des Massenflusses durch den porösen Filter das Design von Ölfiltern zu verbessern.

Die Strömung in flüssigen und porösen Medien wird in rein flüssigen Bereichen durch die Navier-Stokes-Gleichungen und in gesättigten porösen Medien durch die Brinkmann-Gleichung modelliert. Die numerische Lösung erfolgt über einen Fictions-Domain-Ansatz und eine Finite-Volumen-Diskretisierung im Gesamtgebiet.

Die Simulation der Strömung von Öl durch einen Filter gibt Aufschluss über die lokale Geschwindigkeits- und Druckverteilung. Durch die Berechnung des Massenflusses durch den Filter lässt sich beobachten, wie stark die Verschmutzung in den verschiedenen Bereichen des Filters ist. Durch die Änderung der Form können Filter entworfen werden, die gleichmäßiger wirken.

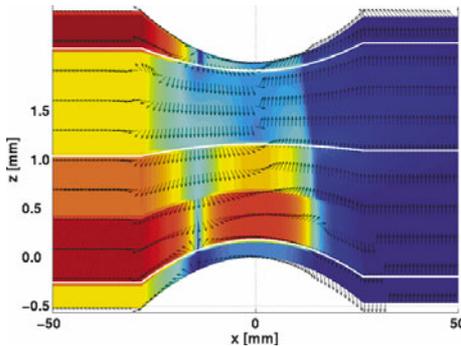


Verteilung des Massenflusses, betrachtet von der Oberfläche eines Ölfilters (Simulation der 3D-Strömung in einem Filter).

## Kontakt:

Dr. Aivars Zemitis  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 91  
E-Mail: zemitis@itwm.fhg.de

Dr. Oleg Iliev  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-28 51  
E-Mail: iliev@itwm.fhg.de



Walzenpressspalt und relative Geschwindigkeit des Wassers zum Filz (rot: schnell, blau: langsam).

## Simulation der Pressenpartie bei Papiermaschinen

Mit einer Breite von 6-10 m und einer Länge von bis zu 200 m steht die Papiermaschine im Mittelpunkt der Papierherstellung. Hauptbestandteile sind Sieb-, Pressen- und Trockenpartie. In der Siebpartie wird die Fasersuspension mit einem Flüssigkeitsanteil von bis zu 99 % auf das Nass-Sieb aufgebracht. Durch natürliches Abfließen und Vakuumsauger erreicht man hier einen Feuchtegehalt von 80 %. Die Pressenpartie quetscht die auf Filzen laufende Papierbahn aus, und in der Trockenpartie reduziert man mittels dampfgeheizter Zylinder die Feuchte nochmals von 50 % auf ca. 5-8 %.

### Pressenpartie

Die Bedeutung der Pressenpartie wird klar, wenn man sich verdeutlicht, dass die Kosten bei thermischer Entwässerung mehr als zehnmals höher liegen als beim Pressen. Die Funktionsweise des Pressspalts ist die folgende: Die Papierschicht läuft auf einem Filz durch den Pressspalt. Das Papier-Filz-Sandwich wird dabei komprimiert und das Wasser aus der Papierbahn in den Filz gedrückt. Angefangen bei der Pressenkonstruktion bis hin zum Filzdesign gibt es unzählige Einflussfaktoren auf die Entwässerungsleistung. Der Filz spielt dabei eine zentrale Rolle. Das mechanisch sehr stabil konstruierte Grundgewebe muss z. B. den Anforderungen der hohen Maschinengeschwindigkeiten (bis 2000 Meter pro Minute) standhalten und so gebaut sein, dass es ausreichend Stauraum für das aus der Papierschicht gepresste Wasser bietet. Außerdem werden dem Filz durch entsprechende Konstruktion anisotrope Durchlässigkeiten für Flüssigkeiten mitgegeben, so dass man die Entwässerungsströme im Spalt steuern kann.

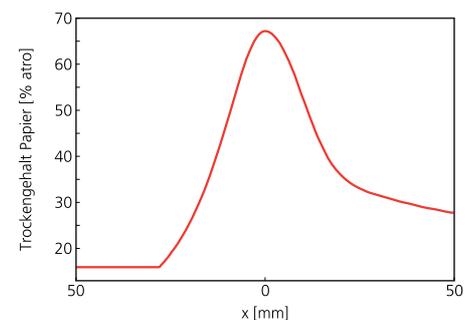
## Modellierung und Simulation

Reale Tests neuer Filzdesigns sind teuer und zeitaufwendig. Hier will die mathematische Modellierung und Computersimulation ein wichtiges Hilfsmittel sein, um vorab schnell und kostengünstig neue Papiermaschinenbespannungen am Rechner testen und auswählen zu können.

Wir modellieren das Papier-Filz-Sandwich als elastisches poröses Medium. Die notwendigen Materialparameter wie die Durchlässigkeiten des Mediums für Fluide, die visko-elastischen Parameter des Filzes usw. werden dabei einerseits aus Messungen bestimmt, sind aber, was die Strömungsparameter angeht, ebenfalls vom ITWM mittels Mikrostruktursimulation berechenbar. Diese Unabhängigkeit von realen Messungen ist besonders für das Design zukünftiger Bespannungen von entscheidender Bedeutung. Die Validierung dieser virtuellen Messung erfolgte in guter Übereinstimmung mit existierenden Daten.

### Ergebnisse

Mit Hilfe der Simulation haben wir eine Vergleichsstudie verschiedener realer Filztypen durchgeführt und sie nach ihrer Entwässerungsleistung klassifiziert. Die Klassifikation steht qualitativ in guter Übereinstimmung mit der Praxis.



Trockengehalt des Papiers im Pressspalt: Prozentualer Anteil an Fasern in der Papiersuspension.

Partner:  
Thomas Josef Heimbach GmbH & Co., Düren

Kontakt:  
Dipl.-Math. Stefan Rief  
Tel.: +49(0) 6 31/205-41 91  
E-Mail: rief@itwm.fhg.de

## Simulation der Tropfenverteilung von pharmazeutischen Sprays

Heutige Arzneimittel werden in unterschiedlichen Darreichungsformen hergestellt. Dieses Projekt behandelt einen treibgasfreien Vernebler. Er erzeugt einen feinverteilten, »sanften« Sprühnebel für die Therapie von Lungenerkrankungen (z. B. Asthma, COPD). Dabei spielt die Dosis der Medikamente und die Tropfenverteilung im Spray eine entscheidende Rolle. Diese zwei Charakteristiken hängen von den strömungsspezifischen Bedingungen ab. Die Tropfenentstehung im Spray ist ein sehr komplexer Prozess. Deshalb müssen für ein umfassendes Verständnis des Gerätes neben aufwendigen Messungen auch theoretische Studien herangezogen werden.



Zerstäuber »Respimat« – bestehend aus Mundstück mit Düse, Vorratskartusche und Bodenteil.

### Methode

Mathematische Modelle und Simulationen können ein besseres Verständnis über die Gesetzmäßigkeiten des Gerätes liefern. Die Tropfenentstehung im Gerät basiert auf dem Zusammenstoß von zwei Flüssigkeitsstrahlen. Diese Strahlen bilden einen Flüssigkeitsfilm. Aufgrund der hydrodynamischen Instabilitäten entstehen am Rande des Flüssigkeitsfilms Tropfen. Mathematische Simulationen erlauben, die einzelnen Schritte der Tropfenentstehung gezielt zu untersuchen. Im Rahmen des Pro-

jektes für die Bestimmung der Charakteristiken des Sprays wurde eine eigene Software entwickelt und Programmpakete wie FastFLO® und FLUENT® verwendet. In Abbildung 1 ist das Geschwindigkeitsfeld bei der Wechselwirkung des Flüssigkeitsfilms mit einem Hindernis dargestellt.

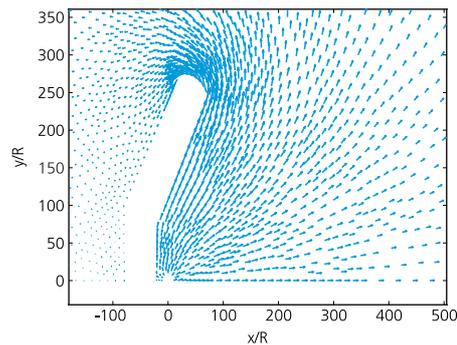


Abb. 1: Umströmung eines Hindernisses.

Die Erstellung eines mathematischen Modells für die Berücksichtigung der Interaktion des Flüssigkeitsfilmes mit dem Gerät war ein wichtiger Bestandteil des Projektes. Dabei wurde ein Modell vorgeschlagen, das die Reflektion des Flüssigkeitsfilmes von der Oberfläche des Gerätes mitsimuliert. Die Form des Films konnte durch die Lösung von Differentialgleichungen bestimmt werden. Die simulierte Kurve und eine Mikroskopaufnahme des Flüssigkeitsfilms sind in Abbildung 2 dargestellt.

### Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurden existierende Modelle für die Bestimmung des Tropfenspektrums erweitert. Damit war es möglich, Parameter des Sprays (z. B. den inhalierbaren Anteil) zu bestimmen. Unterschiedliche Charakteristiken des Gerätes wurden variiert und entsprechende Simulationen durchgeführt. Damit konnten Trends für die weitere Entwicklung und Verbesserung des Gerätes ermittelt werden.



Abb. 2: Mikroskopaufnahme des Flüssigkeitsfilms. Die rote Kurve entspricht der Simulation.

Partner:  
Boehringer Ingelheim, Ingelheim am Rhein

Kontakt:  
Dr. Aivars Zemitis  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 91  
E-Mail: zemitis@itwm.fhg.de

Dr. Oleg Iliev  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-28 51  
E-Mail: iliev@itwm.fhg.de

## Strömungssimulation in Mikrostrukturen

Die Bedeutung der Strömungssimulation in Mikrostrukturen liegt in der Kosten- und Zeitersparnis bei der Entwicklung neuer und Verbesserung existierender Werkstoffe wie Schäumen, Vliesen, Papieren, Filzen und Keramiken. Vielfach werden bei der Entwicklung innovativer Produkte wie Filter, Dämmstoffe oder Katalysatoren die makroskopischen Eigenschaften dieser mikroskopisch heterogenen Werkstoffe genutzt. Die Mikrostruktursimulationen stellen den Zusammenhang zwischen mikroskopischen und makroskopischen Eigenschaften her.

Dazu werden zunächst räumliche Abbildungen kleiner Ausschnitte des Materials (mit Kantenlängen im Millimeterbereich) oder kleine Ausschnitte aus Realisierungen von Materialmodellen (s. S. 58 »Räumliche Bildanalyse und Modellierung von Mikrostrukturen«) im Computer abgelegt (s. Abb. 3). Durch spezielle mathematische Verfahren, nämlich die für Strömungen in komplexen Geometrien besonders geeignete Lattice-Boltzmann-Methode für die Navier-Stokes-Gleichungen (s. S. 45 »Modellierung von Formfüllvorgängen

mit Lattice-Boltzmann-Verfahren«) und mittels der mathematischen Methode der Homogenisierung werden dann makroskopische Materialeigenschaften (z. B. Durchlässigkeit, Kapillardruck, Schallabsorption) aus der Strömung in der mikroskopischen Struktur errechnet. Abbildung 5 auf Seite 42 zeigt beispielsweise gemessene akustische Absorptionseigenschaften sowie die durch Mikrostruktursimulation vorhergesagten akustischen Absorptionseigenschaften eines Vlieses.

## Möglichkeiten der Strömungssimulation in Mikrostrukturen

Durch Simulationsstudien über Variationen der Materialgeometrie (Feststoffanteil, Porengrößen usw.) und der Materialeigenschaften (Benetzungseigenschaften, Viskosität usw.) lässt sich die Änderung wichtiger Größen in Abhängigkeit von den variierten Materialparametern ermitteln. Anders als im Labor lässt sich jede einzelne Eigenschaft einstellen und variieren. Beim Materialdesign können so Herstellungsparameter im Hinblick auf technische Anforderungen an Bauteile optimiert werden.

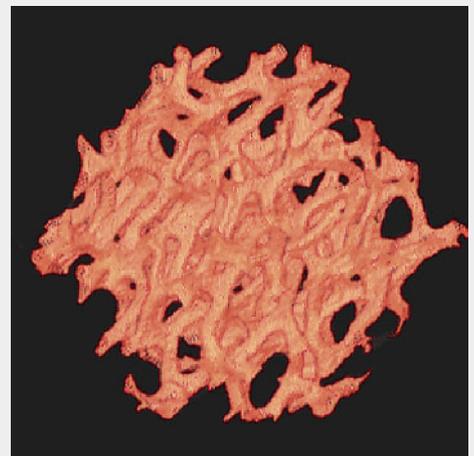
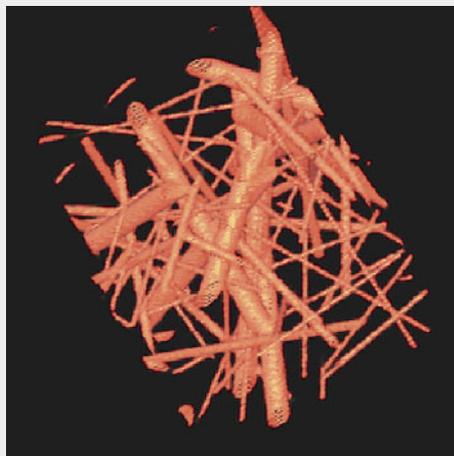
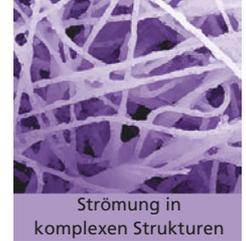


Abb. 3: Geometrien, in denen die strömungsdynamischen Simulationen durchgeführt werden: links: simuliertes Fasermaterial; rechts: tomographische Aufnahme eines Schaums.



Die Ergebnisse der Strömungssimulation werden in einer Verifikations- und Eichungsphase mit Messungen an exemplarisch ausgewählten Proben des wirklichen Materials verglichen.

Strömungssimulation ist sowohl in digitalisierten, dreidimensionalen Aufnahmen des Materials als auch in dreidimensionalen Geometriemodellen der Materialien möglich. Am ITWM gibt es für verschiedene Materialtypen (Fasermaterialien, Schäume, gekörnte Materialien) Geometriemodelle, in die die charakteristischen Eigenschaften des Materials (z. B. Porosität, Faserradien) eingehen (s. S. 59 »Modellierung von Mikrostrukturen«). Abbildung 3 (links) zeigt das Modell eines anisotropen Fasermaterials mit einer gegebenen Faserradienverteilung, Abbildung 3 (rechts) zeigt die Aufnahme eines Schaums. Bei Bedarf können am ITWM auch kundenspezifische neue Modelle entwickelt werden.

Die Strömungssimulation ist für einphasige Strömungen (z. B. Luft) und zweiphasige Strömungen (z. B. Wasser/Luft, Öl/Luft) durchführbar.

Durch modernste Visualisierungstechniken kann eine Anschauung von den materialinternen Vorgängen und ein Verständnis der technischen Zusammenhänge gewonnen werden.

### Das Know-how des ITWM

- Kenntnis mathematischer Modelle (Strömungsmechanik, Akustik, ...) und ihrer numerisch korrekten Umsetzung in Software.
- Kontakte zu bildaufnehmenden Firmen und insbesondere Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, die Mikrostrukturen analysieren können oder mit ihrer Nutzung Erfahrung

haben, z. B. Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP.

- Schnelle Software (s. S. 49 »Parallel Computing und Visualisierung«) sowie entsprechende Rechnerkapazitäten, um aussagekräftige, umfangreiche Studien durchführen zu können.
- Visualisierungs- und Internettechnologie (s. S. 51 »Visualisierung dynamischer und statischer Volumendaten«), die erlaubt, die Ergebnisse schnell und verständlich darzustellen und aus dem Modell in den Anwendungsbereich zurückzutransferieren.
- Fähigkeit, durch obiges Know-how kompetenter Ansprechpartner und Projektkoordinator in komplexen, viele Partner integrierende Projekten zu sein.

Innerhalb des Bereiches »Mikrostruktursimulationen« werden derzeit zwei Masterarbeiten zu den Themen »Effektive Elastizitätsmodulen von Mikrostrukturen« und »Schnelle Löser für Gleichgewichtszustände der Stokes- und Navier-Stokes-Gleichungen« betreut. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten sollen später in Industrieprojekten verwendet werden.

Die Ergebnisse der Mikrostruktursimulation werden bereits in mehreren laufenden Projekten mit unterschiedlichen Partnern aus Industrie und Forschung genutzt.

Partner:

Kunststofftextilhersteller

Filterwerk Mann+Hummel GmbH, Speyer

Kontakt:

Dr. Doris Reinel-Bitzer

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 28

E-Mail: reinel\_bitzer@itwm.fhg.de

Dr. Andreas Wiegmann

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 85

E-Mail: wiegmann@itwm.fhg.de

## Strömung von Luft und Öl in Filtern

Luftentölelemente sind aus Schichten von Glasfaserpapieren und Vliesen aufgebaut. Die verschiedenen Materialeigenschaften sind für die Funktionsweise des Filters entscheidend. Ziel ist die Entwicklung eines Filters mit minimalem Restölgehalt bei minimalem Druckabfall. Wir bestimmen zunächst durch Mikrostruktursimulationen die Eigenschaften von Glasfaserpapieren. Die Abbildung 4 (links) zeigt die Ölverteilung in einem anisotropen Papier der Porosität 0,94. Das Öl benetzt die Fasern nicht und es bilden sich Tropfen. Hat das Öl dagegen benetzende Eigenschaften, bilden sich entlang der Fasern Ölschichten aus (s. Abb. 4 rechts). Wir berechnen nun die mittlere Geschwindigkeit der Luft in dem System und können daraus die relative Durchlässigkeit bei verschiedenen Ölsättigungen bestimmen. Ebenso kann aus der Druckverteilung der Kapillardruck bei gegebener Ölsättigung berechnet werden. Durchlässigkeitskurve und Kapillardruckkurve sind die Eingaben für ein makroskopische Simulationstool, mit dem man charakteristische Eigenschaften von Ölfiltern berechnen kann.

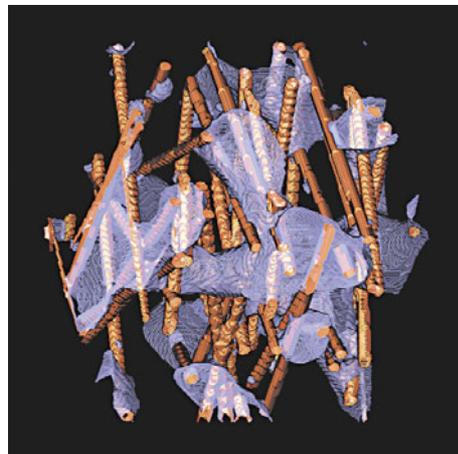
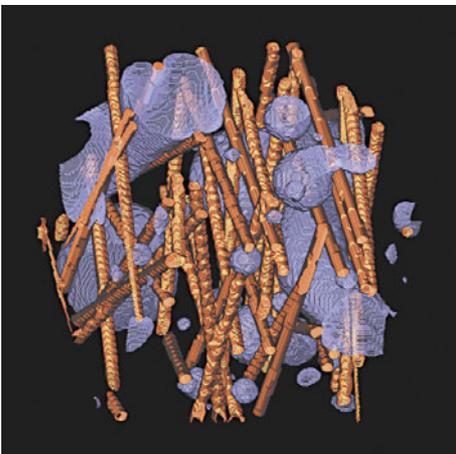


Abb. 4: Ölverteilung in einem anisotropen Fasermaterial. links: Öl benetzt die Fasern nicht; rechts: Öl benetzt die Fasern.

## Akustische Absorptionseigenschaften von Vliesstoffen

Die akustischen Absorptionseigenschaften technischer Textilien lassen sich aus Ergebnissen der Strömungssimulation vorhersagen. Dazu werden zunächst aus mikroskopischen und tomographischen Aufnahmen Modelle der Textilien erstellt, aus denen dann mittels Strömungssimulation Materialeigenschaften ausgerechnet werden, die wiederum in den akustischen Modellen benötigt werden. Die korrekte Vorhersage der akustischen Absorption aus der Mikrostruktur ist in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen der Textilindustrie in einem öffentlich geförderten Projekt nachgewiesen worden. Nach einer Bedarfsanalyse mit dem industriellen Partner wird derzeit ein Werkzeug weiterentwickelt, welches akustische Eigenschaften bestimmter technischer Textilien unter Nutzung geeigneter akustischer Modelle sowohl auf Basis von Strömungssimulationen in Mikrostrukturen als auch auf Basis geeigneter Messungen vorhersagen und optimieren kann.

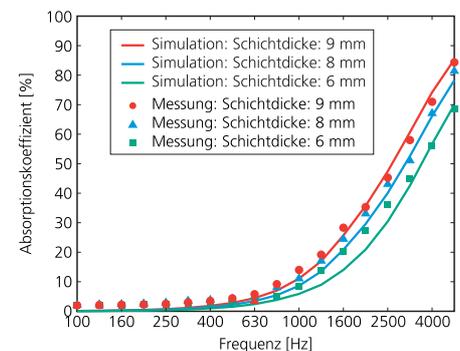


Abb. 5: Gemessene und durch Simulation vorhergesagte akustischer Absorptionskurven.

## Fadenumströmung beim Schmelzspinnen

Bei Spinnmaschinen für Kunststoff-Fäden (s. Abb. 6) wird eine Polymer-schmelze aus mehreren Spindüsen extrudiert. Die Fäden werden durch eine Luftströmung abgekühlt. Die Gleichmäßigkeit der Umströmung entscheidet wesentlich über die Qualität der Fäden. Ziel ist es, die Anlagen mit Blick auf höhere Abzugsgeschwindigkeiten und größere Fadendichten bei Aufrechterhaltung der Qualität zu optimieren.

## Simulationsmethode

Zur Simulation des Spinnprozesses werden zwei verschiedene Programme, die am ITWM entwickelt wurden, gekoppelt. Im Fadenmodul wird ein Polymerfaden als freier, zäher Flüssigkeitsstrahl beschrieben. Aus Massen-, Impuls- und Energiegleichung kann man Fadentemperaturen, -geschwindigkeiten und -radien berechnen. Die Fadendaten werden für jeden Faden der Düsenplatte bestimmt. Die Temperaturen und Reibungskräfte der Fäden gehen dann als Wärmequellen und lokale Kräfte in die Strömungssimulationen der Luft ein.

Im strömungsdynamischen Tool wird die Strömung der Luft um die Fäden mit der Lattice-Boltzmann-Methode berechnet (s. S. 40 »Strömungssimula-

tion in Mikrostrukturen« und S. 45 »Modellierung von Formfüllvorgängen mit Lattice-Boltzmann-Verfahren«). Die berechneten Temperaturen und Geschwindigkeiten der Luft an den Orten der Fäden gehen dann in den nächsten Aufruf des Fadenmoduls ein usw. Die für die Kopplung notwendigen Reibungskräfte und Wärmeübergänge wurden in der Dissertation von Thomas Götz für den Grenzfall dünner Fäden hergeleitet.

## Ergebnisse

Die Simulationsmethode wurde zunächst durch einen Vergleich mit Experimenten bei verschiedenen Düsenkonfigurationen überprüft. Abbildung 7 zeigt die Fadentemperatur der letzten Reihe als Funktion des Abstandes von der Spindüse bei sechs und zwölf Reihen. Liegen die Reihen versetzt, ist das Abkühlverhalten günstiger als wenn sie direkt hintereinander liegen.

Das Simulationsprogramm wurde außerdem an drei verschiedenen Polymeren (PP, PET und PA) und mit verschiedenen Blasluftprofilen durch einen Vergleich mit Experimenten validiert.

Mit dem getesteten Simulationstool können nun verschiedene Düsenkonfigurationen, Blasschachtgeometrien und Anblasprofile simuliert und die Ergebnisse verglichen werden, um so eine optimale Spinnkonfiguration zu finden.

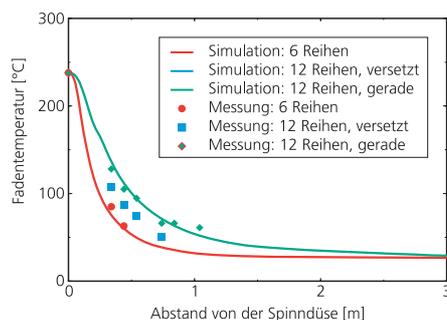


Abb. 7: Fadentemperatur



Abb. 6: Spinnanlage der Firma NEUMAG.

Partner:  
NEUMAG GmbH, Neumünster

Kontakt:  
Dr. Doris Reinel-Bitzer  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 28  
E-Mail: reinel\_bitzer@itwm.fhg.de

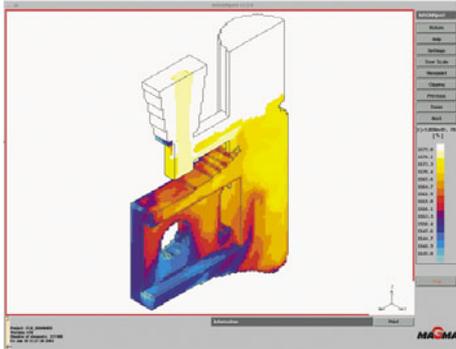


Abb. 8: Temperaturfeld in einer Hammerbox. Berechnung mit dem in MAGMASOFT® integrierten ParPac-Solver.

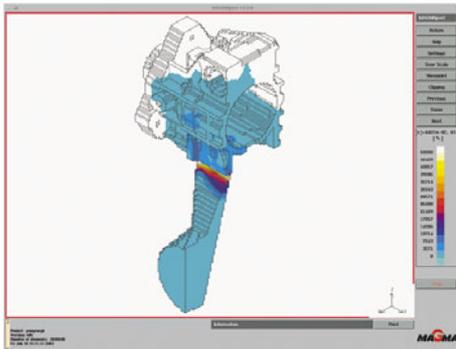


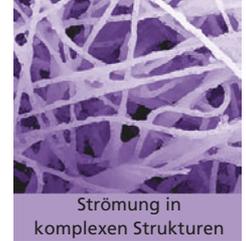
Abb. 9: Geschwindigkeitsbetrag in einem Pumpengehäuse (ParPac-Berechnung).

Mit der Simulation von Füll- und Gießprozessen beschäftigen wir uns am ITWM bereits seit Anfang 1996. Seitdem wurden verschiedene Projekte zum Thema Erstarrungssimulation durchgeführt (siehe ITWM-Tätigkeitsberichte 1996 bis 1999). Neben einzelnen Auftragsrechnungen, die (meist in kleineren Projekten mit Demonstrationscharakter) mit dem Softwarepaket MAGMASOFT® für verschiedene Gießereien durchgeführt wurden, stand dabei von Anfang an die Tätigkeit des ITWM als »scientific consultant« im Vordergrund. Der Schwerpunkt der Arbeit ist hierbei die Unterstützung von in der Region ansässigen Gießereien, die das Softwarepaket MAGMASOFT bereits verwenden, bei spezifischen Fragestellungen, die beim Einsatz der Software im betrieblichen Alltag auftreten. Langjährige Kunden des ITWM sind die Firmen HegerGuss und PHB-Stahlguss. Nach erfolgreichem Verlauf der abgeschlossenen Projekte wollen beide Firmen auch mittelfristig die Unterstützung durch das ITWM bei der Simulation der betriebsspezifischen Gießprozesse nutzen und vereinbaren jeweils entsprechende Folgeprojekte.

Die oben genannte Aktivität des ITWM war Ausgangspunkt für verschiedene Arbeiten im Gießereibereich. Zum einen ergab sich eine Zusammenarbeit mit den o. g. Gießereien in gemeinsamen Projekten zur Optimierung innerbetrieblicher Abläufe (siehe Artikel im Jahresbericht 1999 zu den Projekten in den Bereichen Kostenvorkalkulation/ Gussteilklassifikation und Prozess-Simulation/Auftragsterminierung). Mit der Firma MAGMA wurden verschiedene Projekte erfolgreich durchgeführt, die die Weiterentwicklung des Simulationsprogramms MAGMASOFT durch Entwicklung und Implementierung alternativer numerischer Verfahren unterstützen. Beispiele hierfür sind die in den vergangenen Jahren abgeschlossenen Projekte zur Parallelisierung der

Software (siehe Tätigkeitsberichte 1998/1999 zum PARMAG-Projekt) oder zur Entwicklung eines alternativen Gleichungslösers für die Erstarrungssimulation (siehe Tätigkeitsbericht 1999). Aktuell arbeiten MAGMA und das ITWM im ParPac-Projekt zusammen. Vom ITWM wird im Rahmen dieses Projektes eine angepasste Variante des Lattice-Boltzmann-Verfahrens entwickelt, die speziell für die Modellierung von Formfüllvorgängen beim Gießprozess mit Metallen geeignet ist (siehe folgende Seite).

Die Gleichungen zur Modellierung der Formfüllung beim Spritzgießen von Kunststoffen sind in vielerlei Hinsicht sehr ähnlich zu den Gleichungen für den Füllprozess beim Gießen von Metallen. In beiden Fällen handelt es sich um gekoppelte Wärmeleitungs-Strömungsprobleme mit freier Oberfläche. Unterschiede ergeben sich in erster Linie im Hinblick auf die Rheologie der beteiligten Fluide. Beim Spritzgießen mit faserverstärkten Thermoplasten möchte man nicht nur die Strömung des Fluids, sondern auch die Verteilung und Orientierung der in die Thermoplastschmelze eingebrachten Fasern berechnen. Auf diesem Gebiet arbeitet das ITWM seit Anfang 1999 sowohl mit der Firma MAGMA als auch mit dem Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) der Universität Kaiserslautern zusammen. Am ITWM wurde Software zur Berechnung der Faserorientierung beim Spritzgießen mit faserverstärkten Thermoplasten (s. S. 46 »Berechnung der Faserorientierung beim Spritzgießen mit faserverstärkten Thermoplasten«) zusammen mit MAGMA entwickelt. Die entwickelte Software wurde über eine geeignete Schnittstelle auch für das Programm SIGMASOFT® verfügbar gemacht.



## Modellierung von Formfüllvorgängen mit Lattice-Boltzmann-Verfahren

Im Rahmen des vom BMBF geförderten ParPac-Projekts wurde zur Füllsimulation ein Lattice-Boltzmann-Verfahren (LB-Verfahren) eingeführt, welches auch freie Oberflächen behandeln kann. Die Methode basiert auf der Rekonstruktion der unbekanntenen Besetzungszahlen an der Oberfläche durch eine Art Chapman-Enskog-Entwicklung, deren Koeffizienten mit Hilfe der Randbedingungen für die Grenze zwischen einer Flüssigkeit und einem Gas bestimmt werden. Da hierbei bei hohen Reynoldszahlen Instabilitäten auftraten, konzentrierten wir uns zunächst auf die Konstruktion stabilisierter numerischer Schemata.

Bisher wurden drei verschiedene Varianten betrachtet:

Die erste Methode (»Explicit Upwind«) bestand darin, die kinematische Viskosität  $\nu$  durch  $\nu + \nu^{\text{num}}(Pe)$  zu ersetzen, wobei die numerische Diffusion lokal von der Peclet-Zahl abhängt.

Um die bei mehreren Raumdimensionen auftretende Crosswind-Diffusion zu verringern, wurde im zweiten Ansatz die Gleichgewichtsverteilung der LB-Gleichung derart angesetzt, dass die resultierenden makroskopischen Gleichungen unterschiedliche Korrekturterme zum Diffusionstensor enthalten können. Somit konnten LB-Analoga zu vollem Upwind, stromlinienartigem Upwind und einigen anderen Verfahren eingeführt werden.

Als dritte Möglichkeit zur Eliminierung der Fluktuationen betrachteten wir das einfachste Turbulenzmodell:

Smagorinsky-Modell:

$$\nu \rightarrow \nu + \nu_T \quad \text{mit} \quad \nu_T = C_s^2 \|\mathbf{D}\|.$$

Die intrinsische Lokalität der LB-Methode bleibt in allen neuen Schemata erhalten, da alle Komponenten des Verzerrungstensors  $\mathbf{D}$  aus dem Nichtgleichgewichts-Anteil der Verteilungsfunktion abgeleitet werden.

Da die stabilisierten Schemata in der ParPac-Bibliothek implementiert sind, stehen sie für all unsere Anwendungen zur Verfügung. Die Struktur der Randschichten in Abbildung 10 zeigt, dass die numerische Diffusion des expliziten Upwind-Schemas die physikalischen Ergebnisse nicht zu stark beeinflusst. Eine genaue Analyse der stabilisierten Schemata wird in einem gerade anlaufenden DFG-Vorhaben untersucht.

Die Formfüllsimulation aus ParPac wurde gekoppelt mit der Erstarrungssimulation in MAGMASOFT. Die für die Erstarrungssimulation zu lösende Energiegleichung wird mit einer Operator-Splitting-Methode gelöst. Der konvektive Wärmetransport wurde im ParPac-Code integriert. Der konduktive Wärmetransport basiert auf der Lösung in MAGMASOFT. Als erstes Resultat einer derart kombinierten Simulation zeigen wir in Abbildung 8 das Temperaturfeld in einer Hammer-Box.

Da unter realistischen Bedingungen die Kompressibilität sehr hoch werden kann (siehe Abb. 9), untersuchen wir im Rahmen eines BMBF-Verbundvorhabens, inwiefern es möglich ist, unsere Methode mit einem adaptiven Raumgitter zu kombinieren.

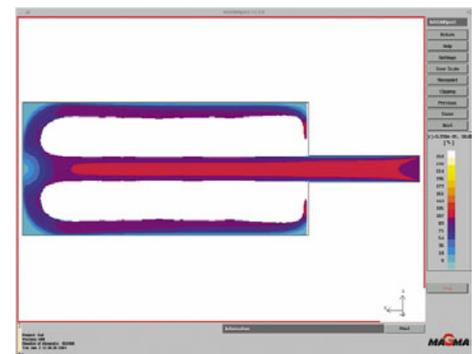
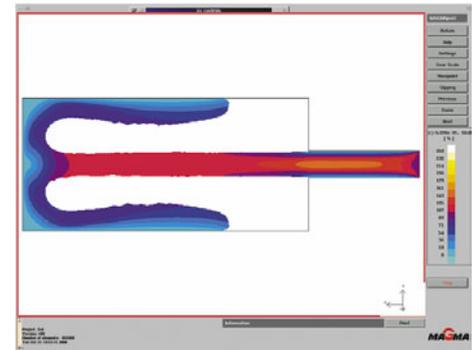


Abb. 10: Geschwindigkeitsbetrag in einem zweidimensionalen Hohlraum nach ca. 50 % der Füllzeit, Einströmgeschwindigkeit  $U = 100 \text{ cm/s}$ ; oben:  $Re = 50$ , viskose Effekte werden deutlich; unten:  $Re = 500$ , die »muschelförmige« Randschicht ist typisch für trägheitsdominierte Strömungen.

Partner:  
MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen

Kontakt:  
Dr. Irina Ginzburg  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 38  
E-Mail: ginzburg@itwm.fhg.de

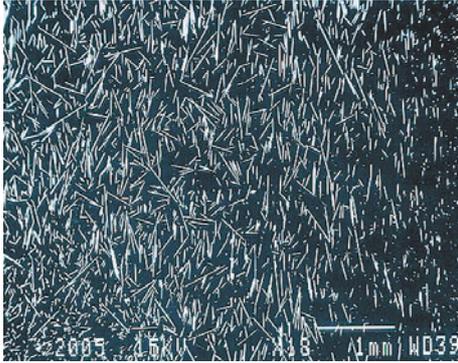


Abb. 11: Dieses Schliffbild zeigt einen etwa 1 cm<sup>2</sup> großen Ausschnitt aus der Schnittfläche eines faserverstärkten Spritzgussteils.

## Berechnung der Faserorientierung beim Spritzgießen mit faserverstärkten Thermoplasten

Bei der Simulation des Produktionsvorgangs von Spritzgussteilen, die aus faserverstärkten Thermoplasten hergestellt werden, spielt die Berechnung der Faserorientierung eine wichtige Rolle. Die Kenntnis der räumlichen Verteilung und Orientierung der verstärkenden Glasfaserstückchen ist nicht nur in Bezug auf die Vorhersage der anisotropen Materialeigenschaften im fertigen Spritzgussteil von Bedeutung. Bei einem in der Praxis üblichen relativ hohen Faservolumenanteil wird auch die Rheologie der Schmelze (und damit der Ablauf des Füllvorgangs) sowohl durch die Orientierung als auch durch die elastomechanischen Eigenschaften der einzelnen Fasern beeinflusst.

## Modellierung der Faserorientierungsdynamik

Ein einfacher Ansatz zur Modellierung der Orientierungsdynamik kurzer Faserstückchen in einer Thermoplastschmelze basiert auf der Beschreibung der Bewegung starrer (ellipsoidförmiger) Teilchen in einem viskosen Fluid (wie schematisch in Abb. 12 dargestellt).

Während sich der Schwerpunkt eines solchen Teilchens unter dem Einfluss der lokalen Strömungsgeschwindigkeit  $\vec{U}(\vec{r}, t)$  mit dem Fluid bewegt, rotiert das Teilchen um seinen Schwerpunkt unter dem Einfluss des lokalen Geschwindigkeitsgradienten. Die Rotationsbewegung wird durch die Bewegung eines entlang der Symmetrieachse ausgerichteten Einheitsvektors  $\vec{p}$  im Raum beschrieben.

Fasern kann man im Rahmen eines solchen Modells als »schlanke« Ellipsoide beschreiben, indem für das als »aspect

ratio« bezeichnete Verhältnis der Länge  $\ell$  der Rotationsellipsoide zu ihrem Durchmesser  $d$  ein numerischer Wert  $\ell / d \gg 1$  angenommen wird.

Im Vergleich zu den Abmessungen eines typischen Spritzgussteils sind die Abmessungen der einzelnen Faserstückchen winzig. Andererseits ist die Anzahl der Faserstückchen, die in einem relativ zum Spritzgussteil kleinen Volumen enthalten sind, sehr groß. Das in Abbildung 11 gezeigte Schliffbild vermittelt einen Eindruck hiervon. Dies motiviert den Übergang zu einer makroskopischen Beschreibung der lokalen Faserorientierung (FO) mittels einer durch räumliche Mittelung definierten Verteilungsfunktion  $\Psi(\vec{p}, \vec{r}, t)$ . An Stelle der Bewegungsgleichungen einzelner Faserstückchen wird dementsprechend die Fokker-Planck-Gleichung der Verteilungsfunktion betrachtet.

Um den numerischen Aufwand zur Berechnung der Orientierungsverteilung auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, führt man eine Entwicklung der Verteilungsfunktion nach Momenten durch und betrachtet an Stelle der Fokker-Planck-Gleichung für die Verteilungsfunktion die aus dieser Entwicklung resultierende Hierarchie von Evolutionsgleichungen der Momente. Als erste nichttriviale Momentengleichung dieser Hierarchie erhält man die sogenannte »Folgar-Tucker-Gleichung« (kurz: FT-Gleichung), in der als abhängige Variable die kurz als »FO-Tensor« bezeichnete Matrix

$$a_{ij}^{(2)}(\vec{r}, t) = \int_{S^2} d\vec{p} p_i p_j \Psi(\vec{p}, \vec{r}, t)$$

auftritt. Der FO-Tensor ist eine experimentell – z. B. durch Auswertung von Schliffbildern – erfassbare Größe und enthält wichtige Informationen über die lokale FO-Verteilung, die deren Eigenschaften weitgehend beschreiben.

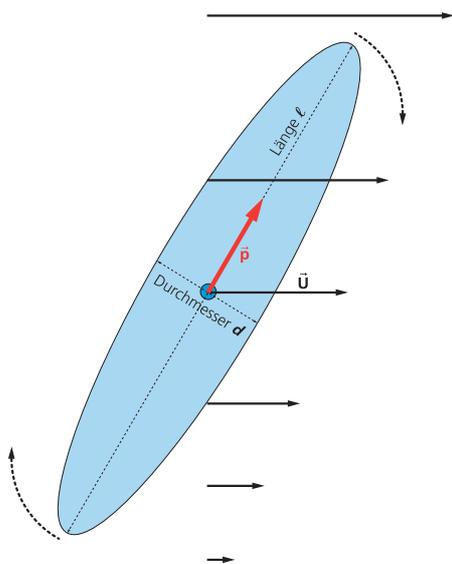


Abb.12: Schematische Darstellung der Bewegung eines starren, ellipsoidförmigen Teilchens im lokalen Strömungsfeld.



Mathematisch lässt sich  $a_{ij}^{(2)}$  als reelle, symmetrische  $3 \times 3$ -Matrix charakterisieren, deren Eigenwerte alle im Intervall  $[0,1]$  liegen, wobei die Summe der drei Eigenwerte stets exakt den Wert 1 hat. Der numerische Wert eines Eigenwertes entspricht somit dem Anteil der lokal in Richtung des entsprechenden Eigenvektors orientierten Fasern, und als lokale Hauptorientierungsrichtung ergibt sich dementsprechend die Richtung des zum größten Eigenwert gehörigen Eigenvektors.

### 3D-Berechnung von Strömung und Faserorientierung in einer Rippe

In vielen kommerziellen Softwarepaketen zur Simulation von Spritzgussprozessen werden sowohl die Strömung als auch die Faserdynamik als 2D-Prozesse modelliert. Diese Näherung vereinfacht die numerischen Berechnungen erheblich, liefert jedoch nur für geeignete Gussteilgeometrien mit gleichmäßig dünner Wandstärke brauchbare Ergebnisse. Mit einem 2D-Ansatz ist es jedoch beispielsweise nicht möglich, für das Verhalten nicht-Newtonscher Strömungen typische »Quellfluss-Effekte« zu beschreiben. Diese führen in der Praxis zur Ausbildung einer charakteristischen Schichtstruktur in der (real in 3D betrachteten) Faserorientierung, die wiederum für die Ausbildung anisotroper Materialeigenschaften eine wichtige Rolle spielt.

In der Simulation von Spritzgussteilen, deren Geometrie wesentlich dreidimensionale Merkmale (wie z. B. abrupte Änderung der Wandstärke oder Rippenansätze) aufweist, ist die Verwendung von (lokalen) 2D-Modellen nicht mehr möglich. Sowohl für die Berechnung der Strömung als auch für die Berechnung der FO-Dynamik benötigt man in diesem Fall 3D-Modelle. Ein Beispiel für die bei solchen Spritzgussteilen auftretenden 3D-Effekte ist in

dem in Abbildung 13 gezeigten Bildausschnitt zu sehen, der einen Bereich am Ansatz einer Rippe zeigt. Das Strömungsfeld wurde mit dem von der Firma MAGMA entwickelten Softwarepaket SIGMASOFT simuliert. Auf der Basis des in der Füllsimulation berechneten Strömungsfeldes wurde die Faserorientierung nach dem FT-Modell berechnet. Die lokale FO wird durch den Richtungsvektor der Hauptorientierung (siehe oben) dargestellt, wobei der lokale Anteil der entlang dieser Richtung orientierten Fasern an der Farbskala abgelesen werden kann. Man erkennt gut den unterschiedlichen Orientierungsgrad in Rand- und Kernschicht. Insbesondere in der Rippe kann man einen durch das lokale Strömungsfeld verursachten Verlauf der FO beobachten, der sich nicht mit Hilfe eines einfachen 2D-Modells beschreiben lässt.

### Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Für die Weiterentwicklung des Softwaremoduls zur FO-Berechnung ist geplant, eine Rückwirkung der lokalen FO auf die Rheologie der Schmelze in der Berechnung des Strömungsfeldes durch Verwendung eines anisotropen Materialgesetzes zu berücksichtigen, welches die (ohne Berücksichtigung des FO-Einflusses isotrope) skalare Viskosität um einen additiven, von den Komponenten des FO-Tensors abhängigen Term zu einem orthotropen Viskositätstensor ergänzt. Auch die Modellierung einer räumlich inhomogenen Faserkonzentration, für die im »einfachen« FT-Modell bisher (in erster Näherung) ein konstanter Wert angenommen wird, ist Bestandteil des erweiterten Modells. Darüber hinaus soll in einem öffentlichen Forschungsprojekt (gemeinsam mit dem IVW) die Anwendbarkeit des Modells für langfaserverstärkte Thermoplaste untersucht werden.

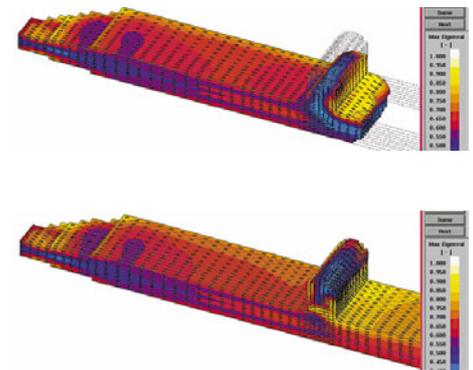


Abb. 13: Visualisierung der Ergebnisse einer 3D-Berechnung von Strömung und Faserorientierung in der Füllsimulation für ein einfaches Spritzgussteil mit rippenartiger Struktur im SIGMASOFT-Postprozessor.

Partner:

Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern  
MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen

Kontakt:

Dr.-Ing. Joachim Linn  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 36  
E-Mail: linn@itwm.fhg.de

# Hochwasser- und Risikomanagement



Pfingsten 2000 in Kindsbach  
(Landkreis Kaiserslautern, Foto: G. Kries).

Aufgrund von Starkniederschlagsereignissen kommt es in Siedlungsgebieten oft zu Überlastungen der Entwässerungssysteme, die durch Hochwasser nahegelegener Flüsse noch verschärft werden. Die Folge sind hohe Schäden an Gebäuden und städtischer Infrastruktur. Aus dieser Situation ergeben sich eine Reihe von Problemkreisen, die Gegenstand von Untersuchungen sind:

- Aus- und Überlastung des Entwässerungssystems einschließlich möglicher Fließwege an der Oberfläche,
- Schadensquantität und -qualität, z. B. in Abhängigkeit vom Wasserstand,
- rechnerischer Nachweis gesetzlicher Regeln (Europäische Wasserrahmenrichtlinie, EN 752: »Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden«),
- Planungsszenarien für den Anschluss von Neubaugebieten an die Entwässerung und für die Erneuerung ganzer Teilsysteme,
- versicherungswirtschaftliche Fragen sowie
- das Katastrophenmanagement.

## Mathematik und Modellierung

Die Lösung dieser Probleme soll mit Simulationsmodellen, die die Realität wiedergeben, vorgenommen werden. Mathematisch stellen diese Modelle eine numerische Realisierung von Erhaltungsgleichungen (Masse, Impuls, eventuell Wärme) unter Berücksichtigung verschiedener zusätzlicher Prozesse (z. B. Verdunstung) dar. Gegenstand der Arbeit sind die Modellbildung selbst und die numerische Behandlung resultierender partieller Differentialgleichungssysteme.

## Projekt RisUrSim



Unter dem Akronym verbirgt sich das EUREKA-Projekt »Risk Management in Urban Areas – Simulation and Optimization«, gefördert durch das BMBF.

In einer internationalen Projektgruppe, bestehend aus Siedlungswasserwirtschaftlern, kommunalen Planern, Versicherungsfachleuten und Mathematikern, werden unter Federführung des ITWM verschiedene Aspekte aus dem geschilderten Problemkreis bearbeitet. Als Ergebnis soll ein Software-Prototyp entstehen, der den Kommunen, der Versicherungswirtschaft und der Wissenschaft gleichsam als Arbeits- und Entwicklungswerkzeug bei der Lösung anstehender Fragestellungen dient.

## Überfluten von Hindernissen

In seiner Dissertation beschäftigt sich Michael Hilden mit der Modellierung von Wasserströmungen. Zur Berechnung von Überflutungsszenarien in urbanen Gebieten werden üblicherweise Flachwassergleichungen eingesetzt, wobei die vertikalen Geschwindigkeitskomponenten vernachlässigt werden.

Wenn Wasser aus Kanalschächten oder über Bordsteinkanten strömt, gelten diese Annahmen nicht. In Extremfällen können fehlerhafte Ergebnisse zu falschen Aussagen führen (ein Keller wird oder wird nicht geflutet).

Derzeit werden erfolgversprechende Modifikationsansätze der Flachwassergleichungen entwickelt und getestet.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung  
EUREKA/COST

Partner:

NTNU Trondheim (N), Dep. of Hydraulic and  
Environmental Engineering

Universität Kaiserslautern,  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft  
SINTEF Civil and Environmental Engineering,  
Trondheim (N)

Deutsche Rückversicherung AG, Düsseldorf  
Stadtentwässerung der Städte Kaiserslautern und  
Trondheim (N)

Kontakt:

Dr. Klaus-Peter Nieschulz  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-40 01  
E-Mail: nieschulz@itwm.fhg.de



Paralleles Rechnen war bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich im Bereich der öffentlichen Forschung, der Meteorologie und bei wenigen Großunternehmen angesiedelt. Durch die Initiativen der Europäischen Union und auf Grund der wachsenden Bedeutung der Simulation 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 ITWM zählt zu den Pionieren beim Einsatz von PC-Clustern für industrielle Simulationsaufgaben. Erste Systeme mit am ITWM entwickelten Applikationen auf Basis einer eigenen LINUX-Distribution wurden bereits 1995 an Kunden ausgeliefert. Heute betreibt das ITWM zur Entwicklung paralleler Software und zur Durchführung industrie-relevanter Berechnungsaufgaben ein PC-Cluster-System mit 64 CPUs und einer Hochgeschwindigkeitsvernetzung.

Am ITWM entwickelte Softwarepakete werden heute grundsätzlich für den Einsatz auf parallelen Rechnersystemen vorbereitet. Ebenso werden im Kundenauftrag existierende kommerzielle

Softwarepakete »parallelisiert«. Die Schwerpunkte der Forschungsarbeit liegen hier in den Bereichen parallele Algorithmen, Dynamisches Load Balancing, objektorientierte Softwarestrukturen für parallele Software sowie in der Berücksichtigung von speziellen Aspekten des Clustercomputings.

Große Berechnungsaufgaben erzeugen große Datenmengen, welche effizient zu verwalten und zu analysieren sind. Die interaktive Visualisierung dieser Berechnungsdaten ist deshalb enorm wichtig. Mit der Entwicklung eines sehr schnellen, parallelen Verfahrens zur Volumenvisualisierung auf Standard-PC-Hardware unter LINUX zeigt das ITWM einen Ausweg aus dem Visualisierungsproblem, das heute durch oft teure Spezialhardware und teure Rechnerkomponenten verursacht wird (vgl. S. 51 »Visualisierung dynamischer und statischer Volumendaten«)

Schwerpunkt der Aktivitäten des Jahres 2001 werden neben der Weiterentwicklung und Ausdehnung der Softwarebasis die stärkere Verknüpfung von Visualisierung und Simulation, die Entwicklung von Grid-Applikationen (verteiltetes Rechnen im Internet), sowie der Ausbau der vorhandenen Rechnerkapazität sein.



Myrinet-Cluster am ITWM.

#### Kontakt:

Dr. Franz-Josef Pfreundt  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 44  
E-Mail: pfreundt@itwm.fhg.de

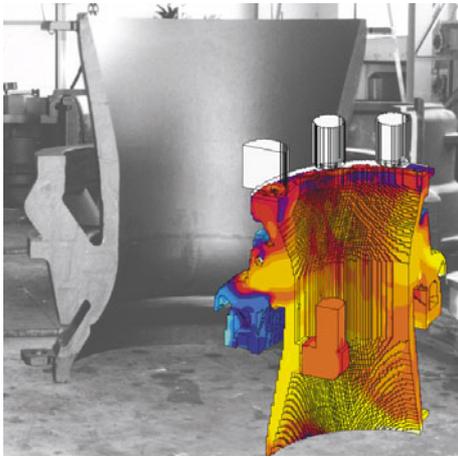
Dr. Peter Klein  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-38 85  
E-mail: klein@itwm.fhg.de

Dr. Carsten Lojewski  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 28  
E-mail: lojewski@itwm.fhg.de

Dipl.-Math. Dimitar Stoyanov  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-41 90  
E-mail: stoyanov@itwm.fhg.de

#### Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Hwang Hu  
Margarike Martin  
Ciler Nerkiz  
Arno Hornberger



Diffusor: Realität und Simulation.

## Füllsimulation

Das nebenan zu sehende Beispiel einer Füllsimulation im Schwerkraftguss ist ein typisches Berechnungsbeispiel mit hohen Anforderungen an Speicherplatz und Rechenzeit. Typische Rechenzeiten auf Einprozessor-Workstations liegen hier im Bereich von mehreren Tagen.

In Zusammenarbeit mit der Firma MAGMA Gießereitechnologie, Aachen, wurde sowohl der vorhandene Berechnungscode parallelisiert als auch ein vollkommen neuer Berechnungscode für die Füllsimulation am ITWM entwickelt (s. S. 45 »Modellierung von Formfüllvorgängen mit Lattice-Boltzmann-Verfahren«).

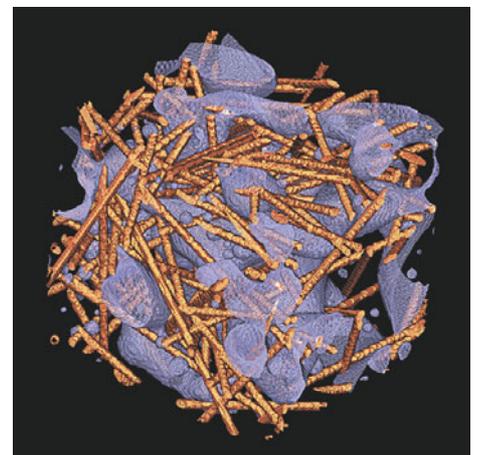
Ein zentrales Problem bei der Parallelisierung der Füllsimulation besteht in der sich ständig verändernden Rechenlast. Aufgabe der Parallelisierung ist es, das Rechengbiet auf die Prozessoren zu verteilen, dies dynamisch anzupassen, um für eine gleichmäßige Auslastung zu sorgen und Datenaustauschmechanismen bereitzustellen. Diese drei Grundanforderungen der Parallelisierung wurden in einem vollständig objektorientierten Design umgesetzt, was eine nahezu vollautomatische Parallelisierung von Applikationen erlaubt. Mathematische Optimierungsverfahren sorgen dabei für eine optimale Gebietszerlegung bei gleichzeitiger Minimierung des Kommunikationsaufwandes. Diese Softwarebibliothek wurde am ITWM außer zur Füllsimulation für weitere Strömungsdynamikcodes eingesetzt.

Das Ergebnis kann sich sehen lassen. Statt in Tagen liegt das Berechnungsergebnis jetzt in Stunden vor, und eine preiswerte PC-Cluster-Technologie macht diesen Fortschritt auch für mittelständische Firmen verfügbar.

## Strömungsprozesse in porösen Materialien

Mehrphasenströmungen in porösen Materialien können durch die am ITWM entwickelte ParPac-Software effizient berechnet werden. Aus den periodischen Randbedingungen erwachsen daraus erhebliche Kommunikationsanforderungen, da die Anzahl der Kommunikationspartner stark anwächst. Dies stellt insbesondere für PC-Cluster ein Problem dar. Mit dem am ITWM entwickelten Verfahren der chromatisch geordneten Kommunikationsmuster (vgl. ITWM-Tätigkeitsbericht 1999) wurde dennoch eine gute Skalierbarkeit erreicht.

Die extremen Anforderungen, die insbesondere 2-Phasenströmungen mit Materialien sehr unterschiedlicher Dichte an Rechenleistung und Speicherbedarf stellen, konnten dadurch erfüllt werden. Die Berechnung größerer Probleme der Mikrostrukturanalyse sprengt dennoch die gegenwärtige Kapazität des am ITWM verfügbaren Parallelrechners.



Zweiphasenströmung in Filtermaterial.



## Computational Steering

Trotz großer Anstrengungen, die Rechenzeiten mittels Parallelisierung klein zu halten und die Visualisierung zu beschleunigen, erfordert die Durchführung eines kompletten Engineering-Prozesses immer noch sehr viel Bearbeitungszeit, die insbesondere durch die heute noch übliche Entkoppelung der Bearbeitungsschritte verursacht wird. Die interaktive Verbindung von Entwurf, Berechnung, Visualisierung und Ergebnisauswertung ist deshalb ein Gebot der Stunde. Das bedeutet: parallel erzeugte Daten müssen auch parallel weiterverarbeitet werden, die Kommunikationskanäle müssen ausbalanciert oder Datenkompressionsverfahren integriert sein und der ganze Entwicklungsprozess muss von einer Benutzerschnittstelle steuerbar werden.

Diese Grundideen sind die Basis der am ITWM stattfindenden Softwareentwicklung für Hochleistungsrechner. Dazu werden Kommunikationsstandards wie MPI und CORBA eingesetzt. Basis für die Interface Entwicklung ist QT, und als Betriebssystem kommt ausschließlich LINUX zum Einsatz.

## Visualisierung dynamischer und statischer Volumendaten

Die Visualisierung von Volumendaten mit direkten Volumenrenderingverfahren ermöglicht den Zugang zu den kleinsten Informationseinheiten des Datensatzes. Durch den direkten Voxellenzugriff wird dem Anwender ein Werkzeug in die Hand gegeben, das eine flexible Datenanalyse ermöglicht. Am ITWM wurde ein paralleles, direktes Volumenrendering entwickelt, mit dem auf großen vierdimensionalen Datensätzen interaktiv operiert werden

kann. Mit der momentanen Ausbaustufe des parallelen Visualisierungsverfahrens können vierdimensionale Datensätze der Größe 163 x 270 x 304 x 106 in Echtzeit farblich dargestellt werden (s. Abb. 14 und 15).

Dieses hohe Leistungspotenzial konnte durch Auslagerung einzelner Funktionalitäten aus dem Renderkern erreicht werden. In einem zweiten Schritt wurden dann die einzelnen autonomen Einheiten gezielt untersucht und für moderne Intel-Plattformen optimiert. Dadurch konnte die Laufzeit in einzelnen Verfahrensabschnitten wesentlich verbessert werden. Des Weiteren wurde eine Code-Parallelisierung durchgeführt, so dass der Algorithmus nun auf Distributed-Memory-Maschinen, Shared-Memory-Maschinen oder einer gemischten Hardware-Topologie lauffähig ist. Der Renderkern selbst basiert bei allen algorithmischen Ausprägungen auf einer Shift-Technik.

Die hohe Leistungsfähigkeit dieses softwarebasierten Visualisierungssystems in Kombination mit einer kostengünstigen Basishardware (PC-Cluster) ermöglicht es somit auch kleineren bis mittleren Unternehmen, komplexe Datensätze interaktiv zu analysieren. Weiterhin können mit dem hier gewählten Ansatz in den Bereichen

- des zerstörungsfreien Prüfens,
- der medizinischen Datenanalyse,
- des Visual-Debugging von numerischen Verfahren und
- der Analyse und Bewertung von Simulationsergebnissen

viele Ressourcen eingespart werden.

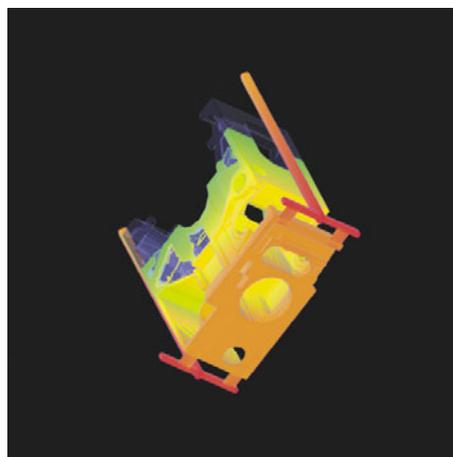


Abb.14: Motorblock.

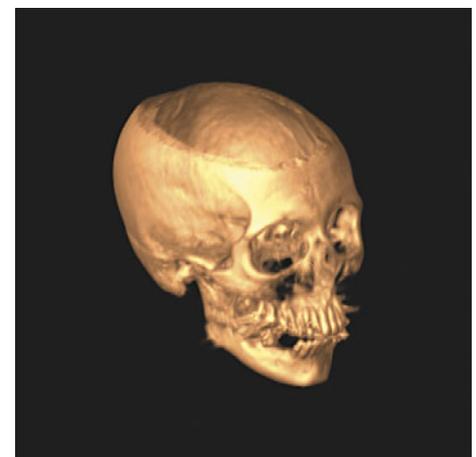
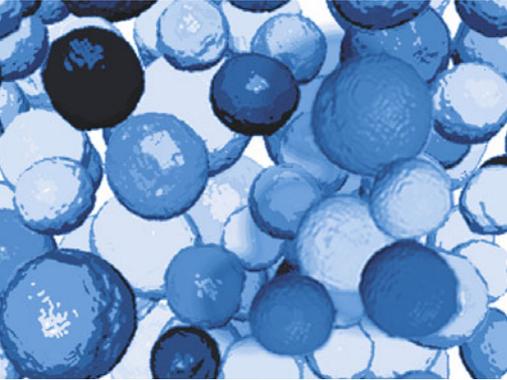


Abb. 15: Chapell-Hill-Head.

## Abteilung Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung



Die Abteilung »Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung (MAB)« bietet Komplett- und Teillösungen in verschiedenen Bereichen der Bildverarbeitung an. Die Kernkompetenz liegt im Bereich der Algorithmenentwicklung und deren effizienter Umsetzung auf Standard-PC-Hardware (z. B. unter Nutzung von MMX). Die teilweise erforderliche Online-Fähigkeit wird durch den Einsatz von PC-Clustern erreicht. Im Softwarebereich wird ein modulares Konzept verfolgt, wodurch auch Einzellösungen effizient und kundenorientiert umgesetzt werden können.

Im Bereich der Forschung und Entwicklung konzentriert sich die Abteilung auf folgende Gebiete:

- Oberflächeninspektion,
- räumliche Bildanalyse und Modellierung von Mikrostrukturen,
- Datenkompression mit Wavelet-Methoden,
- Signalanalyse im Eisenbahnbereich,
- Kryptographie.



Dr. Franz-Josef  
Pfreundt



Dr. Ronald Rösch



Dr. Axel Becker



Dipl.-Phys.  
Martin Braun



Dipl.-Math.  
Norbert Göb



Dipl.-Phys.  
Andreas Jablonski

Umfangreiche Erfahrungen liegen insbesondere in den Bereichen Oberflächeninspektion und räumliche Bildanalyse vor. Schwerpunkt bildet hier die Entwicklung von Algorithmen und Systemen zur Überwachung und Beurteilung texturierter Oberflächen (z. B. Textilien, Vlies, Holz) auch unter Berücksichtigung von Farbinformationen. Die Entwicklungen auf dem Gebiet der räumlichen Bildanalyse konzentrieren sich auf die Bestimmung geometrischer Charakteristika der Mikrostruktur von Werkstoffen aus dreidimensionalen (z. B. tomografischen) Aufnahmen unter Verwendung von Methoden der stochastischen Geometrie. Darauf aufbauend werden räumliche Modelle dieser Werkstoffe entwickelt, die die geometrischen Strukturverhältnisse gut widerspiegeln und so Berechnungen und Simulationen vereinfachen bzw. erst ermöglichen.

Im Bereich Datenkompression ist es gelungen, ein Wavelet-basiertes Kompressionsverfahren zu entwickeln, mit dem Bild- und Videodaten bei Erhalt einer sehr guten Bildqualität hoch komprimiert werden können.

Kontakt:

Dr. Franz-Josef Pfreundt  
Bereichsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 44  
E-Mail: pfreundt@itwm.fhg.de

Dr. Ronald Rösch  
Abteilungsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-29  
E-Mail: roesch@itwm.fhg.de



Dipl.-Math.  
Kai Krüger



Dipl.-Math.  
Georg Kux



Dipl.-Math. Mark  
Maasland MTD



Dr. Martin Nippe



PD Dr.-Ing.  
Joachim Ohser



Dr. Katja Schladitz

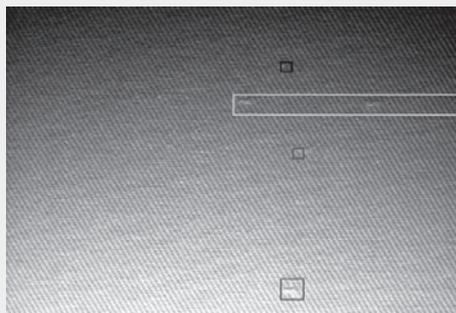
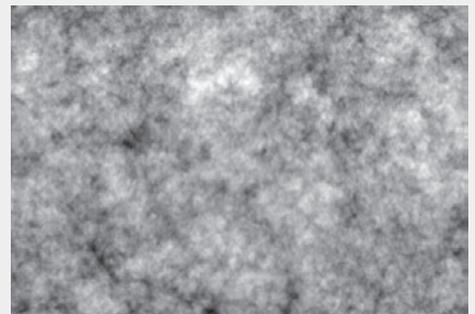
# Oberflächeninspektion

In den letzten Jahren hat das ITWM vielfältige Erfahrungen in Projekten zur Oberflächeninspektion gesammelt. Den Schwerpunkt bildet die Analyse texturierter Materialien – auch unter Einbeziehung von Farbinformation. Für die Sortierung von Holzoberflächen nach Farbe und Struktur wurde »FOQUS« entwickelt, ein CCD-Kamera basiertes System für den Laborbereich. Das System ist so konzipiert, dass eine Anwendung auch für Online-Inspektionsaufgaben problemlos möglich ist. Weiterhin hat sich FOQUS bereits in anderen Bereichen bewährt, so z. B. bei der Kontrolle der Farbkonstanz von Teppichböden.

Zufällige Strukturen spielen in vielen Bereichen eine Rolle. Für die qualitative Bewertung von Vliesstoffen (Nonwovens) wurde »VQC« entwickelt. Kern der Software ist eine frei konfigurierbare Skalenanalyse, mit der die Homo-

genität des Materials innerhalb dieser Skalen bewertet wird. So ist es möglich, je nach Anwendung größere oder kleinere Strukturen stärker zu wichten. Potenzielle weitere Anwendungsfelder sind beispielsweise die Analyse von Papier, Spanplatten oder andere Materialien, die produktionsbedingt inhomogen sind.

Detaillierter werden im Folgenden die am ITWM entwickelten Online-Inspektionssysteme für Papier und gewebte Textilien (oder auch gitterartige Materialien) vorgestellt. Von besonderer Bedeutung ist das Projekt »ABIS«, bei dem komplette Autorohkarosserien auf kleinste Unebenheiten untersucht werden. Das ITWM hat innerhalb eines Projektteams die Analysealgorithmen entwickelt und implementiert. ABIS wird voraussichtlich bis Mitte 2001 voll in die Produktion integriert.



Im Bereich Oberflächeninspektion untersuchte Materialien (Furniere, Vlies, Textilien, Papier).

## ABIS: Automatische Oberflächeninspektion von Karosserien

Die optimale Vorbereitung der Rohkarosserie ist die Voraussetzung zur Erzeugung einer einwandfreien Lackoberflächenqualität. Zur Reduktion der Nacharbeiten in den Lackierprozessen und zur Sicherstellung eines konstanten Qualitätsniveaus ist es erforderlich, die Oberflächenfehler bereits im Karosseriebau-Finish zu erkennen und zu beseitigen. Im Projekt »ABIS« wird ein System entwickelt, das die unsichtbaren Oberflächenfehler an einer Rohkarosserie automatisch erkennt, klassifiziert und markiert. Eine Fortpflanzung derartiger Fehler in die Lackierprozesse kann so verhindert werden. Dazu werden folgende Komponenten entwickelt:

- ein optisches Meßsystem zur Sichtbarmachung von Blechfehlern wie z. B. Dellen oder Beulen,
- ein Softwarepaket mit Einsatz modernster Softwaretechnik zur Erkennung von Oberflächenfehlern und
- die entsprechende Systemtechnik zur Automatisierung der einzelnen Funktionen (Messung, Erkennung, Klassifizierung, Markierung usw.).

Das System ist lernfähig, sammelt somit das Wissen erfahrener Prüfer an und wandelt es in objektive Beurteilungskriterien zur Sicherstellung eines konstanten Qualitätsniveaus um.

### Realisierung

Die Arbeitsweise des Systems ist in der Abbildung 1 dargestellt. In einem ersten Schritt wird das einfahrende Auto automatisch erkannt. Je nach Fahrzeugtyp bewegen sich die Videosensoren zu vorgegebenen Positionen für die Bildaufnahme, während das Fahrzeug

an ihnen vorbeifährt. Durch Demodulation werden die Bilddaten in Tiefenbilder umgerechnet, bei denen jedes Pixel den Abstand des entsprechenden Oberflächenpunktes zum Sensor beschreibt. Anschließend werden in einem ersten Detektionsschritt diejenigen Bilder aussortiert, auf denen sich mit Sicherheit kein Fehler befindet. Die restlichen Bilder (sog. »Fehlerkandidaten«) werden anschließend genauer analysiert und die Fehlerbereiche, sofern welche gefunden wurden, mit Hilfe eines CBR-Systems (Case-Based-Reasoning) klassifiziert. Die letztendlich relevanten Fehlerstellen werden auf der Karosserie markiert, um sie entsprechend nachbearbeiten zu können.

Die Aufgabe des ITWM innerhalb des Projektes ist die detaillierte Untersuchung der Tiefenbilder auf mögliche Fehler. Problematisch ist hierbei aufgrund der sehr hohen Auflösung der Tiefenbilder (Unregelmäßigkeiten ab 40  $\mu\text{m}$  sollen detektiert werden), dass die Tiefendaten stark gestört sind. Außerdem steht nur eine recht kurze Zeitspanne zur Verfügung, um ein Bild zu bearbeiten.

### Mathematische Verfahren

Aus der Tiefeninformationen wird zuerst mit Hilfe eines linearen Filters die Abweichung zu einer fehlerfreien Oberfläche geschätzt. Fehlerbereichen wie z. B. Dellen oder Beulen entsprechen – im Gegensatz zu Rauschen – relativ große Werte in diesem Abweichungsbild. In einem zweiten Schritt werden mittels adaptiver Schwellwerte lokale Extrema bestimmt. Die auf diesem Wege erhaltenen Fehlerkandidaten werden anschließend mittels morphologischer Methoden geglättet. Letztlich werden die für diese Fehlerkandidaten charakteristischen Features für die Klassifikation bestimmt.



Abb. 1: ABIS-Mess-Systeme bei AUDI

### Ergebnisse

Der Prototyp des beschriebenen Systems ist ab Mai 2000 zu ersten Online-Tests in der Produktion eingesetzt worden. Zur Zeit wird dieser Prototyp anhand von Testergebnissen noch weiter optimiert. Ende März 2001 wird das System in den Dauertest gehen.

#### Partner:

Audi AG, Ingolstadt  
Steinbichler Optictechnik GmbH, Neubuern  
Universität Erlangen/Nürnberg  
tecmath AG, Kaiserslautern

#### Kontakt:

Dipl.-Math. Mark Maasland MTD  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-23  
E-Mail: maasland@itwm.fhg.de



Online-Inspektion von Papieroberflächen.

## SPOT: System zur Inspektion von Papieroberflächen

Im Projekt SPOT wurde ein Bildverarbeitungssystem für Papierverarbeitungsfirmen entwickelt, um die Qualitätskontrolle beschichteter Papierbögen zu automatisieren und zu objektivieren. Die Entwicklung umfasste die gesamte Hardware, die Schnittstellen zur Papierförderanlage und den eigentlichen mathematischen Kern, die Analyse und Klassifikationssoftware. Es wurde ein serienreifer Prototyp entwickelt, der seit Anfang 2000 im Dauerbetrieb arbeitet.

### Bildverarbeitung

Die Hauptherausforderung dieses Projektes bestand in der Entwicklung schneller Bildverarbeitungsalgorithmen hoher Güte, um den Geschwindigkeitsanforderungen und den Qualitätsansprüchen zu genügen. Der Detektionsprozess arbeitet in mehreren Stufen:

- Erkennung der Papierbogenränder und Reduzierung des Bildes auf den Ausschnitt, der die Papieroberfläche enthält.
- Erkennung von Gradientenunterschieden im Bild mit Hilfe eines morphologischen Filters auf zwei verschiedenen Skalen. Dies dient zum Erkennen von punktförmigen Fehlern bzw. schwächer ausgeprägten, aber größeren Fehlern. Das Er-

kennen länglicher Fehlertypen, z. B. Kratzer in der Beschichtung, geschieht mit Hilfe einer geglätteten zweiten Ableitung in horizontaler und in vertikaler Richtung.

- Berechnung von Rols (Regions of Interest) und von Features für jede dieser Regionen.
- Einordnung dieser Rols anhand der vorher berechneten Features in verschiedene Fehlerklassen.
- Weitergabe der Resultate an den Hauptrechner.

### Systembeschreibung

Ein SPOT-System besteht aus dem Hauptrechner SPOT-Server und den Bildverarbeitungsclients SPOT1,..., SPOT<N>, an denen jeweils eine Kamera angeschlossen ist. Die Bildverarbeitungsergebnisse werden mit RPC an SPOT-Server übermittelt, der die Ergebnisse zusammenfasst und die Sortieranweisung »gut« oder »schlecht« an die Sortiermaschine ausgibt. Der Rechner SPOT-Server übernimmt auch die Visualisierung des Produktionsprozesses und die Protokollführung.

Das installierte System ist für Bahnbreiten bis 1000 mm und Fördergeschwindigkeiten bis 150 m/min ausgelegt. Mit einer Auflösung, die unter 0,3 mm pro Pixel liegt, lassen sich auch Fehler unter 1 mm noch sicher detektieren.

#### Partner:

Hofmann & Engelmann, Glatz Feinpapiere,  
Neustadt a. d. Weinstraße  
Franz Gremser KG, Neusäß

#### Kontakt:

Dr. Martin Nippe  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-27  
E-Mail: [nippe@itwm.fhg.de](mailto:nippe@itwm.fhg.de)

## TASQ: Textil-Analyse-System zur Qualitätskontrolle

Webfehler in Textilien lassen sich auch heute in modernen Produktionsanlagen nicht völlig vermeiden. Beispiele für Fehler sind Knoten, doppelte oder fehlende Fäden. Sowohl die Qualitätsbewertung eines Stoffballens als auch eine direkte Markierung von Fehlern auf Stoffen ist eine Arbeit, die bisher hauptsächlich von Menschen bewältigt wird. Ein automatisches System kann deutlich schneller auch schon während der Produktion Fehler erkennen und gleichzeitig die Qualität objektiver beurteilen. Besonders hohe Anforderungen an die Textilqualität stellt der Bekleidungs- und der Wohnbereich, aber auch andere Zielmärkte für ein solches System sind denkbar.

Im Projekt TASQ wurde ein Inspektionssystem entwickelt, das vorwiegend auf die Inspektion von Endlosmaterialien ausgelegt ist, wie zum Beispiel Textilballen. Diese Entwicklung ist ein Kooperationsprojekt mit der italienischen Textilmaschinenbau-Firma ATF, die Umspul-, Warenschau- und Verpackungsmaschinen herstellt.

Das Inspektionssystem liefert automatisch ein Qualitätsprotokoll. Im Protokoll sind die Anzahl der Defekte eines Typs und ihre Positionen angegeben. Sie können auch graphisch angezeigt werden.

Es wurde ein stark modulares Konzept verwirklicht. Auf Seiten der Hardware heißt dies, dass so viele Kameras wie nötig verwendet werden. Je nach Aufwand der Bildverarbeitungs-Algorithmen und Geschwindigkeitsanforderungen teilen sich eine oder mehrere Kameras einen Auswertungsrechner.

Auf der Softwareseite stellt sich das modulare Konzept wie folgt dar: Die Benutzeroberfläche und die Hardware-Ansteuerung sind in verschiedenen Programmen implementiert. Für eine laufende Inspektion wird die Benutzeroberfläche nicht benötigt. Die Algorithmen sind als Module eingebunden, so dass sie beliebig ausgetauscht und modifiziert werden können. So sind u. a. die Algorithmen integriert, die zur Inspektion von strukturierten Stoffen entwickelt wurden. Weiter wurde ein schneller Algorithmus zur Vordetektion von Defekten in Textilien entwickelt. Auch die Algorithmen aus der Papieroberflächen-Inspektion »SPOT« sind so verfügbar, wodurch das System leicht auf andere Inspektionsaufgaben umgestellt werden kann.

Für die Systemkalibrierung können in einem Protokoll für ein neues Material die Fehler markiert werden. Die Parameter-Anpassung geschieht dann automatisch. Damit steht nun ein Oberflächen-Inspektionssystem zur Verfügung, das einfach auf die Anforderung von Kunden zugeschnitten werden kann.



Anlage zur automatischen Textilinspektion.

### Partner:

Automazioni Tessili Frigerio, Lurate Caccivio (I)

### Kontakt:

Dr. Ronald Rösch

Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-29

E-Mail: roesch@itwm.fhg.de

Dr. Martin Nippe

Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-27

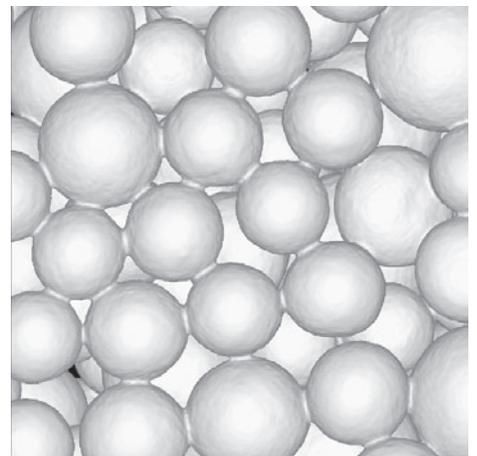
E-Mail: nippe@itwm.fhg.de

# Räumliche Bildanalyse und Modellierung von Mikrostrukturen

Durch den Einsatz moderner physikalischer Abbildungsverfahren wie Computertomographie entstehen in zunehmendem Maße räumliche Bilder der Mikrostruktur von biologischen und medizinischen Präparaten und Werkstoffen. Schwerpunkt der Arbeit der Projektgruppe ist die Analyse dieser dreidimensionalen Bilder von Mikrostrukturen. Mit dem vorhandenen Know-how aus dem Bereich der stochastischen Geometrie, der Statistik und der Bildverarbeitung lassen sich für diese Anwendungen effiziente Verfahren entwickeln. Die Kombination dieser drei Spezialgebiete erlaubt neben der anwendungsspezifischen statistischen Analyse verschiedenster zufälliger räumlicher Strukturen auch die Entwicklung und Anpassung geometrischer Modelle. Geometrische Modelle von Mikrostrukturen dienen der Abteilung Strömung in komplexen Strukturen als Ausgangspunkt strömungsdynamischer Simulationsrechnungen zur Bestimmung makroskopischer Materialparameter.

## Räumliche Bildanalyse

Kernstück der Analyse räumlicher Bilder ist die Bestimmung geometrischer Basiskenngrößen: der Minkowskifunktionale (Volumen, Oberfläche, Integral der mittleren Krümmung und Integral der totalen Krümmung) bzw. deren Dichten. Aus den Minkowskifunktionalen können dann weitere, anwendungsspezifische Kenngrößen abgeleitet werden. Richtungsabhängige Entsprechungen von Oberfläche und Integral der mittleren Krümmung liefern Informationen über Vorzugsrichtungen und die Stärke auftretender Anisotropien. Darüber hinaus können räumliche Objekte (Teilchen) isoliert und Objektmerkmale bestimmt werden. Effiziente Algorithmen zur Bestimmung der Minkowskifunktionale entstanden durch Verknüpfung von Methoden aus Integralgeometrie bzw. stochastischer Geometrie einerseits und digitaler Bildverarbeitung andererseits.



Rekonstruierte röntgentomographische Aufnahme einer Sinterkupferprobe.

## Analyse von Sinterkupfer

Sinterkupfer ist ein poröses Material, das als Filter bzw. Katalysator in vielen technischen Prozessen eingesetzt wird. Um sowohl hohe Porosität als auch gute mechanische Eigenschaften zu erreichen, muss der Sinterprozess besser verstanden und kontrolliert werden. Ein Qualitätsmerkmal eines gesinterten Filters ist die Anzahl der Sinterhalse pro Sinterkugel.

Mit Hilfe unserer Methoden der räumlichen Bildverarbeitung lassen sich in diesem Fall die Anzahl der Sinterkugeln und die mittlere Anzahl der Sinterhalse pro Kugel bestimmen und so Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften des Materials und auf den Herstellungsprozess ziehen.

## Offenporige Schäume

Ähnliche Verfahren können benutzt werden, um offenporige Schäume zu analysieren und zu modellieren. Die mathematische Analyse der Bilddaten liefert so wichtige Kennzahlen, wie mittlere Steglänge pro Volumeneinheit oder mittlere Zellgröße, die zur Quali-



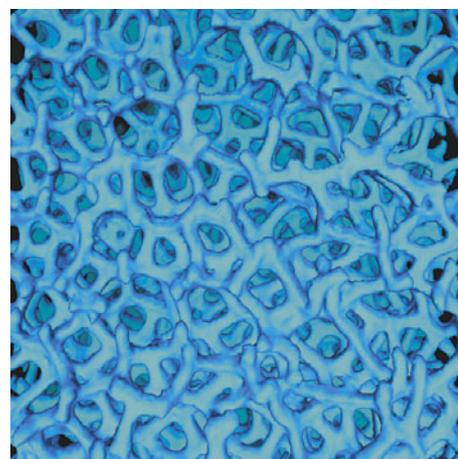
Filter aus Sinterkupfer.

tätskontrolle bei der Produktion von Schäumen eingesetzt werden können. Software zum praktischen Einsatz in der Qualitätskontrolle wird gegenwärtig entwickelt.

## Modellierung von Mikrostrukturen

Viele in modernen Produkten verwendete Werkstoffe wie Schäume, Keramiken und Vliese sind zwar makroskopisch homogen, aber mikroskopisch heterogen. Makroskopische Materialparameter wie relative Permeabilität oder Schallabsorption hängen von der Mikrostruktur des Werkstoffs ab. Um solche Materialparameter mittels strömungsdynamischer Simulation bestimmen und das Material virtuell optimieren zu können (vgl. S. 40 »Strömungssimulation in Mikrostrukturen«), muss ein geometrisches Modell der Mikrostruktur anhand von Bildaufnahmen erstellt werden.

Aus den Bildern werden die Minkowskifunktionale und Richtungsinformationen gewonnen. Mit Hilfe dieser Charakteristika wird ein geeignetes Modell angepasst. Stehen keine räumlichen Aufnahmen zur Verfügung, müssen Modellparameter mit Hilfe von Projek-



Rekonstruierte röntgentomographische Aufnahme des Nickelschaumes.



Geometriemodell eines Faservlieses.

tionen oder ebenen Anschliffen bestimmt werden.

Zur Beschreibung der Mikrostruktur makroskopisch homogener Werkstoffe bieten sich Modelle aus der stochastischen Geometrie wie Boolesche Modelle, Geradenprozesse und Mosaik an. Der makroskopischen Homogenität wird dabei dadurch entsprochen, dass nur stationäre Modelle verwendet werden, d. h. die Mikrostruktur ist »im Mittel« an jedem Raumpunkt gleich.

### Analysis und Modellierung von Berea-Sandstein

Der Weg vom dreidimensionalen Bild zum geometrischen Modell wird im folgenden an einer Sandsteinprobe illustriert.

Abbildung 2 zeigt, dass ein Boolesches Modell mit Kugeln geeignet ist, die Struktur zu modellieren. Bei der einfachsten Variante werden Kugeln mit festem Radius verwendet, d. h. es sind zwei Parameter zu bestimmen: die Intensität der Kugelmittelpunkte und der Kugelradius.

Die zur Bildanalyse entwickelten Verfahren eignen sich, um auf mathematisch abgesicherte Weise, d. h. durch Berechnung der Modellparameter aus den geometrischen Charakteristika, das Modell der Realität anzupassen. Miles' Formeln für das Boolesche Modell liefern den Zusammenhang zwischen Volumen- und Oberflächendichte und den Modellparametern. Die Dichten der Krümmungsintegrale können genutzt werden, um die Güte der Modellanpassung zu testen. Alternativ könnte ein komplexeres Modell mit einer zwei oder dreiparametrischen Radienverteilung angepasst werden.

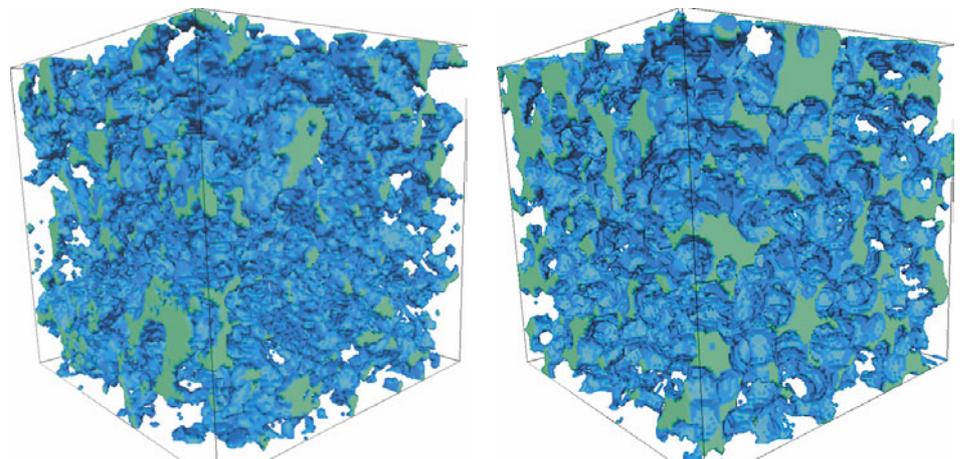


Abb. 2: Links: Rekonstruierte tomographische Aufnahme des Berea-Sandsteins. Rechts: Realisierung des angepassten Booleschen Modells. (Die Visualisierungen zeigen die Poren.)

Gefördert durch:  
Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation

Partner:  
Imtronic, Berlin  
verschiedene Firmen und Forschungsinstitutionen

Kontakt:  
PD Dr. Joachim Ohser  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-25  
E-Mail: ohser@itwm.fhg.de

Dr. Katja Schladitz  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-33  
E-Mail: schladitz@itwm.fhg.de

## Klassifizierung von Lamellen-graphit in Grauguss

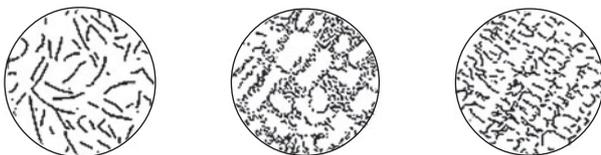
Im Auftrag der Mannesmann-Rexroth-Gießerei wurde ein Verfahren zur automatischen Klassifizierung von Lamellengraphit nach Anordnung entwickelt, d. h. nach den Anteilen an A-, D- und E-Graphit entsprechend EN ISO945: 1994.

Bisher erfolgt die Bewertung der Graphitausbildung von Lamellengraphit visuell mit Hilfe von Richtreihenbildern. Diese visuelle Bewertung ist nicht nur zeitaufwendig, sondern lässt auch Raum für subjektive Interpretationen und ist daher nicht reproduzierbar.

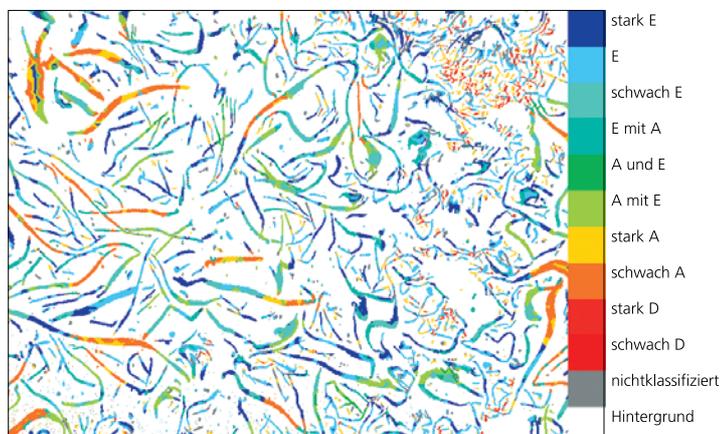
Das Verfahren wurde anhand sechzig sorgfältig binarisierter und klassifizierter Bilder von Mischgefügen entwickelt. Zunächst wird jedes Graphitpixel

einem von 64 geometrischen Umgebungstypen zugeordnet. Diese geometrische Klassifizierung beruht allein auf morphologischen Operationen, um instabile Objektisolierung zu vermeiden. In einem Anlernschritt, der die von Mannesmann-Rexroth vorgegebene visuelle Klassifikation nutzte, wurden die geometrischen Klassen den Graphitarten zugeordnet.

Die Qualität der automatischen Klassifikation wurde mit Hilfe sechzig weiterer Bilder von Mischgefügen bewertet. Die automatische Klassifikation liegt näher an der visuellen Klassifikation von Mannesmann-Rexroth als visuelle Vergleichsklassifikationen. Die Industrietauglichkeit der automatischen Klassifizierung von Lamellengraphit konnte dadurch nachgewiesen werden. Unser Verfahren kann somit zur Objektivierung der Bewertung der Graphitausbildung beitragen.



Richtreihenbilder für A-, D- und E-Graphit



Farblich codierte Darstellung der Klassifikation:  
Automatische Klassifikation: 33 % A-, 6 % D-, 59 % E-Graphit;  
Visuelle Klassifikation von Mannesmann-Rexroth:  
30 % A-, 10 % D-, 60 % E-Graphit

Partner:

Mannesmann-Rexroth AG, Lohr  
Fachhochschule Darmstadt

Kontakt:

PD Dr. Joachim Ohser  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-25  
E-Mail: ohser@itwm.fhg.de

Dr. Katja Schladitz  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-33  
E-Mail: schladitz@itwm.fhg.de

# Datenkompression mit Waveletmethoden

## ARGUS: Bild- und Videokompression

Im Projekt ARGUS wurde ein Kompressionssystem weiterentwickelt und in ein digitales Medienarchiv integriert.

Bei der Beschäftigung mit digitalen Bildern und Videos haben Wissenschaftler und Ingenieure herausgefunden, dass ein Bild nicht nur mehr sagt als tausend Worte, sondern auch, dass man viele tausend Bytes braucht, um ein Bild zu speichern. Beim Umgang mit digitalem Bild- und Videomaterial stößt man sehr schnell auf Probleme mit dem Management der Daten, der Archivierung des Materials, ihrer Übertragung oder des Retrievals. So impliziert der Umgang mit digitalem Bildmaterial den Bedarf an Kompression.

Das Kompressionssystem basiert auf Waveletmethoden. Wavelets sind eine mathematische Technik, mit der man ein Signal in verschiedene Auflösungen zerlegen kann. Durch die Wavelettransformation erhält man das Originalbild in einer sehr groben Darstellung plus eine Reihe von Detailbildern, die insgesamt auch nur so groß sind wie das Originalbild. Summiert man alle

Detailbilder wieder auf die grobe Darstellung, erhält man das Originalbild ohne Datenverlust. Die grobe Darstellung und die Reihe von Detailbildern werden in einem zweiten Verarbeitungsschritt quantisiert. Quantisieren heißt, dass man die Grauwerte der Bilder mit geringerer Präzision darstellt als ursprünglich berechnet. Dabei konzentriert man sich darauf, nur redundante Daten zu eliminieren, aber den Informationsgehalt zu bewahren.

Das im Projekt ARGUS verwendete Quantisierungsverfahren (Cross Band Coding) wurde vom ITWM zum Patent angemeldet und in Eigenforschung auf Verbesserungspotential untersucht.

Gegenstand des Projekts war ebenfalls die Entwicklung eines Kompressionservice innerhalb einer objektorientierten verteilten Infrastruktur, dem media archive®. Es ist ein Content Management System mit Client-Server-Architektur und als solches darauf ausgelegt, Medienobjekte inhaltlich zu erschließen und die Medienobjekte selbst zu archivieren. Eingesetzt wird das media archive im Rundfunkbereich, in Produktionsstudios, der Postproduktion, in Nachrichten- und Bildagenturen sowie in Multimedia Bibliotheksystemen.



Vergleich zwischen Originalbild und 1:110 komprimiertem Bild.

## Partner:

tecmath AG, Kaiserslautern

## Kontakt:

Dr. Axel Becker

Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-31

E-Mail: becker@itwm.fhg.de

## HECC: Kryptographie mit hyperelliptischen Kurven

Um in einem Zeitalter elektronischer Datenübertragung den Schutz von Informationen vor Unbefugten gewährleisten zu können, bedarf es einer ständigen Neu- und Weiterentwicklung kryptographischer Verfahren. Der Einsatz von Kryptosystemen mit öffentlichem Schlüssel, auch asymmetrische Verfahren genannt, leistet einen wesentlichen Anteil beim Erreichen des Ziels der sicheren Kommunikation.

Die Sicherheit vieler asymmetrischer Kryptosysteme beruht auf der Schwierigkeit der Berechnung des diskreten Logarithmus in endlichen abelschen Gruppen. Dabei spielt die Wahl der Gruppe eine entscheidende Rolle. Es hat sich gezeigt, dass die zunächst vorgeschlagenen multiplikativen Gruppen endlicher Körper kryptographisch ungeeignet sind. Die Index-Kalkulus-Methode liefert dort einen subexponentiellen Algorithmus zur Berechnung des diskreten Logarithmus, so dass bei solchen Systemen große Schlüssellängen benötigt werden, um ein akzeptables Maß an Sicherheit zu gewährleisten.

Die Punktgruppen elliptischer Kurven umgehen dieses Problem, da sie keine Index-Kalkulus-Methoden zulassen und auch keine weiteren subexponentiellen Algorithmen zur Berechnung des diskreten Logarithmus bekannt sind. Sie bilden somit die Grundlage für Kryptosysteme, die bei gleicher Sicherheit, wie sie etwa das zur Zeit marktführende System RSA verspricht, wesentlich kleinere Schlüssellängen ermöglichen. Dadurch werden sie insbesondere für

den Einsatz auf Smart-Cards und in anderen Umgebungen, in denen wenig Speicherplatz zur Verfügung steht, interessant. Aber auch das Laufzeitverhalten von Elliptische-Kurven-Kryptosystemen weist deutliche Vorteile auf, so dass RSA in ihnen einen ernstzunehmenden Konkurrenten bekommen hat.

Hyperelliptische Kurven liefern als Verallgemeinerung elliptischer Kurven Kryptosysteme, die zumindest ebenso sicher sind. Aufgrund der hohen Flexibilität, die sie bei der Parameterwahl bieten, ist es denkbar, dass sie Elliptische-Kurven-Kryptosysteme ersetzen, sofern sich jene als unsicher herausstellen sollten. Ferner versprechen sie ein besseres Laufzeitverhalten, da gegebenenfalls auf Langzahlarithmetik verzichtet werden kann.

Während es viele theoretische Ergebnisse über elliptische Kurven gibt, weiß man heute noch nicht genug über hyperelliptische Kurven, um effiziente Kryptosysteme in der Praxis realisieren zu können. Insbesondere sind derzeit noch keine zufriedenstellenden Algorithmen zur Erzeugung geeigneter Kurven bekannt. Außerdem sollte die Gruppenarithmetik noch beschleunigt werden, um komfortable Ver- und Entschlüsselungszeiten zu garantieren.

Ein von uns implementierter Prototyp eines solchen Systems zeigt, dass es möglich ist, praktikable hyperelliptische Kryptosysteme zu entwickeln.

Unsere aktuellen Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung von Methoden zur Bestimmung kryptographisch geeigneter hyperelliptischer Kurven und der Beschleunigung der Arithmetik.



Kryptographische Verschlüsselungsverfahren spielen in der Netzwerksicherheit eine große Rolle.

Partner:

BGS Systemplanung AG, Mainz

Kontakt:

Dipl.-Math. Norbert Göb

Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-31

E-Mail: goeb@itwm.fhg.de

Dipl.-Math. Georg Kux

Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-23

E-Mail: kux@itwm.fhg.de

Eine enge Zusammenarbeit im Eisenbahnbereich verbindet das ITWM mit GE Harris Harmon Railway Technology, Bad Dürkheim. Innerhalb der letzten zehn Jahre wurde in verschiedenen Projekten zusammengearbeitet. Das ITWM entwickelt hierbei Software für meist LINUX-basierte Systeme mit Überwachungs- oder Messfunktion. Eine besondere Rolle spielt die Fahrwerksüberwachungsschwelle (FÜS). Dieses System befindet sich europaweit bereits an einigen hundert Standorten im Einsatz. Neben der Entwicklung umfangreicher Methoden zur Signalanalyse erstellt und pflegt das ITWM hier die gesamte Software.

## Fahrwerksüberwachungsschwelle

Die Überwachung heißgelaufener Achslager und feststehender Bremsen an Personen- und Güterzügen erfordert ein berührungsfreies Messverfahren (siehe Abb. 3).

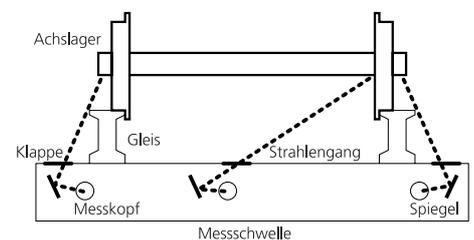


Abb. 3: Messvorgang.

In der gewählten Lösung werden die Temperaturen durch Aufnahme des Infrarotprofils der vorbeifahrenden Fahrgestelle ermittelt. Dabei werden die von einem IR-Messkopf bereitgestellten A/D-Werte an den PC übertragen und dort mit Hilfe des weiter unten beschriebenen Verfahrens in Temperaturen umgerechnet.

Da diese Anlagen unbeaufsichtigt betrieben werden, ist neben dem reinen Messvorgang auch ein geeignetes Selbstdiagnoseverfahren der beteiligten Hard- und Software sowie ein Ausnahme- und Fehlerhandling zu integrieren.

Während des Messbetriebs muss eine große Datenmenge aufgenommen und ausgewertet werden. Aufgrund wechselnder Sensoreigenschaften ist eine Kalibrierung und periodische Nachkalibrierung erforderlich. Es ist aber auch klar, dass ohne Kalibrierung und Nachkalibrierung der Sensoren keine genauen Messwerte aufgenommen werden können, da das Profil der Kurve sonst

verfälscht wäre. Es kann aber auch vorkommen, dass man nicht nur die Werte eines Rades sondern auch Fremdwerte (Fremdeinstrahlung) wie Reflexion der Sonne oder Bremsklötze aufnimmt. Diese Fälle werden mit speziellen Methoden behandelt, um die korrekten Rad- bzw. Lagertemperaturen zu ermitteln. Für die einzelnen Verarbeitungsschritte der Messsignale sei hier auf den Tätigkeitsbericht 1998 verwiesen.

Bei der Entwicklung und Implementierung der Algorithmen wurden die sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen berücksichtigt. Die Algorithmen werden immer wieder verfeinert und um weitere Module ergänzt. Auch die Flexibilität des Gesamtsystems wird erweitert.



Anlage im Gleis.

## Systemumgebung

Der Auswerterechner besteht neben einem Industrie-PC aus speziellen Zusatzkomponenten unter dem Betriebssystem LINUX.

Neben der Auswertungssoftware wurden weitere Softwarepakete wie Systemdiagnoseprogramme, Treiber, Benutzerschnittstellen und Serverprogramme entwickelt. (Details s. ITWM-Tätigkeitsbericht 1998, S. 37f.)

## Einsatzgebiet

Es werden bereits ca. 350 Anlagen in mehreren europäischen Ländern eingesetzt.

Partner:

GE Harris Harmon Railway Technology  
GmbH & Co. KG, Bad Dürkheim

Kontakt:

Dipl.-Math. Kai Krüger  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-19  
E-Mail: [krueger@itwm.fhg.de](mailto:krueger@itwm.fhg.de)

# Abteilung Adaptive Systeme und Finanzmathematik



Die Abteilung entwickelt mathematische Modelle für technische und medizinische Systeme, Materialien, Finanzprodukte und Prozess-Simulationen in Industrie und Wirtschaft. Die Finanzmathematik wurde im Jahr 1999 neu in den Abteilungsnamen aufgenommen, um auch nach außen hin die besondere Bedeutung dieses Bereiches mit der Entwicklungsperspektive einer eigenständigen Abteilung deutlich zu machen. Die Kernkompetenzen liegen in den nachfolgend aufgeführten Bereichen.

## Rechnergestützter Analogschaltungsentwurf

In dieser Arbeitsgruppe wird die Entwicklung von Algorithmen vorangetrieben, die den systematischen Entwurf analoger Schaltungen unterstützen. Die Kernkompetenz für die Behandlung dieser Fragestellungen besteht in der Kombination von symbolischen und numerischen Verfahren bei der automatischen Gleichungsaufstellung, der Modellreduktion und der Auflösung von Schaltungsgleichungen. Im Zentrum der Software-Entwicklung stand die Weiterentwicklung des Software-Tools »Analog Insydes«, in das symbolische und numerische Verfahren für die Berechnung, Analyse und Auslegung linearer und nichtlinearer Schaltungen integriert sind. Seit Ende 2000 wird die Beta-Version von »Analog Insydes 2« ausgeliefert.

## Diagnose- und Prognosesysteme

Das Hauptanwendungsfeld dieser Arbeitsgruppe bildet momentan die rechnergestützte Medizindiagnostik. Durch Anwendung systematischer Data-Minings und die Entwicklung von Expertensystemen können vorhandene medizinische Daten ausgewertet und Hypothesen generiert bzw. vorhandene Hypothesen überprüft und statistisch validiert werden. Neue adaptive Verfahren aus den Bereichen Neuronale Netze, Clusteranalyse und Fuzzy Logik verbinden Datenanalyse und Expertenwissen zu Computerprogrammen für die Diagnose- und Therapieunterstützung. Aktuelle Projektschwerpunkte liegen bei der Risikostratifizierung von Langzeit-EKGs, der Diagnoseunterstützung in der Regulationsthermographie sowie der Entwicklung von Ernährungsexpertensystemen.

## Modellbasierte Überwachung und Regelung mechatronischer Systeme

In dieser Arbeitsgruppe werden insbesondere Verfahren zur Systemidentifikation und Modelladaptation mechatronischer Systeme entwickelt und implementiert. Hauptanwendungen sind zur Zeit elektrische Maschinen, insbesondere Turbosätze. Die Parameteridentifikation von Drehstrommaschinen ist Bestandteil eines DFG-Projektes. Die so gewonnenen Modelle mechatronischer



Prof. Dr. Dieter  
Prätzel-Wolters



Dr. Patrick Lang



Dr. Günter  
Gramlich



Dipl.-Ing.  
Thomas Halfmann



Dipl.-Math.  
Harriet Holzberger



Dr. Hagen Knaf

Systeme stellen häufig die Grundlage der von uns entwickelten Verfahren zum Beobachter- und Reglerdesign dar. In diesem Kontext wurden bereits zwei vom BMBF geförderte Projekte («Entwurf von dynamischen Beobachtern für Torsionsschwingungen» sowie »Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse bei Konstruktion und Überwachung von Turbosätzen») erfolgreich durchgeführt. Die dort gewonnenen Erkenntnisse wurden bei der Entwicklung des Software-Tools TorAn berücksichtigt.

## Materialmodelle

In diesem Bereich werden überwiegend viskoelastische Materialien mit Gedächtnis untersucht, d. h. die jeweiligen Spannungs- bzw. Dehnungsfelder für einen bestimmten Zeitpunkt hängen von der ganzen Deformations- bzw. Belastungsgeschichte des Werkstoffes ab. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Entwicklung von Mittelungsverfahren für Verbundwerkstoffe. Hier wurden im Rahmen verschiedener Projekte die mathematischen Grundlagen erarbeitet, die die Berechnung der mittleren viskoelastischen Werkstoffeigenschaften mittels der Finiten Element Methode zulassen.

## Finanzmathematik

Die moderne Finanzmathematik ist eines der zur Zeit am stärksten bearbeiteten mathematischen Arbeitsgebiete mit großer Praxisrelevanz. Die den Modellen des Aktienhandels und Risikomanagements zugrunde liegende Mathematik umfasst die Bereiche der stochastischen Prozesse, der stochastischen Integration, der stochastischen und partiellen Differentialgleichungen sowie der parametrischen und nicht-parametrischen Statistik. Mit fortschreitender Akzeptanz dieser Methoden in der Praxis sehen sich auch kleinere und mittlere Unternehmensberatungen und Finanzdienstleister gezwungen, Know-how auf diesem Gebiet zu erwerben, bzw. die Hilfe externer Forschungsinstitute zu suchen. Das ITWM sieht ein großes Erfolgspotential auf diesem Gebiet und hat im Jahre 1999 damit begonnen, in der Abteilung einen Schwerpunkt Finanzmathematik aufzubauen. Ziel ist der Aufbau einer eigenständigen Abteilung in diesem Bereich in den nächsten drei Jahren. Der zu erwartende Technologietransfer erstreckt sich auf die Gebiete »moderne Methoden der Ertrags- und Risikosteuerung«, »Einsatz, Bewertung und Neuentwicklung strukturierter derivativer Produkte«, »effiziente Simulationsmethoden« sowie »Risikomanagement, Messung und Modellierung von Risiken auf finanziellem Sektor«.

## Kontakt:

Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 42  
E-Mail: praetzel\_wolters@itwm.fhg.de  
Dr. Patrick Lang  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-28 33  
E-Mail: lang@itwm.fhg.de



Prof. Dr.  
Ralf Korn



Dipl.-Math.  
Martin Krekel



Dr. Gerald  
Kroisandt



Dr. Julia Orlik



Dr. Wilfried Pohl



Dipl.-Ing.  
Jutta Praetorius



Dipl.-Math.  
Tim Wichmann



Dipl.-Math.  
Andreas Wirsén



Dipl.-Math.  
Stefan E. Zeiser

# Analog Insydes: Rechnergestützte Verfahren für den Entwurf analoger Schaltungen



Zur Erhöhung der Entwurfssicherheit und zur Verkürzung der Entwicklungszeit besteht in der industriellen Entwicklung analoger integrierter Schaltungen hoher Bedarf an rechnergestützten Verfahren. Dem Entwickler standen bislang neben den Werkzeugen zur numerischen Simulation nur wenige Hilfsmittel zur Verfügung, die detailliertere Einsichten in die Funktionsweise einer Schaltung ermöglichen. Um diese Lücke zu schließen, wird am ITWM das Softwaretool Analog Insydes entwickelt, in dem symbolische und numerische Verfahren für die Modellierung, Analyse und Dimensionierung linearer und nichtlinearer Analogschaltungen integriert sind. Inhalt der Arbeiten ist die Entwicklung von Algorithmen und Verfahren zur Unterstützung des systematischen Entwurfs analoger Schaltungen und deren Umsetzung in Analog Insydes. Einige dieser Algorithmen entstanden im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes »SADE«. Insbesondere in den folgenden Anwendungsbereichen kann die Software gewinnbringend eingesetzt werden:

## Modellierung

- Modellierung elektronischer Bauelemente zur symbolischen Analyse und numerischen Verhaltenssimulation,
- Generierung analytischer Modelle für lineare und nichtlineare Schaltungsblöcke (auch auf unterschiedlichen Hierarchieebenen),
- Symbolische Vereinfachung nichtlinearer Systembeschreibungen.

## Analyse

- Symbolische Analyse elektrischer und regelungstechnischer Systeme,
- Numerische Simulation von Verhaltensbeschreibungen nichtlinearer dynamischer Systeme (Lösen von DAE-Systemen),
- Extraktion dominanten Schaltungsverhaltens in analytischer Form durch spezielle Modellreduktionsverfahren zum Zweck der Schaltungsinterpretation, Dimensionierung und beschleunigten Systemsimulation,
- Algorithmen zur näherungsweisen symbolischen Berechnung von Polen und Nullstellen linearer Systeme.

## Dimensionierung

- Bestimmung von Dimensionierungsgleichungen für Schaltungsparameter als Funktion globaler Schaltungsspezifikationen,
- Numerische Synthese von Elementekennlinien, z. B. zur Lösung von Kompensationsproblemen.

## Optimierung.

- Symbolische Vorverarbeitung von Gleichungssystemen zur effizienteren numerischen Optimierung,
- Topologieoptimierung mit Hilfe symbolischer Analyse.

## Analog Insydes Version 2

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten auf die Fertigstellung der neuen Version 2 von Analog Insydes. Seit Dezember 2000 steht diese

als Beta-Version zur Verfügung. Eine voll funktionsfähige Demo-Version kann für einen limitierten Zeitraum von 30 Tagen kostenlos von folgender WWW-Adresse geladen werden: [www.analog-insydes.de](http://www.analog-insydes.de).

Basierend auf einem hierarchischen Netzlistenformat und einer flexiblen Modellierungssprache lassen sich mit Analog Insydes analoge Schaltungen und regelungstechnische Systeme bearbeiten. Hierzu steht eine umfassende Modellbibliothek zur Verfügung (R, L, C, Diode, BJT, JFET, MOS). Sowohl numerische als auch symbolische Verfahren für DC-, AC-, Transient-, Temperatur-, Rausch-, Pol/Nullstellen- und parametrische Analysen können mit Analog Insydes durchgeführt werden. Hervorzuheben sind dabei die automatische Gleichungsformulierung (symbolisch und numerisch) und die symbolischen Näherungsverfahren für lineare und nichtlineare Schaltungen. Die Ergebnisse können mittels einer Vielzahl von Grafikfunktionen visualisiert werden, wie z. B. Bode- und Pol/Nullstellen-Diagramme oder Transient- und Wurzelortskurven. Abgerundet wird Analog Insydes durch Schnittstellen zu den Schaltungssimulatoren »Pspice«, »Eldo«, »Saber« und »Titan«, so dass z. B. Schematics, Netzlisten und Simu-

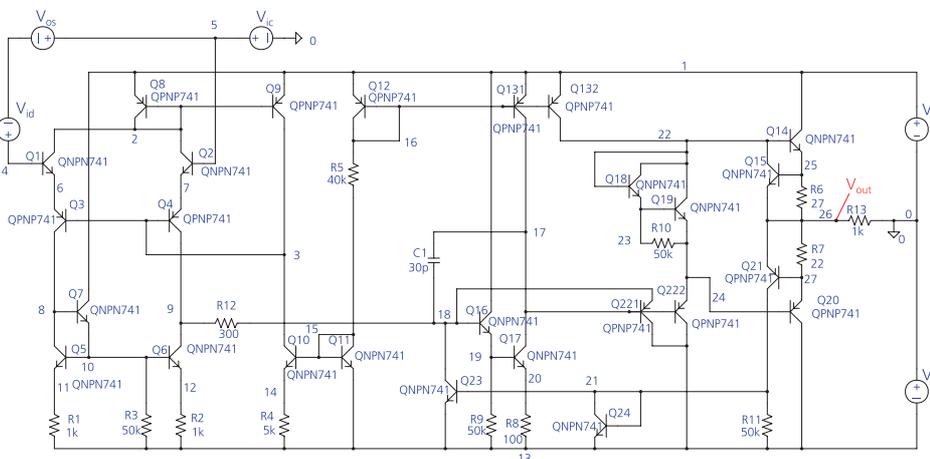
lationsdaten eingelesen oder MAST-Verhaltensmodelle erzeugt werden können.

## Anwendungen

Analog Insydes wird nun bereits seit mehreren Jahren erfolgreich in der Industrie eingesetzt. Durch die zahlreichen Erweiterungen in der neuen Version wurde die Bedienung wesentlich vereinfacht. Insbesondere die neu hinzugekommenen Schnittstellen zu verschiedenen Schaltungssimulatoren, wie etwa Eldo und Titan, ermöglichen es, Analog Insydes in die gewohnte Entwicklungsumgebung des Schaltungsdesigners zu integrieren. Dies führte zur Aufnahme von Analog Insydes in den analogen Design-Flow von Atmel Wireless & Microcontrollers sowie der Infineon Technologies AG.

## 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.



Schaltbild des Operationsverstärkers  $\mu A741$ .

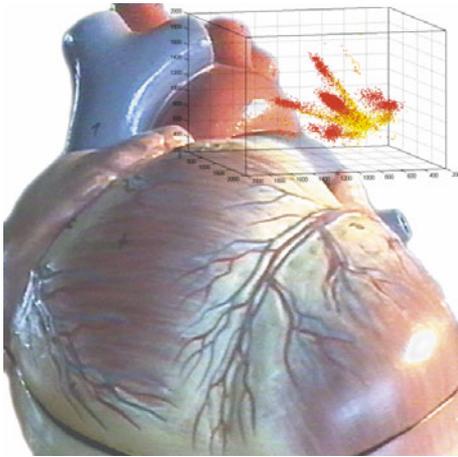
### Partner:

Infineon Technologies AG, München  
Atmel Wireless & Microcontrollers, Heilbronn  
Analog Microelectronics, Mainz

### Kontakt:

Dipl.-Ing. Thomas Halfmann  
Dipl.-Ing. Jutta Praetorius  
Dipl.-Math. Tim Wichmann  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 75  
E-Mail: [halfmann@itwm.fhg.de](mailto:halfmann@itwm.fhg.de)  
[praetorius@itwm.fhg.de](mailto:praetorius@itwm.fhg.de)  
[wichmann@itwm.fhg.de](mailto:wichmann@itwm.fhg.de)

# Adaptive Systeme in medizinischer Diagnose und Prognose



Die Diagnose von Krankheiten und die Vorhersage von Krankheitsverläufen erfordern ein hohes Maß an Erfahrung: Da die Wirkung einer Krankheit auf den Organismus des Menschen im allgemeinen komplex ist, ist in der Regel die Sichtung großer Datenmengen nötig, um im Einzelfall gute Diagnosen bzw. Prognosen abgeben zu können. Entsprechend umfangreich ist das dabei vom Arzt benutzte »Regelwerk«. Expertensysteme – also Computerprogramme, die Expertenwissen und -schlussweisen nachbilden – können in diesem Umfeld von vielfältigem Nutzen sein: Ein gut funktionierendes Expertensystem kann Ärzten durch Unterbreiten eines »Diagnosevorschlags« konkrete Hilfestellung bei der eigentlichen Diagnose geben, aber auch den Aufbau eigener Erfahrung unterstützen. Andererseits kann eine ganze Ärztgruppe an der Entwicklung eines Expertensystems mitwirken – Wissen wird in diesem Fall integriert und objektiviert.

In Kliniken und Arztpraxen werden naturgemäß große Mengen medizinischer Daten erhoben. Nach Verwendung der Daten für den jeweiligen Zweck wer-

den diese dann häufig nicht weiter genutzt. Hier liegt ein erhebliches Potenzial zur Erweiterung, Verbesserung und Absicherung des vorhandenen medizinischen Wissens. Durch Anwendung systematischen Data-Minings können vorhandene medizinische Hypothesen überprüft und statistisch validiert werden. Softwaresysteme zur automatischen Erkennung von Mustern in Daten liefern unter Umständen Denkanstöße und Motivation für Forschungen in einer konkreten neuen Richtung.

Expertensysteme und Data-Mining beruhen auf mathematischen Konzepten wie Zeitreihenanalyse, Fuzzy Logik, Neuronale Netze und Clusteranalyse: Kompetenzbereiche, die durch die Abteilung »Adaptive Systeme und Finanzmathematik« abgedeckt werden.

Neben der Risikoanalyse für Langzeit-Elektrokardiogramme, ein Projekt, das weiter unten ausführlich beschrieben wird, stehen zur Zeit Projekte in den Bereichen Ernährungsoptimierung und Diagnoseunterstützung in der Regulationsthermographie im Zentrum des Interesses.

## Ernährungsoptimierung

Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Onkologie ein Konzept für ein modulares Ernährungsexpertensystem zu erarbeiten.

Kern des Systems ist die personenbezogene Modellierung des jeweiligen Bedarfs hinsichtlich der verschiedenen Nährstoffe. Diese Modellierung hängt hierbei stark vom Gesundheitsstatus und den Lebensumständen der betreffenden Person ab.

In die Berechnung der Nährstoffbilanzen sollen insbesondere auch neueste Forschungsergebnisse im Hinblick auf wechselseitige Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Nährstoffen mit einfließen. Beispielsweise sind hier für einige Nährstoffkombinationen signifikante Kompensationseffekte bei gleichzeitiger Aufnahme in der Nahrung bekannt.

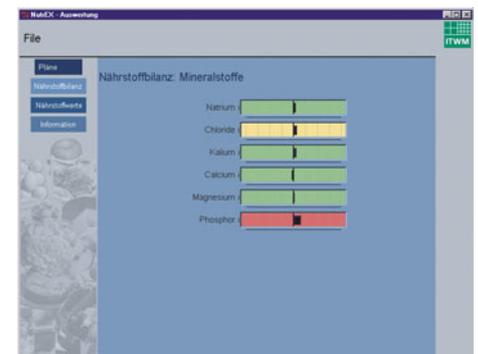
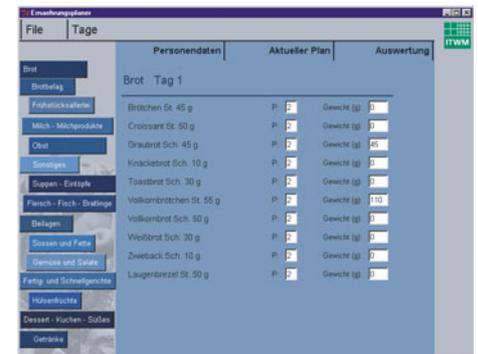
Basis der Auswertung und Optimierung des Ernährungsverhaltens durch das Expertensystem sind die Lebensmittelpläne der Benutzer, die über einen Zeitraum von ca. einer Woche vorliegen sollten. Das Expertensystem wird dann eine schrittweise Verbesserung hinsichtlich der Nährstoffsituation durchführen. Zentral hierbei ist die anzustrebende Akzeptanz der modifizierten Lebensmittelpläne durch den Anwender; die neuen Pläne sollten sich daher nicht zu stark von seinen ursprünglichen Ernährungsgewohnheiten unterscheiden.

Geplant sind unterschiedliche Realisierungen des Expertensystemkonzeptes in ganz verschiedenen Kontexten, wie gesunde Ernährung, Diät, Sport, Onkologie, sowie in anderen krankheitsspezifischen Modifikationen. Als potenzielle Vermarktungswege sind zum einen Gesundheitsportale im Internet, aber auch der Vertrieb als PC-Versionen interessant.

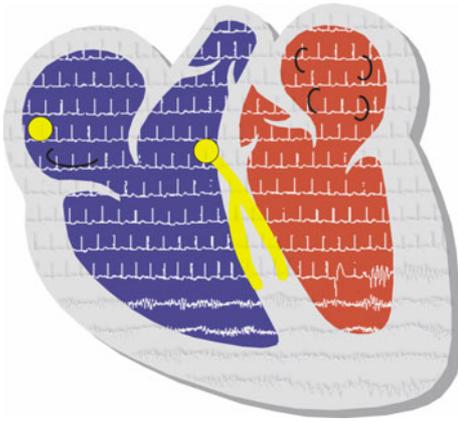
## Regulationsthermographie

Außerdem wird sich die Abteilung Adaptive Systeme ab Februar 2001 im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojektes verstärkt mit der Thematik der Diagnoseunterstützung in der Regulationsthermographie beschäftigen. Besondere Schwerpunkte bei der Auswertung der bei diesem Verfahren erhobenen Temperaturmuster sollen dabei auf dem Einsatz nichtlinearer diskriminanzanalytischer Verfahren unter Berücksichtigung medizinischer Nebenbedingungen sowie der automatischen Regenerierung liegen. Überdies soll auf diesem Weg das bezüglich der Regulationsthermographie vorliegende medizinische Expertenwissen validiert und erweitert werden.

Als konkrete Applikation wird sich das Projekt zunächst mit der Diagnose- und Therapiekontrolle bei Brustkrebs beschäftigen. Prinzipiell ist die Methode jedoch auch im Kontext anderer Krebsentitäten einsetzbar, was in Folgeprojekten genauer untersucht werden soll.



Benutzeroberfläche des Ernährungsexpertensystems.



## Risikoparameter für Arrhythmien im Herzschlag

Der Schlagrhythmus des Herzens wird durch eine komplexe Kombination eines herzinternen, elektrophysiologischen Systems mit externen nervalen und hormonellen Komponenten gesteuert. Störungen im internen System führen zu Arrhythmien, die völlig harmlos, aber auch tödlich verlaufen können, wie im Fall des Plötzlichen Herztods (PHT): Die Kontraktionssequenz des Herzmuskels wird hier so stark gestört, dass nur noch unzureichend Blut in den Kreislauf gepumpt wird.

Das Risiko, an PHT zu versterben, lässt sich nach medizinischer Hypothese und Erfahrung durch eine Kombination physiologischer und statistischer Parameter einschätzen. Gegenmaßnahmen bei hohem Risiko sind Medikation mit antiarrhythmisch wirkenden Medikamenten oder das Implantieren eines Defibrillators.

Die im Einsatz befindlichen Parameterkombinationen liefern i. a. noch keine zufriedenstellende PHT-Risikoabschätzung. Eine Verbesserung dieser Situation hilft einerseits Personen mit hohem PHT-Risiko und verhindert andererseits fälschliche und u. U. teure Behandlung von Personen mit niedrigem Risiko.

Seit 1998 werden am ITWM verschiedene nichtlineare Parameter untersucht, die als Ersatz oder Ergänzung der bereits benutzten die Risikoabschätzung verbessern sollen. Ausgangspunkt ist das EKG bzw. die daraus extrahierte Zeitreihe der Schlagintervallzeiten (RR-Intervalle). Wichtig ist auch eine Klassifikation der Herzschläge nach dem schlagauslösenden Triggermechanismus. Beide Informationen werden durch kommerzielle Software aus dem EKG ermittelt.

## Mathematische Modellierung

Die Zeitreihe der RR-Intervalle  $(t_i)_{i=1, \dots, N}$  eines EKGs kann auf verschiedene Weisen mathematisch untersucht werden. Bereits die Berechnung simpler statistischer Größen wie der Standardabweichung der Intervallzeiten liefert den medizinisch gut brauchbaren Parameter SDNN. Klarerweise enthält dieser nur wenig dynamische Information. Hinzu kommt die nachgewiesene Nichtlinearität des Herzrhythmus, welche die Anwendung von Methoden der nichtlinearen Dynamik erfordert. Die Zeitreihe  $(t_i)_{i=1, \dots, N}$  wird als skalare Messung des Zustandes eines dynamischen Systems betrachtet. Eine Methode, diesen Zustand geometrisch darzustellen, liefert der sogenannte Lorenzplot: Man wählt natürliche Zahlen  $m$  und  $\tau$ , und betrachtet die  $m$ -Tupel  $(t_i, t_{i+\tau}, t_{i+2\tau}, \dots, t_{i+(m-1)\tau})$  als Punkte im  $m$ -dimensionalen Raum  $R^m$ . Die RR-Intervallfolge erscheint als strukturierte Punktwolke  $L \subset R^m$ , deren Morphologie je nach Wahl der Einbettungsdimension  $m$  und des Delays  $\tau$  in verschiedenem Maße die Dynamik des Herzrhythmus widerspiegelt. In der Medizin werden aus offensichtlichen Gründen die Einbettungsdimensionen 2 oder 3 bevorzugt; die mathematische Grundlage des beschriebenen Vorgehens sind jedoch die Einbettungssätze von Takens und Sauer, nach denen nur für genügend großes  $m$  die Koordinaten eine vollständige Beschreibung des Zustandes des dem Herzrhythmus zugrundeliegenden dynamischen Systems liefern.

Die Punktwolken  $L$  werden mittels zweier verschiedener Ansätze nach ihren morphologischen Eigenschaften klassifiziert und zum PHT-Risiko in Beziehung gesetzt: Zum einen werden für jeden Punkt  $x \in L$  drei lokale Dimensionszahlen berechnet, die bestimmte Aspekte der Punktverteilung in der Umgebung von  $x$  beschreiben.

Gefördert durch:  
Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation

Partner:  
alphaCardio GmbH, Grünstadt

Kontakt:  
Dr. Hagen Knaf  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 74  
E-Mail: knaf@itwm.fhg.de

Dr. Patrick Lang  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-28 33  
E-Mail: lang@itwm.fhg.de

Die Verteilung der Werte dieser Dimensionszahlen über die gesamte Wolke  $L$  wird nach einem geometrisch motivierten, heuristischen Verfahren bewertet, und liefert schließlich eine Kombination aus drei Kandidaten von numerischen Risikoparametern. Um deren medizinische Relevanz zu prüfen, analysiert man die Werte der Parameter auf einer hinreichend großen Menge medizinisch klassifizierter EKGs, wobei Methoden der nichtparametrischen Statistik zum Einsatz kommen.

Die zweite Methode der Bewertung einer Punktwolke  $L$  basiert auf Neuronalen Netzen. Hier werden in einem ersten Datenreduktionsschritt zunächst die morphologisch dominantesten Punktcluster im Lorenzplot detektiert. Als geeignete Verfahren bieten sich unüberwachte Clusterverfahren wie der Neural-Gas- oder der Maximum-Entropy-Algorithmus an. In der Regel sind weniger als 20 Neuronen ausreichend, um eine hinreichend gute Repräsentation der ursprünglichen Struktur zu garantieren. Basierend auf den geclusterten Lorenzplots und einigen statistischen Kenngrößen, wie z. B. verschiedenen Fraktile der RR-Intervallverteilung, werden dann in einem zweiten Schritt überwachte Lernverfahren eingesetzt, um die Zusammenhänge zwischen den Neuronenclustern und dem PHT-Risiko zu erkennen.

## Ergebnisse und Perspektiven

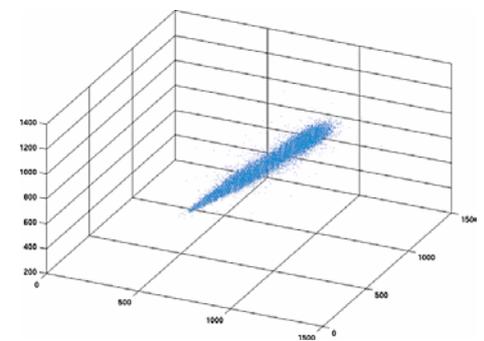
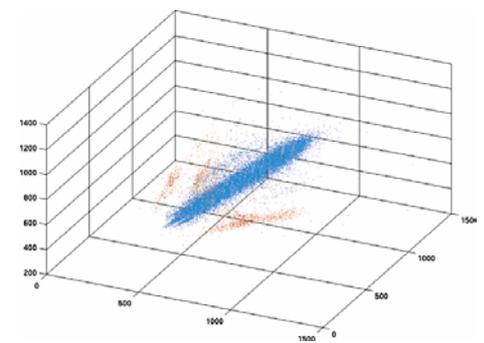
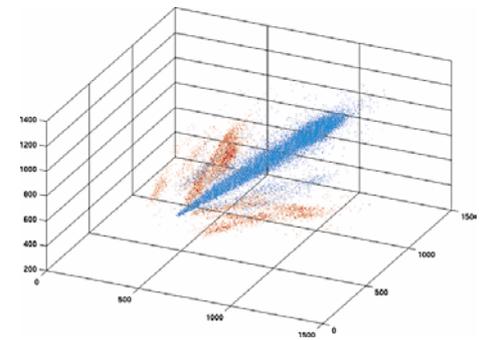
In Zusammenarbeit mit dem im medizinischen Dienstleistungsbereich angesiedelten Unternehmen alphaCardio wurde eine Kombination von drei morphologischen Parametern des dreidimensionalen Lorenzplots als potenzieller Arrhythmie-Risikoparameter untersucht. In einem ersten Schritt wurde ein aus 553 medizinisch klassifizierten EKGs bestehender Datensatz herangezogen, um einerseits den für hohes

PHT-Risiko kritischen Parameterbereich datenbasiert abzustecken und andererseits einen ersten Gütetest der Parameter vorzunehmen, mit dem Ziel, notwendige Modifikationen zu erkennen. In der Folge wird zur Zeit im Rahmen einer in einer französischen Klinik durchgeführten Studie die Güte der Parameter untersucht. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Kombination derselben mit physiologischen Größen wie der linksventrikulären Auswurf fraktion (LVEF) und aus der Fourieranalyse des EKGs gewonnenen Frequenzbereichsparametern. Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend.

Im univariaten Vergleich hat sich der auf Neuronalen Netzen basierende Klassifikationsansatz als überlegen gegenüber dem zuerst vorgestellten erwiesen. Auch der nötige Rechenaufwand ist hier deutlich geringer.

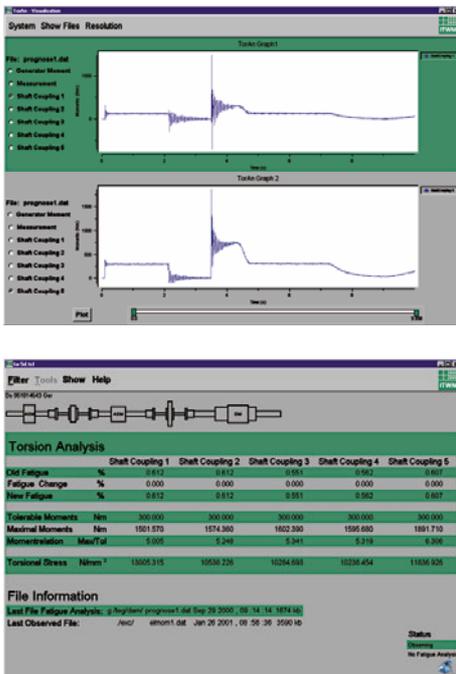
Als weitere Anwendung des Lorenzplots in der EKG-Analyse wird seit Mai 2000 das Problem der Identifikation von Personen mit Vorhofflimmern aus Kurzzeit-EKGs bearbeitet. Eine am ITWM entwickelte Detektions-Software wird in den ersten Monaten des Jahres 2001 im praktischen Einsatz getestet.

Neben diesen stark an der medizinischen Anwendbarkeit und Vermarktbarkeit orientierten Projekten wurden im Rahmen der Forschungsaktivitäten Magisterarbeiten zur EKG-Analyse mit Neuronalen Netzen und Methoden der symbolischen Dynamik angefertigt. Zusammen mit der Arbeitsgruppe Statistik des Fachbereichs Mathematik wurden in der Praxis immer wieder auftretende Fragen zur Zerlegung von EKG-Zeitreihen in angenähert stationäre Teilstücke mit Hilfe linearer Zeitreihenmodelle untersucht. Ein Forschungsprojekt zur Analyse von Belastungs-EKGs ist in der Startphase.



Lorenzplots eines mit einem Antiarrhythmikum behandelten Patienten (blau: Normalschläge, rot: Extrasystolen).  
oben: vor Gabe des Medikaments.  
mitte: kurze Zeit nach Beginn der Behandlung.  
unten: nach länger dauernder Gabe des Medikaments.

# Modellbasierte Überwachung und Regelung mechatronischer Systeme



TorAn - Grafische Benutzeroberfläche.

## TorAn: Überwachung des Torsionsverhaltens rotierender Maschinen

Im Kontext der Überwachung des Schwingungsverhaltens von rotierenden Maschinen wurde das Software-Tool TorAn (Torsion Analyst) entwickelt. Durch den Einsatz von TorAn soll insbesondere die Anzahl der benötigten sehr teuren Sensoren zur Messung von Torsionsmomenten auf ein Minimum reduziert werden. Die Idee von TorAn ist, basierend auf wenigen Torsionsmessungen die Momentenverläufe an den nicht gemessenen kritischen Systemkomponenten mit einem online-tauglichen Beobachter zu schätzen und im Falle eines Störfalls eine Lebensdaueranalyse für diese Komponenten durchzuführen. Auf diese Weise ist insbesondere eine Lebensdaueranalyse für kritische Systemkomponenten möglich, bei denen aufgrund technischer Restriktionen kein Sensor positioniert werden kann.

## Technische Realisierung

Der zugrunde liegende Beobachter, der im Rahmen eines BMBF-Projektes entwickelt wurde, wird für jedes rotierende System vom ITWM mit einer speziell zu diesem Zweck entwickelten Software berechnet. Dazu wird in einem ersten Schritt eine FE-Modellierung des Systems durchgeführt. Wichtige Informationen über den Einfluss von fehlerhaft modellierten Parametern erhält man mit einer Sensitivitätsanalyse. Speziell für elastomechanische Systeme entwickelte Modelladaption- und Reduktionsverfahren werden dazu benutzt, die Modellqualität bei einer geeigneten Modelldimension zu verbessern. Die verbesserten Modelle stellen dann die Basis des robusten Beobachterdesigns dar. Der so berechnete Beobachter wird dann in einem für TorAn

lesbaren Format abgelegt und dem Anwender zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich zu dem Beobachter benötigt TorAn als Input auch Messungen der Torsionsmomente an dem beim Beobachterdesign angegebenen Sensorpositionen. Diese werden durch den im Auftrag des ITWM entwickelten berührungslosen Drehmomentsensor über eine Messkarte TorAn zur Verfügung gestellt. Basierend auf den Messungen schätzt TorAn online die Torsionsmomente an den übrigen kritischen Systemkomponenten. TorAn erkennt Störfälle und gibt die resultierende Restlebensdauer und die wichtigsten Daten des Störfalls für die überwachten Komponenten in tabellarischer Form aus. Eine grafische Visualisierung der Zeitverläufe der Störfälle ist mit TorAn ebenfalls möglich.

Im Laboratorium von Prof. Kulig – unserem Partner an der Universität Dortmund – hat sich TorAn bereits in der Praxis bewährt.

Der berührungslose Drehmomentsensor sowie das Softwaretool werden auf der Sensor-2001, 8.-10. Mai in Nürnberg, vorgestellt.



Rotorprüfstand der Universität Dortmund.

Partner:

Lehrstuhl für elektrische Maschinen, Antriebe und Leistungselektronik, Universität Dortmund

Kontakt:

Dipl.-Math. Andreas Wirsén  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 68  
E-Mail: wirsen@itwm.fhg.de

## Beschreibung von Drehstrom- maschinen mit nichtlinearen Ersatzschaltbildern

Elektrische Maschinen sind komplexe elektrische Systeme. Zur Beschreibung einer solchen Maschine geht man heute zwei unterschiedliche Wege, wobei die Maschine am genauesten über die elektrischen und magnetischen Feldgrößen modelliert wird. Diese Darstellung ist jedoch wenig anschaulich. Nur mit Hilfe von komplexen Feldberechnungsprogrammen können die Feldgleichungen aufgelöst werden. Dies erfordert einen sehr großen Rechenaufwand und ist selbst auf leistungsfähigen Computern sehr zeitaufwendig. Deshalb ist die Darstellung elektrischer Maschinen mittels Ersatzschaltbildern weit verbreitet und gebräuchlich. In den Ersatzschaltbildern sind die physikalischen Größen auf die abgeleiteten Größen Strom und Spannung, die durch konzentrierte Elemente wie Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten miteinander verknüpft sind, abgebildet. Mit den Ersatzschaltbildern stehen verständliche Modelle für das Verhalten des Systems zur Verfügung, das Denken in den Modellgrößen Strom und Spannung anstatt in den physikalischen Feldgrößen ist leichter nachzuvollziehen. Mit den Ersatzschaltbildern ist es auch möglich, komplexe elektrotechnische Systeme, z. B. Energieverteilungsnetze – in Deutschland werden zur Energieversorgung ungefähr 1000 Synchronmaschinen in den Kraftwerken eingesetzt – zu berechnen.

## Modellierung und Methoden

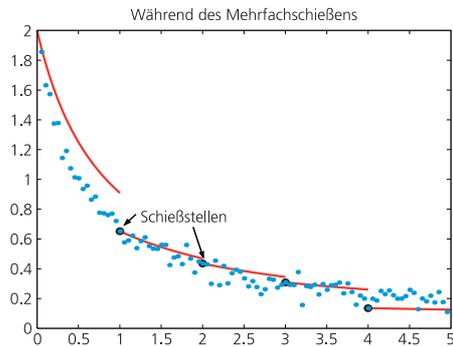
Drehfeldmaschinen zerfallen in zwei Klassen: Synchronmaschinen (SM) und Asynchronmaschinen (ASM). Die Namen rühren vom Zusammenspiel von Rotor und Drehfeld her: Bei erstgenannten Maschinen dreht sich der Rotor synchron mit dem Feld, d. h. die Frequenz der elektrischen Speisung des Stators legt die Drehzahl der Maschine fest. Bei der Asynchronmaschine bestimmt das Belastungsmoment neben der Ständerfrequenz die Drehzahl: je höher das Gegenmoment, desto geringer die Drehzahl.

Die gängigen mathematischen Modelle für die Maschinen lassen sich durch Differentialgleichungssysteme darstellen, in denen alle Parameter, das heißt die Widerstände, Induktivitäten usw., konstant sind. Da bei linearen Ersatzschaltbildern die Induktivitäten als konstant angenommen werden, gilt das Modell strenggenommen nur in einem Betriebspunkt. Dies ist in der Regel der Nennpunkt der Maschine. Häufig interessiert aber das Verhalten der Maschine in anderen Betriebszuständen, z. B. im Fehlerfall.

Ein Modellansatz, der die Sättigung sowie die Wirbelstromeffekte in Asynchronmaschinen berücksichtigt, ist angebracht. Dieses vorgeschlagene Ersatzschaltbild zeichnet sich dadurch aus, dass die den nichtlinearen Effekten unterworfenen Parameter als variable Elemente angesetzt werden. Deren Abhängigkeit von der Stromstärke bzw. der Frequenz wird aus Funktionen



Schenkelgenerator bei der Läufermontage.



Zum Mehrzielverfahren.

des Rotorersatzwiderstandes identifiziert. Ein ähnlicher Modellansatz für Synchronmaschinen wird verfolgt. Die der Sättigung unterworfenen Parameter des Ersatzschaltbildes werden als Funktion des Stromes angesetzt. Ihre Identifikation soll aus der Auswertung des dreipoligen Kurzschlusses erfolgen.

Die Asynchronmaschine (ASM) wird zunächst im realen Dreiphasensystem mit ihren Spannungs- und Flussgleichungen sowie den mechanischen Zusammenhängen beschrieben und anschließend mit der Parkschen Transformation in ein Zweiachsensystem umgewandelt. Nach einer weiteren Umwandlung in das Bezugskoordinatensystem entstehen die fundamentalen Differentialgleichungen für das Ersatzschema. Das nichtlineare inverse Problem besteht darin, nicht messbare physikalische Parameter  $p$  (Induktivitäten) zu bestimmen, wobei Messdaten  $b$  (Stromstärken) zur Verfügung stehen. Ein mathematisches Modell beschreibt die Relation von  $p$  und  $b$ :  $F(p) = b$ , wobei  $F: X \mapsto Y$  ein nichtlinearer Operator zwischen geeigneten Funktionenräumen ist, der bei dynamischen Systemen die Relation Parameter / Lösung der Differentialgleichung beschreibt. Das inverse Problem besteht darin,  $p$  aus  $b$  zu bestimmen.

Für eine numerische Realisierung dieses nichtlinearen inversen Problems müssen Optimierungsverfahren und ODE-Löser miteinander verzahnt werden.

Für die Lösung des ODE-Systems spielt die verwendete Integrationsmethode und deren Genauigkeit wie auch deren Stabilität eine wesentliche, theoretisch jedoch nur schwer erfassbare Rolle. Ihr wird deshalb im Projekt besondere Beachtung geschenkt. Häufig ist die Hemmschwelle zum Einsatz komplexer, auf Ableitungen basierender mathematischer Lösungsmethoden zur numerischen Behandlung von Optimierungsproblemen noch recht hoch, obwohl effiziente Implementierungen existieren. Vorgezogen werden oft intuitiv eingängigere oder ad-hoc-Verfahren, wie Versuch-und-Irrtum, genetische Algorithmen oder Simulated Annealing. Diese Ansätze mögen bei wenigen Variablen im Optimierungsproblem noch durchführbar sein, der Aufwand liegt aber meist um Größenordnungen höher als der Aufwand zur Lösung eines Simulationsproblems. Es ist daher in jedem Fall effizienter, Ableitungsmethoden für die Optimierungsprobleme einzusetzen (z. B. Quasi-Newton-Verfahren). Dazu werden die Ableitungen der Zustandsgrößen nach den Parametern bestimmt. Werden Mehrziel- oder Kollokationsverfahren zur Diskretisierung der ODE-Anfangswertaufgabe verwendet, kommen Gleichheits- und Ungleichheitsnebenbedingungen zum Optimierungsproblem spezieller Blockstruktur an den Schießstellen hinzu. Um den Instabilitäten nichtlinearer inverser Probleme entgegenzutreten, sind in den Optimierungsverfahren Regularisierungsstrategien vorgesehen.

Gefördert durch:

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Partner:

Lehrstuhl für elektrische Maschinen, Antriebe und Leistungselektronik, Universität Dortmund

Kontakt:

Dr. Günter Gramlich

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 42

E-Mail: gramlich@itwm.fhg.de

In Natur und Industrie finden sich viele Beispiele für viskoelastische Verbundwerkstoffe: Holzverbundstoffe, Beton, Asphalt, Knochen sowie verschiedene Arten von Polymeren. Material wird dann als viskoelastisch bezeichnet, wenn die Spannungs- bzw. Dehnungsfelder zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht nur von der Spannung oder Dehnung zu diesem Zeitpunkt sondern von der kompletten Deformations- bzw. Belastungsgeschichte des Werkstoffes abhängen. Diese Eigenschaft wird als Materialgedächtnis bezeichnet.

Die Arbeitsgruppe entwickelt mathematische Modelle und Homogenisierungsalgorithmen, mit deren Hilfe die durchschnittlichen viskoelastischen Eigenschaften oder die Festigkeit von Verbundwerkstoffen auf der Grundlage von bekannten Eigenschaften ihrer Komponenten berechnet werden können.

Es wurde bereits ein EU-Projekt zur Verbesserung von Zahnfüllstoffen auf Basis von durch Glaspartikel periodisch verstärkten Polymeren erfolgreich durchgeführt.

## Klinischer Einsatz von zementlosen Hüftprothesen

Die Behandlung der Hüft-Osteoarthritis konzentriert sich auf die Linderung von Schmerzen und die Verbesserung der Gelenkbewegung. Greifen die konservativen Behandlungsmethoden nicht mehr, so wird ein Austausch des betroffenen Gelenks durch einen künstlichen Ersatz, eine Gelenkprothese, notwendig. Jedes Jahr unterziehen sich mehr als 500 000 Patienten weltweit einer solchen Hüftoperation, um Schmerzen und Steifigkeit des Gelenks zu verringern und die Mobilität wiederherzustellen. Es gibt zwei Arten von Hüftprothesen: einzementierte und zementlose. Die moderneren zementlosen Hüftprothesen stellen heute 35 Prozent des europäischen Marktes dar, wobei der gegenwärtige Trend zu einer Verstärkung dieses Marktanteils geht, da sie seltener versagen als einzementierte Prothesen. Ein Versagen ist häufig auf ein fehlerhaftes Design des Implantats zurückzuführen. Hier kommt insbesondere ein Mangel an Methoden und Hilfsmitteln, die eine genaue Bewertung des Designs vor den klinischen Tests ermöglichen, zum Tragen. Hierzu gehört sowohl die Bewertung der primären Stabilität unmittelbar nach dem Eingriff, als auch die sekundäre Stabilität nach dem ersten Einwachsen in den Knochen.

## Mathematische Modellierung

Es ist bekannt, dass Prothesen unmittelbar nach der Implantation nur durch Presspassung und Reibung stabil am Knochen gehalten werden. Ein ausgewachsener gefestigter Knochen ist nicht in direktem Kontakt mit der Oberfläche des Implantats, sondern durch eine dünne Zone (siehe Abb. 1), die löchrig ist oder verringerte mechanische Steifigkeit und Festigkeit besitzt, davon getrennt. Nach den vom Projektpartner IOR zur Verfügung gestellten Daten beträgt die Dicke des Fasergewebes um das Implantat ca. 100 - 200 Mikrometer.

Innerhalb dieses CRAFT-Projekts soll nun ein Verfahren entwickelt werden, das die Berechnung der Makrospannungen an der Grenzfläche zwischen Knochen und Prothese unter Einbeziehung der Mikrogeometrie der  $\varepsilon$ -Grenzflächenschicht (Schaftgeometrie, Knochenoberfläche und Aushöhlungen) und der Titansteifigkeit sowie der inhomogenen Knochensteifigkeit erlaubt. Die formalen asymptotischen Entwicklungen für verschiedene Beziehungen zwischen der Grenzschichtdicke und der Periode der Aushöhlungen sollen im vorliegenden Projekt erarbeitet werden. Die abgeleitete Makrobedingung

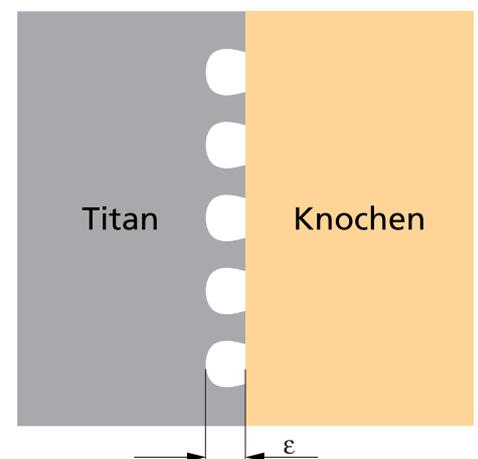


Abb. 1: Erster Kontakt zwischen Knochen und Implantat mit ungefüllten Aushöhlungen.



FE-Berechnung zur Belastung eines Oberschenkelknochens mit Hüftprothese.

wird dann in das vom Projektpartner in Wales entwickelte FEM-Modell eingefügt, wobei jedoch nur die Makroform der Prothese und die Steifigkeit und Festigkeit des Knochens und des Titans berücksichtigt werden. Die im ITWM abzuleitenden mittleren Kontaktschubspannungen werden es ermöglichen, die  $\varepsilon$ -Schicht in diesem Makro-FEM-Modell zu ersetzen, d. h. diese Schicht mit ihrer Mikrogeometrie zu vernachlässigen.

Die Definition der Mikrofestigkeit von Verbundwerkstoffen auf der Grundlage ihrer bekannten Makrospannungen und Mikrogeometrie sowie der elastischen Eigenschaften ihrer Komponenten ist ebenfalls Inhalt des Projektes. Deshalb soll die Methode der asymptotischen Homogenisierung zunächst zur Berechnung der homogenisierten Makrospannungen genutzt und anschließend die Approximation der Mikrospannungen berechnet werden. Der Term nullter Ordnung der Approximation der Mikrospannungen kann als Tensorprodukt des homogenisierten Spannungstensors und eines sogenannten Spannungs-Konzentrations-Tensors dargestellt werden. Der homogenisierte Spannungstensor ist nur eine Funktion der langsamen (Makro-) Variablen, während der Spannungs-Konzentrations-Tensor eine Funktion der schnellen (Mikrostruktur-) Variablen ist, die auf der einzelnen Periodizitätszelle existiert. Er kann aus dem vorher erhaltenen homogenisierten Steifigkeitstensor mit Hilfe der aus der Homogenisierungsmethode berechneten Spannungen ermittelt werden. Des Weiteren kann die Makrofestigkeit der Komponenten durch eine Anwendung dieser Approximation auf das Mikrospannungsfeld abgeschätzt werden. Diese kann dann als nicht-lokale Festigkeitsbedingung dargestellt werden, wobei das normalisierte Spannungsfunktional durch elastische und Festigkeits-Mikrobedingungen bestimmt wird. Die Kon-

vergenz bezüglich der tatsächlichen Festigkeitsbedingung muss im Laufe der Projekte noch untersucht werden.

Die Projektdurchführung erfolgt gemeinsam mit verschiedenen europäischen Firmen und Forschungsinstituten. Nach einer halbjährlichen EU-geförderten Sondierungsphase läuft das Projekt seit Februar 2001 im CRAFT-Programm der EU.

In der Antragsphase befindet sich ein weiteres EU-Projekt »Interstrength«, welches sich mit Problemen der Interface-Festigkeit und Riss-Initialisierung für Verbundwerkstoffe beschäftigt.

Gefördert durch:

Europäische Kommission (CRAFT-Programm)

Partner:

Dept. of Basic Dental Science, College of Medicine, University of Wales (GB)

Instituti Ortopedici Rizzoli (IOR), Bologna (I)

Hit Medica, Rimini (I)

Coating Industries, Vaulx-en-Velin (F)

Techn. Beratung Dr. Becker, Ensldorf

Kontakt:

Dr. Julia Orlik

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 42

E-Mail: orlik@itwm.fhg.de



## Hintergrund und Entstehung

Die moderne Finanzmathematik ist eines der zur Zeit am stärksten bearbeiteten mathematischen Forschungsgebiete. Die den Modellen des Aktienhandels zugrunde liegende Mathematik ist neue Mathematik (d. h. Mathematik, die erst in den zurück liegenden Jahrzehnten entwickelt wurde) und gleichzeitig auch sehr anspruchsvoll. Man benötigt zum Teil sehr spezielle Kenntnisse im Bereich der stochastischen Prozesse, der stochastischen Integration, der stochastischen und der partiellen Differentialgleichungen sowie der parametrischen und nicht-parametrischen Statistik. Gleichzeitig werden die Hauptergebnisse der Finanzmathematik täglich tausendfach angewendet, und die Tendenz für ihren Einfluss auf die Praxis der Finanzmärkte ist weiter steigend.

Dieser Tendenz hat das ITWM mit der Einrichtung einer Gruppe »Finanzmathematik« innerhalb der Abteilung »Adaptive Systeme« Rechnung getragen. Zusätzlich zu den bisher in der Abteilung bereits vorhandenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf dem Gebiet der Finanzmathematik wurde der Bereich mit zwei Stellen aufgestockt, finanziert durch das rheinland-pfälzische Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung. Es besteht die Absicht, die Gruppe zu einer eigenständigen Abteilung auszubauen. Die Leitung hat Professor Korn übernommen, der neben Professor Franke als Berater für das ITWM tätig ist.

## Kompetenzen

Am ITWM sind hervorragende Kompetenzen in allen wesentlichen Bereichen der modernen Finanzmathematik vorhanden, wie z.B. auf den Gebieten:

- Portfolio-Optimierung,

- Derivate (speziell exotische Optionen),
- Investment bei Crashgefahr,
- Bootstrap und Neuronale Netze,
- Risikomessung, -modellierung und -management,
- Kredit-Rating, Kredit-Risiko, Kredit-Derivate.

Im abgelaufenen Jahr durchgeführte Projekte waren u.a.

- Untersuchung und Implementation moderner Methoden der Portfolio-Optimierung,
- Numerische Verfahren zur Berechnung der Preise exotischer Derivate,
- Transformation von Kredit-Ratings,

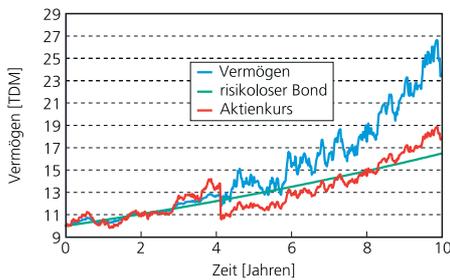
wobei aus den letzten beiden Projekten Industrieprojekte mit der Landesbank Baden-Württemberg in Stuttgart und der DePfa Bank in Wiesbaden hervorgingen. Letzteres wurde von Dr. G. Kroisandt betreut und wird im folgenden nicht näher beschrieben. Weiter arbeitete Dipl.-Math. H. Holzberger im Berichtszeitraum an der Fertigstellung ihrer Promotion zum Thema »Nonparametric Estimation of Nonlinear ARMA and GARCH Processes«.

## Visionen

Wie bereits angedeutet, soll das laufende Jahr ganz im Zeichen der Erweiterung der Gruppe stehen. Hierbei sollen neben der Bearbeitung weiterer Industrieprojekte auch gezielt Eigenforschungsprojekte durchgeführt werden, um weiteres Know-how, z. B. auf den Gebieten Kredit-Risiko, Energie- und Wetterderivate, aufzubauen. Ziel ist es, das ITWM zu dem Partner für Finanzdienstleister und Unternehmensberatungen zu machen, wenn es um Aufträge mit Forschungsanteil im Bereich der Finanzmathematik geht.



Simulation eines Aktienkursverlaufs.



Vermögensentwicklung bei einem Aktiencrash in Höhe von 24 Prozent nach vier Jahren und Verwendung der Crash-optimierten Strategie.

## Moderne Methoden der Portfolio-Optimierung

Das Problem des optimalen Investments von Kapital in verschiedene Anlagegüter ist eines der zentralen Probleme der Finanzmathematik. Im Gegensatz zur Optionsbewertung, bei der seit Jahrzehnten zeitstetige Modelle der Finanzmathematik in der Praxis angewendet werden, bildet das über vierzig Jahre alte Einperioden-Modell von Markowitz samt einiger Varianten nach wie vor die Grundlage der Investitionsentscheidungen von Fondsmanagern.

### Moderne Methoden

Die Entwicklung der zeitstetigen Portfolio-Optimierung ist mittlerweile so weit fortgeschritten, dass sich viele Algorithmen zur praktischen Anwendung und Implementation anbieten, wie z. B. am Fachbereich Mathematik der Universität Kaiserslautern entwickelte Algorithmen zur zeitstetigen Portfolio-Optimierung mit Aktien, Bonds und Derivaten. Die Untersuchung und Implementation weiterer Verfahren mit z. B. expliziter Berücksichtigung von Crashmöglichkeiten dokumentiert das am ITWM vorhandene Know-how auf diesem Gebiet, das weit über die Standardverfahren der finanzmathematischen Praxis hinaus geht.

### Implementation und Anpassung der Theorie an die Praxis

Einige Annahmen, die den obigen modernen Methoden zugrunde liegen, scheinen ihre Anwendung in der Praxis zunächst unmöglich zu machen. Dies sind beispielsweise die Annahme des kontinuierlichen Handels, die Nichtberücksichtigung von Transaktionskosten, die Konzentration auf Aktieninvest-

ment sowie das Ignorieren von Crashmöglichkeiten am Markt.

Im Rahmen des Projekts wurden die Auswirkungen der Anpassungen dieser Annahmen an die Praxis untersucht. So wurde festgestellt, dass ein Verzicht auf kontinuierliches Handeln kaum Konsequenzen nach sich zieht. Wird z. B. nur monatlich gemäß der im zeitstetigen Modell optimalen Strategie umgeschichtet, so führt das zu fast identischen Werten im erwarteten Nutzen sowie im Endvermögen im Vergleich zum idealisierten Modell.

Es zeigte sich weiter, dass die Verwendung von Derivaten im Anlageportfolio zur Risikoreduktion beitragen kann. Auch die explizite Berücksichtigung der Gefahr eines möglichen Aktiencrashes wurde verstärkt untersucht.

Die vorliegenden Algorithmen wurden im Rahmen eines »eindimensionalen« Programms mit vielen State-of-the-Art-Funktionen der Portfolio-Optimierung wie

- Auswahl der Handlungshäufigkeit,
- Modellierung bei Crashgefahr,
- Berücksichtigung von Transaktionskosten,
- Auswahl von Derivaten als Alternative zum Aktieninvestment,
- Ausgabe verschiedener Risikomaße (CaR, VaR, Standardabweichung)

sowie eines »mehrdimensionalen« Programms mit einigen State-of-the-Art-Funktionen implementiert.

Kontakt:

Prof. Dr. Ralf Korn  
Dipl.-Math. Elke Korn  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-27 47  
E-Mail: korn@itwm.fhg.de

## Numerische Verfahren zur Berechnung der Preise exotischer Derivate

Im Zuge des großen Erfolgs des Derivatehandels innerhalb der letzten Jahrzehnte einerseits, der nicht zuletzt durch die Eröffnung der Deutschen Terminbörse (DTB) in Frankfurt 1990 dokumentiert wurde, und der zunehmenden Globalisierung der Wirtschaft andererseits, erscheinen am Finanzmarkt immer neue Typen von Derivaten, die allgemein unter der Bezeichnung exotische Optionen zusammengefasst werden. Zur Berechnung der Preise dieser Optionen verwendet man das Black-Scholes-Modell, das trotz punktueller Kritik weite Verbreitung gefunden hat und heute Marktstandard ist. Wohl auch aus diesem Grund erhielten Merton und Scholes 1997 dafür den Nobelpreis.

Innerhalb dieses Modells wird der Aktienkurs durch eine geometrische Brownsche Bewegung modelliert.

$$dS = S(\mu dt + \sigma dW_t).$$

Der faire Preis einer Option wird als der Wert des billigsten Portfolios definiert, mit dem man das Auszahlungsprofil der zugrundeliegenden Option exakt duplizieren kann. Dieser Preis ist gerade der Mittelwert der Auszahlung bezüglich des risiko-neutralen Wahrscheinlichkeitsmaßes.

Innerhalb des Black-Scholes-Modells gibt es für viele Optionstypen geschlossene Preisformeln. Die wohl bekannteste von diesen ist die sogenannte »Black-Scholes-Formel«, mit der man den Preis für ein Aktienkaufsrecht »Call« bzw. Verkaufsrecht »Put« berechnen kann. Da das Auszahlungsprofil einer exotischen Option jedoch nicht nur von den Aktienkursen zum Fälligkeitsdatum abhängt sondern vom gesamten Preisverlauf, und zusätzlich

Dividenden berücksichtigt werden, können meistens keine geschlossenen Lösungen angegeben werden.

## Vorgehensweise

Je nach Optionstyp werden geeignete numerische Methoden entwickelt, die aus den Bereichen Baumverfahren, Simulation, Quasi-Monte-Carlo-Methoden und Diskretisierungsverfahren für partielle Differentialgleichungen stammen. Ferner werden auch analytische Näherungsformeln implementiert, die meistens darauf basieren, die in den Rechnungen auftauchenden Zufallsvariablen durch solche zu approximieren, mit deren Hilfe man eine geschlossene Formel angeben kann.

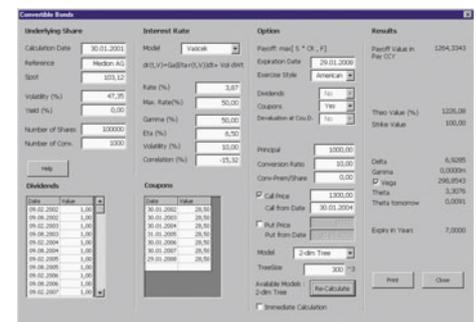
Das Ziel besteht in der Auswahl möglichst effizienter Verfahren, die eine Optionswertberechnung innerhalb weniger Sekunden bei akzeptabler Genauigkeit erlauben, sowie der Anpassung und Weiterentwicklung bestehender numerischer Verfahren für neue Optionstypen. Gleichzeitig sollen für einen bestimmten Bereich von Derivaten Algorithmen zur konkreten Preisbestimmung implementiert werden.

## Implementierung

Um eine breite Anwendbarkeit der Bewertungsmodule zu sichern, sind sie in der Programmiersprache C++ implementiert worden. Die Module wurden in einer Dynamic Link Library (DLL) zusammengefasst und damit in EXCEL eingebunden. In EXCEL wurde dann unter Visual Basic for Applications (VBA) eine komfortable Benutzeroberfläche entwickelt, mit deren Hilfe der Benutzer die Bewertungsroutinen ansteuern kann. Zusätzlich können die Module als benutzerdefinierte Funktionen auf den Bildschirmstabellen eingesetzt werden.



Benutzeroberfläche zur Bewertung einer asiatischen Option.

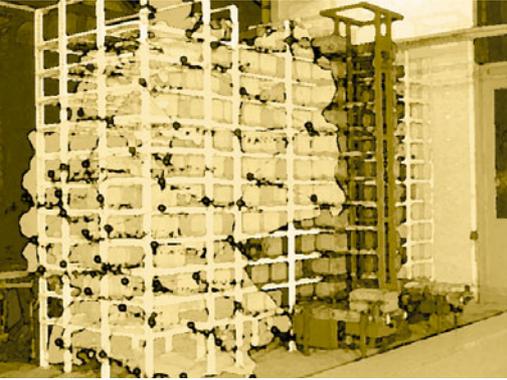


Benutzeroberfläche zur Bewertung eines Convertible Bonds.

Partner:  
Landesbank Baden-Württemberg, Stuttgart

Kontakt:  
Dipl.-Math. Martin Krekel  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 68  
E-Mail: krekem@itwm.fhg.de

# Abteilung Optimierung



Ziel der Abteilung ist die Erforschung und Bereitstellung von Modellen und Verfahren der Mathematischen Optimierung für Industrie, Dienstleistung und den sozialen Sektor. Hierbei spielt die Erstellung entsprechender Software, im Dialog mit dem Kunden, eine wichtige Rolle.

Die Abteilung gliedert sich in folgende Schwerpunkte:

- innerbetriebliche Logistik,
- überbetriebliche Logistik,
- Verkehrsplanung,
- Ressourcenoptimierung im sozialen Sektor.

In den Logistik-Bereichen war ein überdurchschnittliches Wachstum zu verzeichnen. Im Bereich Verkehrsplanung gelang es, ein sehr vielversprechendes Forschungsprojekt zu starten.

Die Arbeiten werden durch die Kooperation mit der Arbeitsgruppe Mathematische Optimierung an der Universität Kaiserslautern unterstützt.

## Innerbetriebliche Logistik

In vielen Betrieben ist durch eine bessere Gestaltung von Arbeitsabläufen ein erhebliches Verbesserungspotenzial vorhanden. Dieses Verbesserungspotenzial ist jedoch oft nicht durch eine punktuelle Verbesserung einzelner Arbeitsschritte zugänglich, sondern nur durch eine Analyse und Optimierung der Arbeitsabläufe als Ganzes. Durch Aufdeckung solcher Potenziale mittels Simulation wird beim Kunden im Dialog ein Problembewusstsein geschaffen. Dann können mit wirtschaftsmathematischen Methoden die aufgedeckten Problembereiche gemeinsam angegangen und die Ergebnisse gegebenenfalls mittels einer Simulation verifiziert werden. Ein wichtiges Werkzeug ist hierbei die Online-Optimierung.

## Überbetriebliche Logistik

Durch die Globalisierung der Märkte sowie das Zusammenwachsen von Europa wird ein effizientes Design (z. B. Standortplanung) und Management (z. B. Produktionsplanung) einer Supply-Chain immer essenzieller für den wirtschaftlichen Erfolg. Ziel ist, die damit verbundenen Entscheidungsprozesse mit Methoden der Standorttheorie und der kombinatorischen Optimierung zu modellieren und Lösungsvorschläge anzubieten. Ferner wird auch die Einführung moderne E-Business-Konzepte unterstützt.



Prof. Dr. Horst W. Hamacher



PD Dr. Stefan Nickel



Dipl.-Math. Patricia Domínguez-Marín



Dr. Michael Eley



Dr. Thomas Hanne



Dipl.-Math. Jörg Kalcsics



Optimierung

## Verkehrsplanung

Die immer größere Verkehrsdichte im Individualverkehr erfordert eine kostenneutrale Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Verkehrs und eine bessere Abstimmung zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln. Hierfür werden Methoden der Graphentheorie, der Standortplanung und der kombinatorischen Optimierung eingesetzt. Spezielle Themen, die hier bearbeitet werden, sind Anschluss-Sicherung und Tarifgestaltung im Öffentlichen Personennahverkehr, der Entwurf von effizienten intermodalen Verkehrssystemen im Personen- und Güterverkehr sowie kombinierte reguläre und benutzerorientierte Verkehrssysteme.

## Ressourcenoptimierung im sozialen Sektor

Eines der Hauptprobleme im sozialen Sektor ist die Beschränktheit der Ressourcen, die in diesem Bereich zur Verfügung stehen. Deshalb ist es Ziel dieses Schwerpunkts, durch mathematische Modellierung unter den gegebenen Rahmenbedingungen das Leistungsniveau aufrecht zu halten oder sogar zu steigern. Maßgebend ist hierbei, dass die »Ressource« Mensch im Zentrum der Aufmerksamkeit steht.

Beispiele der Probleme sind Entscheidungs- und Planungssysteme für Krankenhäuser (speziell für Patiententransport, Aufzugsteuerung und Layout). Ferner wird mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg an Optimierungsverfahren bei der Bestrahlungsbehandlung von Krebspatienten gearbeitet.

Als weiterer Teilbereich wird außerdem die Evakuierung von Gebäuden, Sportstätten und Regionen betrachtet.

### Kontakt:

Prof. Dr. Horst W. Hamacher  
Bereichsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 71  
E-Mail: hamacher@itwm.fhg.de

PD Dr. Stefan Nickel  
Abteilungsleiter  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-45 58  
E-Mail: nickel@itwm.fhg.de



PD Dr.  
Karl-Heinz Küfer



Dr.-Ing.  
Alexander Lavrov



Dr. Teresa Melo



Dipl.-Math.  
Martin C. Müller



Dr. Anita Schöbel



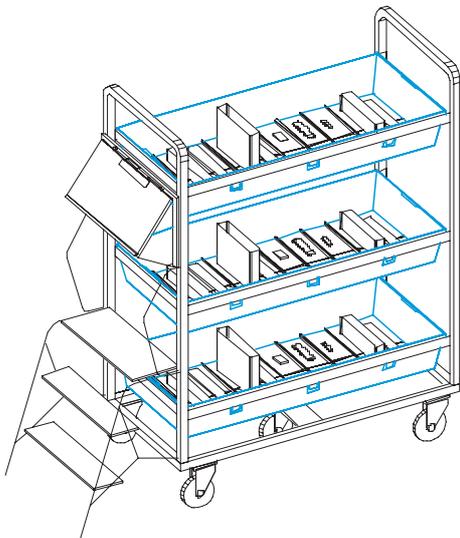
Dipl.-Math.  
Tim Sonneborn



M. Sc.  
Stevanus Tjandra



Dipl.-Math.  
Hans Trinkaus



Kommissionierwagen.

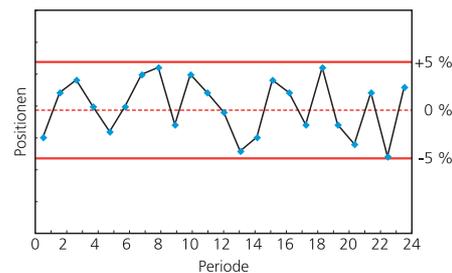


Abb. 1: Positionen pro Periode und zulässiger Korridor.

## Die Balance halten – Effektiveres Kommissionieren durch kombinatorische Optimierung

Die Kommissionierung ist die zentrale Komponente des Logistikzentrums eines Versandhändlers mit einem Sortiment von etwa 100 000 Artikeln. Neben einer großen Zahl an Endkunden werden auch Filialen und Geschäftskunden beliefert. Die Bearbeitung der individuellen Kundenaufträge stellt höchste Anforderungen an Flexibilität und Leistungsfähigkeit des Systems. Vergleichbar einer Massenproduktion in Durchsatz und Wertschöpfung werden jedoch ausschließlich kundenspezifische Produkte, d. h. Lieferungen, bearbeitet. Im Unterschied zum folgenden Projekt steht hier die Optimierung der Produktionsplanung gegenüber der reinen Simulation im Vordergrund.

Zum Einsatz kommt ein modulares System aus manuellen Arbeitsstationen, die durch einen Materialflussverbund vernetzt sind. Parallelsysteme steigern an mehreren Stellen den Durchsatz. Die strikte Einhaltung von Reihenfolgebedingungen wird durch den Einsatz von Sortierpuffern unterstützt. Die optimale Abarbeitungsreihenfolge für das Gesamtsystem ist die zentrale Aufgabe der Produktionsplanung.

## Modellierung

Hauptziel der Optimierung von Gesamtsystemen wie diesem ist der reibungslose und gleichmäßige Arbeitsablauf auch bei schwankender Belastung. Die Maximierung einzelner Leistungsmaße tritt in den Hintergrund. Dies gilt insbesondere auch bei durchschnittlicher Belastung, bei der nicht – wie im Maximallastfall – Durchschnitts- und Höchstleistung identisch sein müssen.

Die Auslastung des Gesamtsystems misst sich nach beinahe ebenso vielen unterschiedlichen Kriterien wie vorhandenen Komponenten. Während z. B. für einen manuellen Kommissioniervorgang die Zahl an Orderlines pro Zeiteinheit entscheidend ist, so begrenzt an anderer Stelle ein automatischer Puffer die geometrischen Außenmaße oder eine Förderstrecke die Zahl an Lieferungen pro Zeiteinheit. Für den reibungslosen Arbeitsablauf ist es nun entscheidend, die Bearbeitungsreihenfolge so zu steuern, dass alle Lastmaße über kurze Zeiträume möglichst wenig schwanken. Dazu wurde ein mehrperiodisches Multi-Knapsack-Modell erstellt, das für jedes Einzelkriterium die Einhaltung eines geeigneten Korridors sicherstellt (vgl. Abb. 1):

$$\left| \sum c_{ij} x_i \right| \leq \varepsilon_j \quad \forall i, j.$$

Für den Betrieb von Parallelsystemen wird durch einen Set-Partitioning-Ansatz die Auftragsmenge in unabhängige Untermengen geteilt. Dadurch wird gleichzeitig die Anlagenrobustheit gesteigert, da die Auswirkungen vorübergehender Ausfälle lokal begrenzt bleiben. Dazu kommen noch lokale Optimierungen wie Wege- und Fahrzeiten und die ergonomische Zuordnung von Arbeitsplätzen zu Mitarbeitern. Zur numerischen Lösung setzen wir neben kommerziellen Solvern (XPRESS, CPLEX) bekannte graphentheoretische Algorithmen und eigenentwickelte Heuristiken ein.

## Anwendung

Am ITWM wurde neben einer Materialflusssimulation ein vollständig funktionsfähiger Prototyp der Produktionsplanungssoftware erstellt. Dieser wird den Kern der Produktionssoftware bilden, die die tatsächliche Anlage steuern wird.

Partner:  
Pierau-Planung, Hamburg

Kontakt::  
Dipl.-Math. Martin C. Müller  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 72  
E-Mail: mueller@itwm.fhg.de

Dipl.-Math. Jörg Kalcsics  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 79  
E-Mail: kalcsics@itwm.fhg.de



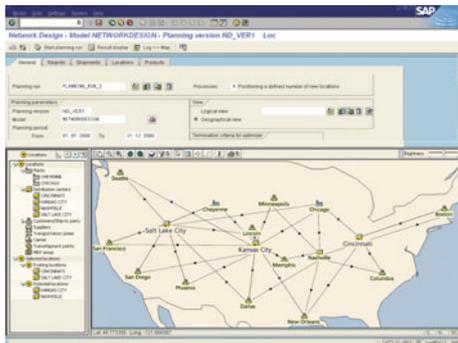


Abb. 2: Struktur einer Supply-Chain in Network Design: Ausgangssituation.

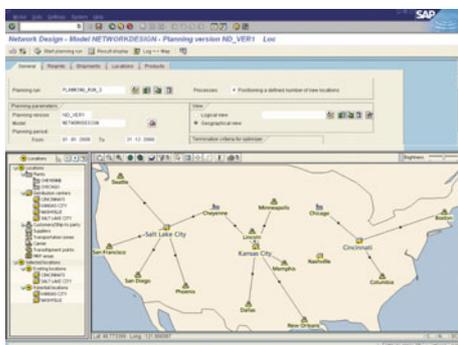


Abb. 3: Optimierte Supply-Chain.

## Optimierung von Standortentscheidungen im Supply-Chain-Design

Strategische Entscheidungen, die sich auf die Platzierung von Anlagen wie Produktionsstätten, Vertriebszentren und Lager beziehen, sind von großer Bedeutung für die Rentabilität von Supply-Chains. Sorgfältig durchgeführte Standortplanungen erlauben einen effizienteren Materialfluss und führen zu verringerten Kosten und besserem Kundenservice.

Mit unserem Partner, der SAP AG, wurde das Softwaretool Network Design entwickelt, das den Entscheidungsträger bei der strategischen Auslegung einer Supply-Chain unterstützt. Mit Hilfe des Tools können Entscheidungen in den folgenden Bereichen unter Berücksichtigung von Bedarfs- und Kostenstrukturen getroffen werden:

- *Beschaffung:* Welche Menge an Materialien soll wo beschafft werden?
- *Produktion:* Wo und wie viel soll produziert werden?
- *Distribution:* Welche Transportwege sollen benutzt werden?
- *Standortplanung:* Wie viele neue Einrichtungen sollen wo geöffnet werden? Welche der existierenden Einrichtungen (z.B. Lager) sollen geschlossen werden?
- *Kundenzuordnung:* Welche Einrichtung beliefert welchen Kunden?

Abbildung 2 stellt eine Supply-Chain im Network Design Modul dar, welche aus elf Kunden und zwei Produktionsstätten in den USA besteht. Gesucht wird die optimale Anzahl neuer Lager aus vier potenziellen Standorten. Die möglichen Transportwege zwischen

den Einrichtungen der Supply-Chain werden ebenfalls im Bild gezeigt.

## Modellierung

Zur Planung der Supply-Chain stehen im Network Design verschiedene Modelle der diskreten Optimierung zur Verfügung. Diese werden als gemischt ganzzahlige lineare Probleme formuliert und mit Hilfe der Optimierungsoftware CPLEX® gelöst. Für die Fragestellung in Abbildung 2 stellt Abbildung 3 das Ergebnis der Optimierung dar. Aus den vier potenziellen Standorten für neue Lager wurden drei gewählt. Abbildung 3 zeigt auch die kostenoptimale Zuordnung von Kunden zu Lagern und von Lagern zu Werken.

Darüber hinaus unterstützt Network Design eine regelmäßige Evaluierung der bestehenden Supply-Chain durch planare Modelle, welche es ermöglichen Schwachstellen zu entdecken. In diesem Rahmen wird z. B. untersucht, wie gut eine vorhandene Supply-Chain bezüglich der Kundenversorgung genutzt wird. Diese Frage ist gleichbedeutend mit der Aufgabe, die Einzugsgebiete der Serviceeinrichtungen zu finden.

## Systemumgebung

Network Design ist ein Modul von APO (Advanced Planner and Optimizer), der von SAP entwickelten Supply-Chain-Software, und ist mit anderen Applikationen des APO verknüpft, wie z. B. der Bedarfsprognose durch das Demand Planning Modul.

Partner:  
SAP AG, Walldorf

Kontakt:  
Dipl.-Math. Jörg Kalcsics  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 79  
E-Mail: kalcsics@itwm.fhg.de  
Dr. Teresa Melo  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 26  
E-Mail: melo@itwm.fhg.de



## Mehrstufige Produktionsplanung

In einer Supply-Chain werden Zwischen- und Endprodukte hergestellt, transportiert oder gelagert. In Abbildung 4 wird eine Supply-Chain als ein Netzwerk aus Knoten und Pfeilen abgebildet. Jeder Knoten stellt ein Produkt in einem bestimmten Standort dar. Zusammenhänge zwischen Produkten und Komponenten werden durch Pfeile beschrieben.

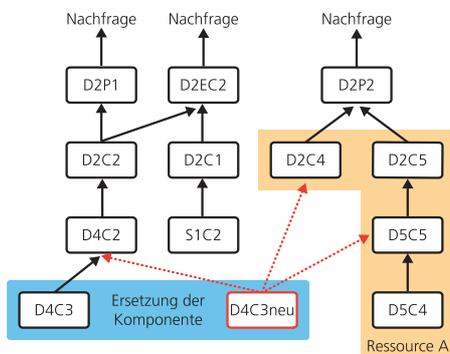


Abb. 4: Generelle Erzeugnisstruktur einer Supply-Chain.

Das Ziel der Optimierung der Produktionsplanung innerhalb einer Supply-Chain besteht in der Bestimmung der Zeitpunkte, zu denen Endprodukte und die dafür benötigten Komponenten in den erforderlichen Mengen hergestellt, ausgeliefert oder bestellt werden sollen. Bei der Planung werden mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt, u.a.:

- Ressourcen haben beschränkte Kapazitäten und können von unterschiedlichen Produkten in Anspruch genommen werden.
- Gewünschte Losgrößen, Mindestlagerbestände und Mindestproduktions- und -bestellmengen sollen berücksichtigt werden.
- Aufgrund laufender Fortentwicklungen und Produktveränderungen ist die Erzeugnisstruktur dynamisch,

d.h. einzelne Komponenten werden innerhalb des Planungszeitraums durch neue ersetzt.

- Nachfolgeprodukte können aus alternativen Komponenten und Ressourcen mit unterschiedlichen Bezugsverhältnissen hergestellt werden.

In der Regel übersteigt das Volumen der Kundenaufträge die vorhandenen Produktionskapazitäten. Eine Verspätung der Kundenaufträge kann daher nicht vermieden werden.

## Lösungsansatz

In Praxisanwendungen werden üblicherweise Probleme mit über 100.000 Kundenaufträgen über einem Planungszeitraum von einem Jahr tagesgenau geplant. Stücklisten mit mehr als 50.000 Einträgen und komplexer Erzeugnisstruktur sind dabei keine Seltenheit. Aufgrund dieser Problemgrößen erweist sich der Einsatz exakter Lösungsverfahren als nicht geeignet.

Zur Lösung des betrachteten Problems wurde daher eine Konstruktionsheuristik entwickelt. Abbildung 5 stellt die Grundstruktur der Heuristik dar. Zunächst wird ein Produktionsplan unter Vernachlässigung der Kapazitätsrestriktionen erzeugt. Dabei werden die Produktionsmengen für die Endprodukte geplant, aus denen dann der Bedarf für die Komponenten aus der höchsten Stücklistenebene berechnet wird. Iterativ werden dann die einzelnen Stücklistenebenen geplant. Im zweiten Schritt werden Strategien zur Reduzierung der Kapazitätsverletzungen durchgeführt. Schließlich werden im dritten Schritt lokale Optimierungsstrategien verwendet, welche den gefundenen Produktionsplan schrittweise verbessern.



Abb. 5: Grundstruktur des Lösungsverfahrens.

Partner:  
 ICON Industrie Consulting GmbH, Karlsruhe  
 Kontakt:  
 Dr. Thomas Hanne  
 Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 70  
 E-Mail: hanne@itwm.fhg.de

## Intelligente Kataloge – Integration von Content und Produktdaten

Die meisten produzierenden Industriebetriebe nutzen 3D-Produktdaten nur im Rahmen des Innovationsprozesses. Eine darüber hinausgehende Visualisierung der Daten – zur internen Kommunikation, zur betrieblichen Schulung und zur effizienten Gestaltung von Marketingmedien – innerhalb eines integrierten Produktdaten- und Contentmanagements ist naheliegend, scheitert aber oft an mangelndem Wissensmanagement vor Ort.

## Aufgabenstellung

Die Tehalit GmbH, Heltersberg, ist deutscher Marktführer im Bereich Elektroinstallationssysteme. Begleitend zur Substitution eines wesentlichen Teils des etablierten Produktspektrums sollte ein neuartiges Marketingwerkzeug entwickelt werden, welches gleichzeitig Aufmerksamkeit bei unterschiedlichen Benutzergruppen erzeugt, detaillierte Produktinformation vermittelt und sichere Bestellvorgänge realisiert. Die gesamte grafische Information war aus den vorhandenen CAD-Konstruktionszeichnungen abzuleiten.

## NP-COM – neue Wege im E-Business

Im ersten Projektabschnitt wurde eine integrierte Informations- und Bestellsoftware entwickelt, die grafisch auf virtuelle Daten gestützt ist.

Animierte Bildfolgen stellen Planern Produktneuigkeiten vor, detaillierte Montagesequenzen informieren Techniker, ein interaktives Bestelltool ermöglicht komfortable und fehlerfreie Auftragsgenerierung für den Kunden.

Die Abbildung 6 zeigt einen wesentlichen Aspekt des Bestellvorgangs, bei welchem der Nutzer von der Systemübersicht zum Einzelprodukt geführt wird und gleichzeitig Systemkenntnisse erwirbt.

In weiteren Projektabschnitten wird die Integration von Produktdaten und Contentmanagement verstärkt, um den betrieblichen Workflow zu optimieren und somit den gesamten Produktinnovationsprozess entscheidend zu beschleunigen

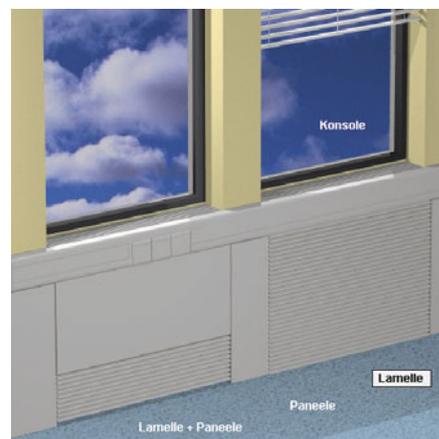


Abb. 6: Top-Down-Zugang des Bestellvorgangs.

Partner:  
Tehalit GmbH, Heltersberg

Kontakt:  
Dipl.-Math. Hans Trinkaus  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-11  
E-Mail: trinkaus@itwm.fhg.de



## Anschluss-Sicherung in multimodalen Verkehrssystemen

Die Stärkung des öffentlichen Personennahverkehrs in Stadt und Land ist ein Schwerpunkt der gegenwärtigen Verkehrsplanung. Möglichst viele Verkehrsteilnehmer sollen zum Umsteigen auf öffentliche Verkehrsmittel wie Busse und Bahnen bewegt werden.

Da nicht für jeden Fahrtwunsch eine direkte Verbindung angeboten werden kann, sind Umsteigevorgänge nicht zu vermeiden. Was jedoch bei diesen Umsteigevorgängen gewährleistet sein muss, ist die sogenannte Anschluss-sicherung. Das bedeutet, der Fahrgast soll nach Ankunft an der Umsteigehaltestelle in einem angemessenen Zeitrahmen in ein anderes Fahrzeug umsteigen können, um seinen Weg fortzusetzen. Dieser Zeitrahmen darf einerseits nicht zu klein sein, um eventuell nötige Fußtransfers noch bewältigen zu können oder auch um geringfügige Verspätungen aufzufangen. Andererseits sollten zu lange fahrplanmäßige Wartezeiten vermieden werden.

## Praktische Probleme bei der Anschluss-Sicherung

Viele Verkehrsbetriebe haben ihre Fahrpläne noch sehr wenig auf Anschluss-sicherheit ausgelegt. Oft sind eventuell veranschlagte Umsteigzeiten zu kurz bemessen, weil ein längerer Fußweg oder eine mögliche Verspätung nicht ausreichend einkalkuliert wurde, so dass schon bei geringfügigen Verspätungen der Anschluss verpasst wird. Gerade beim Umsteigen von einem Verkehrsmittel auf ein anderes (z. B. Bahn auf Bus) in multimodalen Verkehrssystemen (siehe Abb. 7) ist oft gar keine Abstimmung vorhanden.

## Mathematischen Optimierung in der Anschluss-Sicherung

Um das komplexe Gebiet eines Verkehrsverbunds zu untersuchen und die Auswirkungen möglicher Fahrplanänderungen zu simulieren, wurde ein mathematisches Modell für das Anschlusssicherungsproblem (ASP) aufgestellt. Das ASP wurde in geeignete quantitative Beziehungen, Gleichungen und Ungleichungen übertragen, die die Anwendung algorithmischer Methoden aus der diskreten Mathematik erlauben. Dabei können mehrere (sich möglicherweise widersprechende) Zielfunktionen zur Bewertung miteinbezogen werden. Die daraus resultierenden Optimierungswerkzeuge sollen die Verkehrsplaner bei Fahrplanänderungen aller Art unterstützen. Einerseits sollen sie dabei helfen, die Folgen für die Anschlusssicherheit abzuschätzen und zu kompensieren. Änderungen in den Fahrplänen treten beim Fahrplanwechsel oder beim Einrichten einer neuen Linie auf, können aber auch als Folge von Baustellen oder Umleitungen entstehen. Andererseits sollen auch mögliche Reaktionen auf unvorhergesehene Ereignisse wie Ausfälle oder Verspätungen miteinbezogen werden. Weiterhin können durch das mathematische Modell Schwachstellen des Verkehrsnetzes bestimmt und Methoden zu deren Beseitigung erarbeitet werden.

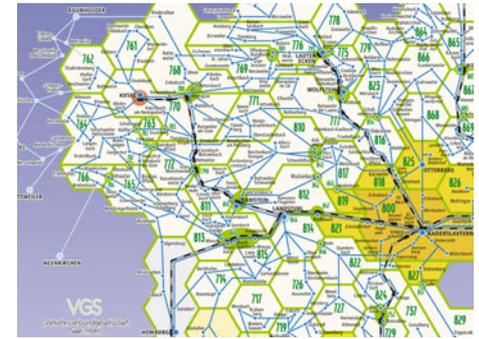


Abb. 7: Referenzgebiet »Lautertal« bei Kaiserslautern.



Auswirkungen von Verspätungen im Referenzgebiet »Lautertal: Auftreten der Verspätung in Wolfstein. Die betroffenen Anschlussrelationen sind rot markiert.

gefördert durch:

Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation

Partner:

Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH (VRN), Mannheim

Verkehrsverbundgesellschaft Saar mbH (VGS), Saarbrücken

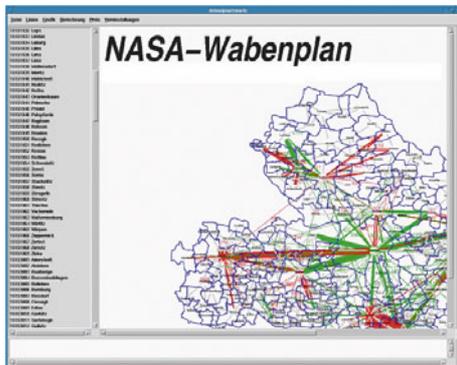
Deutsche Bahn AG, Regionalbereich Frankfurt

Kontakt:

Dipl.-Math. Tim Sonneborn

Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-44 73

E-Mail: sonneborn@itwm.fhg.de



NASA-Wabenplan.

## Evaluierung von Tarifwaben im ÖPNV

Eine wesentliche Aufgabe im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ist die Entwicklung einheitlicher Tarifsysteme. Diese sollten einerseits gerecht, andererseits aber auch leicht zu verwalten und für die Fahrgäste durchschaubar sein. Die meisten großen Verbünde verwenden daher schon »Wabentarife« oder planen, solche einzuführen. Dabei wird das gesamte Gebiet der Unternehmen in Tarifzonen (Waben) eingeteilt. Der Preis für eine Fahrt wird anhand der Anzahl der durchfahrenen Waben bestimmt. Aus diesen Angaben lässt sich mittels eines graphentheoretischen Modells für jedes Haltestellenpaar der neue Fahrpreis im Wabensystem bestimmen und mit dem bisherigen vergleichen.

Um derartige Daten berechnen zu können, ist es nötig, die Anzahl der Fahrgäste für jedes Haltestellenpaar zu kennen. Dazu sind relationsgenaue Kundendaten erforderlich. Da diese in der Regel nicht vorliegen, müssen sie approximiert werden. Sehr gute Ergebnisse können erreicht werden, wenn man die (meistens unvollständigen) relationsgenauen Daten mit den nachgewiesenen Verkaufsstatistiken kombiniert. Im Einzelfall sind dazu verschiedene Umlegeverfahren und ein hoher Zeitaufwand nötig.

Liegen die Kundendaten vor, so kann mit Hilfe der Software WabPlan (entwickelt von G. Schöbel) eine umfangreiche Evaluierung und der Entwurf neuer Wabensysteme vorgenommen werden. Die im Folgenden beschriebenen Anwendungen fanden in Kooperation mit dem Beratungsbüro G. Schöbel statt.

## Bewertung von Wabensystemen

Ein wichtiges Kriterium bei der Beurteilung eines neuen Tarifsystems sind die zu erwartenden Fahrgeldeinnahmen, da die Alteinnahmen in der Regel erhalten bleiben sollen. Ein weiteres wichtiges Ziel besteht andererseits aber darin, die Waben so zu entwerfen, dass möglichst wenige Fahrgäste durch steigende Preise verärgert werden. Folgende Bewertungskriterien sind interessant:

- Durchschnittliche absolute Preisänderung für die Kunden beim Übergang zum Wabentarif,
- Harmonisierungsergebnis (aufgeschlüsselt nach den beteiligten Unternehmen),
- Durchtarifierungsergebnis.

## Anwendungen

- Wabenplanung im Saarland: Entwicklung eines einheitlichen Tarifsystems für alle öffentlichen und privaten Verkehrsunternehmen in Saarland.
- Übergangsbereich zwischen Saarland und Westpfalz: Evaluierung eines speziellen Tarifangebots für den grenzüberschreitenden Verkehr zwischen den beiden Verkehrsverbänden VGS und WVV.
- Übersteigertarif in der Region Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg: Entwicklung eines Tarifsystems für die Zeitkartenkunden, die mehrere Verkehrsunternehmen benutzen.

Partner:  
Verkehrsverbundgesellschaft Saar mbH (VGS)  
Westpfalz-Verkehrsverbund GmbH (WVV)  
Nahverkehrservice Sachsen-Anhalt (NASA) GmbH  
Beratungsbüro G. Schöbel, Kaiserslautern

Kontakt:  
Dr. Anita Schöbel  
Tel.: +49 (0) 6 31/2 05-45 90  
E-Mail: schoebel@itwm.fhg.de



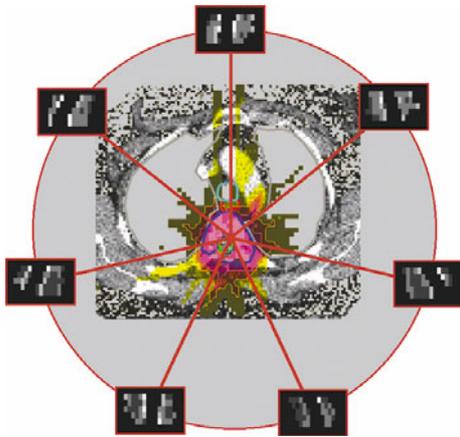


Abb. 10: Einstrahlgeometrie und Intensitätsprofile.

## Strahlentherapieplanung – Neue Modelle für die EUD

Klinische Strahlentherapieplanung ist stets eine schwierige Gratwanderung zwischen den kurativen Prozess gefährdender Unterdosierung des Tumorgewebes bzw. Zielvolumens und gefährlicher Überdosierung von umliegendem Gewebe – insbesondere von Risikoorganen. Planerische Grundlage sind auf klinischen Statistiken und strahlenbiologischen Modellen beruhende ideale untere Dosissschranken für das Zielvolumen und obere Dosissschranken für die Risiken.

### Problematik

Bei fast keinem Patienten können diese »idealen« Dosissschranken eingehalten werden, da das zugehörige mathematische Modell im Allgemeinen keine Lösung besitzt. Es müssen vertretbare Kompromisse aus Unterbestrahlung von Tumorgewebe und Überbestrahlung von Risiken gefunden werden. Die Strahlentherapieplanungsaufgabe lässt sich in natürlicher Weise als ein multi-kriterielles Optimierungsproblem modellieren (vgl. ITWM-Tätigkeitsbericht 1999, S. 68).

Projektziel ist die Entwicklung eines integrierten Echtzeitplanungssystems zur Gewinnung des vollständigen Therapie-Setups – also Einstrahlgeometrie und Intensitätsprofile der Strahlenköpfe (vgl. Abb. 10).

### Die Bewertung der Dosisverteilung

Ein zentrales Problem bei der Beurteilung von Therapievorschlägen ist die Bewertung der Dosisverteilung in Zielvolumen bzw. Risikoorganen. Strahlenbiologisches Modell hierfür ist die EUD (Equivalent Uniform Dose), die den im

allgemeinen inhomogenen Dosisverteilungen der Entitäten in der Wirksamkeit vergleichbare homogene Dosen zuordnet. Wirksamkeit von Strahlung wird eingeschätzt aufgrund statistischer Beobachtungen und Schätzungen, die homogenen Dosen Wahrscheinlichkeiten von positivem Behandlungsverlauf bzw. von Nebenwirkungen zuordnet.

Bei der Beobachtung der auftretenden Phänomene findet man einen Zusammenhang dieser strahlenbiologischen Wirksamkeit mit der Baustruktur der Organe. Wir unterscheiden eher seriell aufgebaute Organe, wie Rückenmark oder Speiseröhre, von eher parallel gebauten, wie der Lunge. Im Gegensatz zu seriellen arbeiten parallele Organe auch dann nahezu nebenwirkungsfrei, wenn Teile ihres Gewebes zerstört oder entfernt werden. Im Projektjahr 2000 wurde eine neuartige Modellierung für die Definition der EUD entwickelt. In Abhängigkeit von einem Serialitäts-Parallelitäts-Index  $\alpha$  zwischen 0 – eher vollständig parallel gebautes Organ – und 1 – vollständig serielles Organ – kann die EUD mit einer Max-and-Mean Normenschar

$$EUD(D) = (1 - \alpha) D_{mean} + \alpha D_{max}$$

gefittet werden. Die folgende Tabelle zeigt einige  $\alpha$ -Werte zur Bewertung der Dosisverteilung.

Organ	$\alpha$ -Wert
Herz	0.53
Lunge	0.09
Leber	0.49
Speiseröhre	0.90
Hirnstamm	0.75

Partner:  
Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ),  
Heidelberg

Kontakt:  
PD Dr. habil. Karl-Heinz Küfer  
Tel.: +49 (0) 6 31/3 66 81-13  
E-Mail: kuefer@itwm.fhg.de

## Vorträge

[V1] Eley, M.:

*A Tree Search Algorithm for Solving Heterogeneous Single- & Multiple-Container Problems*  
INFORMS Conference, San Antonio (USA), November 2000

[V2] Eley, M., Hamacher, H.W., Nickel, S., Tenfelde-Podehl, D.:

*Integrierte Krankenhausplanung: Layout, Ablaufplanung und Transporte*  
GOR Arbeitsgruppensitzung OR im Gesundheitswesen, Wiesbaden, März 2000

[V3] Gal, T., Hanne, T.:

*Nonessential Objectives and the LOOPS Method in MCDM*  
EURO XVII, 17<sup>th</sup> European Conference on Operational Research, Budapest (H), Juli 2000

[V4] Ginzburg, I.:

*Effective Lattice Boltzmann Methods for porous media*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000

[V5] Ginzburg, I.:

*New features in Lattice Boltzmann Methods*  
ParPac Workshop, Kaiserslautern, Oktober 2000

[V6] Ginzburg, I.:

*Lattice Boltzmann Method with Free Interface*  
GAMM Workshop »Discrete Modeling and Discrete Algorithms in Continuum Mechanics«, Braunschweig, November 2000

[V7] Gramlich, G.:

*Zur Parameteridentifikation bei Drehstrommaschinen*  
GAMM-Arbeitskreis Identifikation und Modellvalidierung, Dresden, Oktober 2000

[V8] Halfmann, T.:

*Automatische Generierung von Verhaltensmodellen analoger Schaltungen aus Netzlistenbeschreibungen*  
Avant! Saber User Group Meeting, München, Oktober 2000

[V9] Hamacher, H.W.:

*A mixed integer programming approach to the multileaf collimator problem*  
XIII. International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy, Heidelberg, Mai 2000

[V10] Hamacher, H.W.:

*Using multicriteria and discrete Optimization to design better cancer radiation plans*  
5<sup>th</sup> Conference of the Association of Asian-Pacific Operations Research Societies within IFORS, Singapur, Juli 2000

[V11] Hamacher, H.W.:

*Using Multicriteria and Discrete Optimization to Design better Cancer Radiation Plans*  
Université Libre, Brüssel (B), September 2000

[V12] Hamacher, H.W.:

*Polynomial Algorithms for Multicriteria Network Location Problems; Optimization and Simulation Approaches for Evacuation Plans*  
CSIRO Melbourne (Australien), September/Oktober 2000

[V13] Hamacher, H.W.:

*Ganzzahlige Optimierungsansätze zur Lösung des Multileaf Collimator Problems*  
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg, Dezember 2000

[V14] Hamacher, H.W.:

*On p hub center problems in networks*  
EURO Working Group on Locational Analysis (EWGLA) XII Barcelona (E), Dezember 2000

[V15] Hamacher, H.W.:

*Optimization and Solution of Real-World Problems in the ITWM*  
ITWM Meeting, Göteborg (S), November 2000

[V16] Hanne, T.:

*A heuristic approach for a multistage lot sizing problem with dynamic production structure*  
EURO XVII, 17<sup>th</sup> European Conference on Operational Research, Budapest (H), Juli 2000

[V17] Hilden, M.:

*Estimation of flood risk in urban areas*  
11<sup>th</sup> ECMI Conference (ECMI 2000), Palermo (I), September 2000

[V18] Iliev O., Stoyanov D.:

*On multigrid solvers for 3D Navier-Stokes equations*  
3<sup>rd</sup> International Conference on Finite Difference Schemes, Palanga (LT), September 2000

[V19] Iliev, O.:

*Numerical simulation of porous media flow in the presence of superabsorbers*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000

[V20] Iliev, O.:

*On some discretizations for the pressure equation in multimaterial saturated porous media*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000

[V21] Kalcsics, J.:

*Ordered Weber Problems on networks - A further analysis*  
EURO Working Group on Locational Analysis (EWGLA) XII, Barcelona (E), Dezember 2000

[V22] Keck, R.:

*The Finite-Volume-Particle Method*  
GAMM Workshop on Discrete Modeling and Discrete Algorithms in Continuum Mechanics, Braunschweig, November 2000

[V23] Keck, R.:

*Numerische Methoden zur Berechnung von Strömungs- und Wärmeübergangsproblemen*  
NUMET 2000, Erlangen, März 2000

[V24] Kuhnert, J., Tramecon, A., Ullrich, P.:

*Advanced Fluid Structure Coupled Simulations for Airbag Deployment*  
EUROPAM, Nantes (F), Oktober 2000

[V25] Kuhnert, J.:

*Moving Least Squares in SPH: Upwind techniques and Boundary Conditions*  
5<sup>th</sup> Hirschegg Workshop on Conservation Laws, Hirschegg (A), September 2000

[V26] Kuhnert, J.:

*A Particle Method for Modeling Gasflows Inside of Deploying Airbags (Finite Pointset Method)*  
Finite Points Set Seminar, ESI GmbH, Frankfurt/Eschborn, Oktober 2000

[V27] Lang, P.:

*Regulation Thermography and Long Term ECGs: Mathematics for Diagnosis Aiding in Medicine*  
4<sup>th</sup> Int. Conf. on Operations Research, Havana (Kuba), März 2000

[V28] Linn, J., Steinbach, J., Reinhardt, A.:

*Calculation of the 3D fiber orientation in the simulation of the injection molding process for short-fiber reinforced thermoplasts*  
ECMI 2000 Conference, Palermo (I), September 2000

[V29] Maas, C., Wiegmann, A., Mücklich, F.:

*Präparation und Schallabsorptionsoptimierung von verpressten Polyestervliesen*  
Internationale Konferenz über Materialographie, Saarbrücken, September 2000

[V30] Melo, T.:

*A heuristic approach for a multistage lot sizing problem with dynamic production structure*  
OR 2000, Dresden, September 2000

[V31] Neunzert, H.:

*Mathematik in der Medizin*  
Universität Hamburg, Januar 2000

[V32] Neunzert, H.:

*Industrielle Problemstellung für gitterfreie Verfahren*  
Oberwolfach, Januar 2000

- [V33] Neunzert, H.:  
*Vorstellung der Mathematik-Allianz*  
Technologie-Beirat Rheinland-Pfalz, Mainz, Januar 2000
- [V34] Neunzert, H.:  
*Festvortrag zur Emeritierung von Prof. Hoschek*  
Technische Universität Darmstadt, Februar 2000
- [V35] Neunzert, H.:  
*Technomathematics as a Study Programme*  
Technische Universität Athen, März 2000
- [V36] Neunzert, H.:  
*Mathematics as a key for key technologies*  
Technische Universität Athen, März 2000
- [V37] Neunzert, H.:  
*Vorstellung des ITWM*  
Sitzung des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft,  
München, April 2000
- [V38] Neunzert, H.:  
*Mathematik wird immer wichtiger*  
Vortragsreihe Studium Integrale, Universität  
Kaiserslautern, Mai 2000
- [V39] Neunzert, H.:  
*MINT-Professionals – Mangelware bei stark  
steigendem Bedarf*  
Technotag, Universität Kaiserslautern, Mai 2000
- [V40] Neunzert, H.:  
*Wissenschaft und Praxis: Kooperation einer  
Gießerei mit einem mathematischen Forschungs-  
institut*  
Hochschulrektorenkonferenz, Treffen russischer und  
deutscher Rektoren, Berlin, Juni 2000
- [V41] Neunzert, H.:  
*Teilnahme an Round Table Discussion »Shaping  
the next century«*  
3. Konferenz der European Mathematical Society,  
Barcelona (E), Juli 2000
- [V42] Neunzert, H.:  
*Fraunhofer-Mathematik, eine Gradwanderung  
zwischen Wissenschaft und Kommerz*  
Tagung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung,  
Dresden, September 2000
- [V43] Neunzert, H.:  
*Internationale Begegnungen in der Wissenschaft*  
Universität Heidelberg, September 2000
- [V44] Neunzert, H.:  
*Indienreise mit insgesamt 9 Vorträgen*  
IIT Madras, IISc Bangalore, IIT Delhi, University of Delhi,  
Roorkee University, November/Dezember 2000
- [V45] Nickel, S.:  
*Simulation und Online-Optimierung von kom-  
plexen Kommissioniersystemen*  
VDI-Seminar über Optimierte Kommissioniersysteme,  
Stuttgart, Februar 2000
- [V46] Nickel, S.:  
*Discrete and Network Ordered Weber Problems*  
17<sup>th</sup> International Symposium on Mathematical Program-  
ming, Atlanta (USA), August 2000
- [V47] Nickel, S.:  
*Mathematical Methods of Logistics*  
Universidad Nacional de Trujillo (Peru), Oktober 2000
- [V48] Nickel, S.:  
*Strategic Network Design*  
SAP-Workshop im Rahmen des Supply Chain Institute,  
Wiesloch, März 2000
- [V49] Nieschulz, K.-P., Milina, J., Thomas, M.,  
Schilling, W., Schmitt, T.G.:  
*Risk management for urban drainage systems -  
simulation and optimisation*  
International Symposium on Flood Defence, Kassel,  
September 2000
- [V50] Ohser, J.:  
*Integralgeometrische Methoden zur Bestimmung  
der Quermaßdichten aus tomographischen  
Abbildungen von Mikrostrukturen*  
DMV-Jahrestagung 2000, Dresden, September 2000
- [V51] Ohser, J.:  
*3d image analysis and its application in the  
investigation of X-ray microtomographic images  
of natural sandstone*  
International Conference on Spatial Statistics in the  
Agro-, Bio- and Geosciences, Freiberg, Juli 2000
- [V52] Ohser, J.:  
*The application of 3d image analysis to the  
characterization of X-ray microtomographic  
images of natural sandstone*  
EUROMET 2000, Saarbrücken, September 2000
- [V53] Pfreundt, F.-J.:  
*How to sell Mathematics*  
NERSC Berkeley (USA), September 2000
- [V54] Prätzel-Wolters, D.:  
*Expertensysteme in der Medizin*  
34. medizinische Woche Baden-Baden, September 2000
- [V55] Prätzel-Wolters, D.:  
*Rechnergestützte Medizindiagnostik in  
Kardiologie und Onkologie*  
Celle, Mai 2000
- [V56] Prätzel-Wolters, D.:  
*Mathematik: eine Schlüsseltechnologie*  
Festakt des ITWM, Kaiserslautern, November 2000
- [V57] Reinel-Bitzer, D.:  
*Mikrostruktursimulationen mit der Lattice-Boltz-  
mann-Methode*  
DMV-Tagung, Dresden, September 2000
- [V58] Rief, S.:  
*Non-Linear Flow in Porous Media - A Numerical  
Study of the Navier-Stokes System with Two  
Pressures*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000
- [V59] Rief, S.:  
*Non-Linear Flow in Porous Media - A Numerical  
Study of the Navier-Stokes System with Two  
Pressures*  
»Multiscale Problems in Science and Technology«,  
Dubrovnik (HR), September 2000
- [V60] Rösch, R.:  
*Algorithmen zur Inspektion texturierter  
Oberflächen*  
15. Heidelberger Bildverarbeitungsforum, Heilbronn,  
November 2000
- [V61] Schladitz, K.:  
*Statistical analysis of freeze fracture specimen*  
1<sup>st</sup> European Conference on Spatial and Computational  
Statistics, Ambleside (GB), September 2000
- [V62] Schladitz, K., Gerber, W., Sandau, K.:  
*Automatic classification of lamellar graphite in  
grey cast iron*  
Poster, EUROMET 2000, Saarbrücken, September 2000
- [V63] Schöbel, A.:  
*The delay mangement problem: Models and  
Solution Approaches*  
Conference on Computer Aided Scheduling, Berlin, Juni  
2000
- [V64] Schöbel, A.:  
*Design of Zone Tariff Systems in Public Transpor-  
tation*  
OR 2000, Dresden, September 2000
- [V65] Siedow, N., Brinkmann M.,  
Fotheringham, U.:  
*Theoretical and experimental determination of  
thermal transport in technical glasses*  
11<sup>th</sup> ECMI Conference, Palermo (I), September 2000
- [V66] Siedow, N., Brinkmann, M., Korb, T., Fother-  
ingham, U.:  
*Fundamentals of Pyrometric Temperature Mea-  
surements in Hot Glass*  
International Conference of Advances in Fusion and  
Processing of Glass/DGG Annual Meeting, Ulm, Mai 2000

[V67] Siedow, N., Loch, H.:  
*Mathematische Probleme der Glasindustrie*  
DMV-Tagung, Dresden, September 2000

[V68] Siedow, N., Manservigi, S.:  
*An optimal control approach to an inverse thermoelectric problem*  
11<sup>th</sup> ECFM Conference, Palermo (I), September 2000

[V69] Siedow, N., Neunzert, H.:  
*Mathematical Problems in Glass Industry*  
Workshop about Free Boundary Problems in Industry, Newton Institute, Cambridge (GB), Juli 2000

[V70] Siedow, N.:  
*Mathematik im Glas*  
Universität Saarbrücken, Dezember 2000

[V71] Sommer, R.:  
*Computer-aided Symbolic Analysis and Behavioral Modeling for Systematic Analog Circuit Design*  
2<sup>nd</sup> SADE Workshop at ESSCIRC 2000, Stockholm (S), September 2000

[V72] Sonneborn, T.:  
*Polyhedral Properties of Hub Location Problems*  
8<sup>th</sup> Meeting of the EURO-Working Group on Transportation, Rom (I), September 2000

[V73] Steiner, K.:  
*Microstructure-Simulation in Porous Media*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000

[V74] Steiner, K.:  
*Simulation of Moisture Transport in Textiles - Microstructure simulation*  
Internationale Chemiefasertagung, Dornbirn (A), September 2000

[V75] Steiner, K.:  
*Lattice-Boltzmann Methoden für Navier-Stokes Strömungen mit freien Oberflächen*  
DMV-Tagung, Dresden, September 2000

[V76] Stoyanov, D., Iliev, O.:  
*On a flexible multigrid solver for 3D Navier-Stokes and Stokes equations*  
4<sup>th</sup> Summer Conference »Numerical Modelling in Continuum Mechanics: Theory, Algorithms, Applications«, Prag (CZ), Juli/August 2000

[V77] Stoyanov, D., Iliev, O.:  
*On a flexible 3D multigrid Navier-Stokes solver with cell-based local refinement*  
2<sup>nd</sup> International Conference »Applied Mathematics for Industrial Flows« (AMIF), Il Ciocco (I), Oktober 2000

[V78] Tiwari, S., Kuhnert, J.:  
*General Smoothed Particle Hydrodynamics for Viscous Flows*  
8<sup>th</sup> International Conference on Hyperbolic Problems, Theory, Numerics, Applications, Magdeburg, März 2000

[V79] Tiwari, S.:  
*SPH method for free surface flows*  
5<sup>th</sup> Hirschegg Workshop on Conservation Laws, Hirschegg (A), September 2000

[V80] Wegener, R.:  
*An explicitly solvable kinetic model for vehicular traffic and associated macroscopic equations*  
TMR Workshop on New Applications of Kinetic Theory, Göteborg (S), Juni 2000

[V81] Wegener, R.:  
*Forschungskooperationen von Wirtschaft und Wissenschaft - Innovationen durch Querdenker: Hochschulen als Motoren der wirtschaftlichen Entwicklung*  
Berliner Bildungsdialoge, September 2000

[V82] Wegener, R.:  
*Kinetische Verkehrsflussmodelle*  
Institutskolloquium Angewandte Mathematik, Universität Hamburg, November 2000

[V83] Wiegmann, A.:  
*Structural Boundary Design via Level Set and Immersed Interface Methods*  
Workshop über Levelsetmethoden, Berlin, April 2000

[V84] Wiegmann, A.:  
*Structural Boundary Design via Level Set and Immersed Interface Methods*  
Interphase 2000 Konferenz, Berlin, Oktober 2000

[V85] Wiegmann, A.:  
*Finite Differenzen Verfahren für elliptische Differentialgleichungen mit unstetigen Lösungen*  
Universität Magdeburg, Oktober 2000

[V86] Zemitis A., Jungemann, M., Papastavrou, A.:  
*About a level set-fictitious region method*  
International conference MMA2000, Riga (LV), Juni 2000

[V88] Zemitis, A.:  
*Level set-fictitious region method for elliptic problems*  
Workshop »Porous Media«, Lambrecht/Pfalz, Juni 2000

[V89] Zemitis, A., Moog, M., Papastavrou, A.:  
*Levelsetmethoden für poröse Medien*  
Workshop über Levelsetmethoden, Berlin, April 2000

## Publikationen

[P1] Baddeley, A. J., Kerscher, M., Schladitz, K., Scott, B. T.:  
*Estimating the J function without edge correction*  
Statistica Neerlandica, 54 (2000), 3, S. 315-328

[P2] Becker, A.:  
*Vorrichtung und Verfahren zum Codieren von Wavelet-transformierten Video- und Bilddaten, sowie Verfahren und Vorrichtung zum Decodieren von codierten Wavelet-transformierten Video- und Bilddaten*  
Patent application 10038400.5

[P3] Becker, A.:  
*A Review on Image Distortion Measures*  
Berichte des ITWM, 19 (2000)

[P4] Bhattacharyya, A., Stoylov, V., Iliev, O.:  
*Evaluation of structural influence on performance of shape memory alloy linear actuators by sharp phase front-based constitutive models*  
Computational Materials Science, Vol. 18 (2000), S. 269-282

[P5] Bhattacharyya, A., Stoylov, V., Iliev, O.:  
*A moving boundary finite element method-based numerical approach for the solution of one-dimensional problems in shape memory alloys*  
Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, in Vorbereitung

[P6] Carrizosa, E., Hamacher, H. W., Klein, R., Nickel, S.:  
*Solving Nonconvex Planar Location Problems by Finite Dominating Sets*  
Journal of Global Optimizatoin 18 (2000), S.195-210

[P7] Chernogorova, T., Ewing, R., Iliev, O., Lazarov, R.:  
*On the discretization of interface problems with perfect and imperfect contact*  
In: Chen, Ewing and Shi (Eds), Proceedings of the workshop of computational physics, Beijing, China, August 2-6, 1999. Springer, 2000, S. 93-104

[P8] Daul, C., Rösch, R., Claus, B.:  
*Building a color classification system for textured and hue homogeneous surfaces: system calibration and algorithm*  
Machine Vision and Application 12 (2000), S. 137-148

[P9] Davtian, A., Hahn, U., Ohser, J., Stoyan, D.:  
*Estimating number density  $N_V$  - a comparison of an improved Saltykov estimator and the disector method*  
Image Anal. Stereol., 20, S. 2001-2006

- [P10] Drikakis, D., Iliev, O., Vassileva, D.:  
*Acceleration of multigrid flow computations through a dynamic adaptation of the smoothing procedure*  
Journal of Computational Physics, Vol.165 (2000), S. 94-100
- [P11] Eley, M.:  
*Approaches for solving container loading problems*  
Operations Research Proceedings 1999, Springer Verlag Berlin 2000, S. 445-460
- [P12] Eley, M., Hamacher, H. W., Nickel, S., Tenfelde-Podehl, D.:  
*OR im Krankenhauswesen*  
OR News, Heft 10, November 2000, S. 9-13
- [P13] Eley, M., Hamacher, H. W., Nickel, S., Tenfelde-Podehl, D.:  
*Integrierte Krankenhausplanung: Layout, Ablaufplanung und Transporte*  
Tagung der GOR Arbeitsgruppe OR im Gesundheitswesen, Wiesbaden 2000
- [P14] Emmer, S., Klüppelberg, C., Korn, R.:  
*Optimal portfolios with bounded capital at risk*  
Report in Wirtschaftsmathematik 66 (2000)
- [P15] Entchev, P., Lagoudas, D., Iliev, O.:  
*Domain Transformation Problems in 2D Oxidation*  
J. Mechanical Behaviour of Materials, Vol. 11, No.4, 2000, S. 275-293
- [P16] Feldmann, S., Prätzel-Wolters, D.:  
*Parameter Influence on the spectrum of index-2-Matrix polynomials*  
eingereicht bei: Linear Algebra and its Application
- [P17] Fliege, J., Nickel, S.:  
*An Interior Point Method for Multifacility Location Problems with Forbidden Regions*  
Studies in Locational Analysis 14 (2000), S. 23-45
- [P18] Ginzburg, I., Wittum, G.:  
*Two-Phase Flows on Interface Refined Grids Modeled with VOF, Staggered Finite Volumes, and Spline Interpolants*  
J. Comput. Phys. 166, 1 (2001)
- [P19] Götz, Th.:  
*Coupling heat conduction and radiative transfer*  
eingereicht bei: Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer
- [P20] Götz, Th.:  
*A spectrum preserving collocation scheme for Slender-Body Approximations to Stokes Flow*  
AG Technomathematik, Preprint 234, 2000
- [P21] Götz, Th.:  
*On the numerical solution of an integral equation arising from slender-body approximations to Stokes flow*  
eingereicht bei: Journal of Engineering Mathematics
- [P22] Götz, Th.:  
*Asymptotic Methods for Air-flow around fibers*  
eingereicht bei: Proceedings of the ECMI 2000 Conference, Palermo (I)
- [P23] Götz, Th., Unterreiter, A.:  
*Analysis and numerics of an integral equation model for slender bodies in low-Reynolds-number flows*  
Journal of Integral Equations and Applications 12 (2000), No. 3
- [P24] Günther, M., Klar, A., Materne, T., Wegener, R.:  
*An explicit solvable kinetic model for vehicular traffic and associated macroscopic equations*  
Angenommen bei Comp. Math. Appl.
- [P25] Halfmann, T., Hennig, E., Sommer R., Thole, M., Wichmann, T.:  
*Compensation of a Closed-Loop CMOS OTA*  
3. Workshop zur Förderinitiative »Smart System Engineering«, Berlin, April 2000 und 2<sup>nd</sup> SADE Workshop at ESSCIRC 2000, Stockholm (S), September 2000
- [P26] Halfmann, T., Hennig, E., Sommer, R., Thole, M., Wichmann, T.:  
*Nichtlineare Schaltungsanalyse und Verhaltensmodellierung*  
3. Workshop zur Förderinitiative "Smart System Engineering", Berlin, April 2000
- [P27] Halfmann, T., Thole, M.:  
*A Sizing Strategy for Combining DC & AC Constraints in Analog Circuit Design*  
Proc. 6<sup>th</sup> International Workshop on Symbolic Methods and Applications in Circuit Design (SMACD), Lissabon (P), Oktober 2000
- [P28] Halfmann, T., Wichmann, T.:  
*Behavioral Modeling: Methods, Applications, Perspectives*  
2<sup>nd</sup> SADE Workshop at ESSCIRC 2000, Stockholm (S), September 2000
- [P29] Hamacher, H. W., Bruglieri, M., Ehrgott, M.:  
*Some Complexity Results for k-Cardinality Minimum Cut Problems*  
Technical Report, Report in Wirtschaftsmathematik Nr. 69, Universität Kaiserslautern, Fachbereich Mathematik, 2000
- [P30] Hamacher, H. W., Klamroth, K.:  
*Lineare und Netzwerk-Optimierung - Linear and Network Optimization . Ein bilinguales Lehrbuch*  
Vieweg Verlag, 240 Seiten, 2000
- [P31] Hamacher, H.W., Klamroth, K.:  
*Planar Location Problems with Barriers and Block Norm*  
Annals of Operations Reserach, 96 (2000), 191-208
- [P32] Hamacher, H.W., Labbe, M., Nickel, S., Sonneborn, T.:  
*Polyhedral Properties of Hub Location Problems*  
ITWM-Report Nr. 20, Juni 2000
- [P33] Hanne, T.:  
*Global multiobjective optimization using evolutionary algorithms*  
Journal on Heuristics 6, 3 (Special issue on »Multiple objective metaheuristics« edited by X. Gandibleux, A. Jaskiewicz, A. Freville, R. Slowinski), 2000, 347-360
- [P34] Hanne, T.:  
*Review of »Joachim Paul Walser: Integer Optimization by Local Search«*  
Mathematical Methods of Operations Research, 51, 3, 2000, 515-516
- [P35] Hennig, E., Sommer, R.:  
*Frequency Compensation of Closed-Loop Feedback Amplifier Systems*  
Proc. ISCAS 2000, Geneva, CH, Juni 2000
- [P36] Hietel, D., Junk, M., Keck, R., Teleaga, D.:  
*The Finite-Volume-Particle Method*  
Proceedings GAMM Workshop on Discrete Modeling and discrete Algorithms in Continuum Mechanics, Braunschweig, November 2000
- [P37] Hietel, D., Steiner, K., Struckmeier, J.:  
*A Finite-Volume Particle Method for Compressible Flows*  
Math. Models Methods Appl. Sci. 10, No.9, 1363-1382, 2000
- [P38] Hilden, M.:  
*Estimation of flood risks in urban areas - the curb as a challenge for SWE*  
Mathematics in Industry (ECMI Subseries), Springer 2001, in Vorbereitung
- [P39] Iliev, O.:  
*A finite difference scheme of second order for elliptic problems with discontinuous coefficients*  
Differential equations, No. 4, 2000

- [P40] Kalcsics, J., Melo, T., Nickel, S., Schmid-Lutz, V.:  
*Facility Location Decisions in Supply Chain Management*  
Operations Research Proceedings 1999, Seiten 467-472, Springer Verlag Berlin, (2000)
- [P41] Korn, R., Korn, E.:  
*Option Pricing and Portfolio Optimization - Modern Methods of Financial Mathematics*  
AMS, Providence, Dezember 2000
- [P42] Korn, R., Wilmott, P.:  
*Optimal investment under the threat of a crash*  
Report in Wirtschaftsmathematik 64 (2000),
- [P43] Korn, R.:  
*Value preserving portfolio strategies and a general framework for local approaches to optimal portfolios*  
Mathematical Finance, Vol. 10, Issue 2, Oxford, 2000, S. 227-241
- [P44] Kuhnert, J., Tramecon, A., Ullrich, P.:  
*Advanced Air Bag Fluid Structure Coupled Simulations applied to out-of Position Cases*  
EUROPAM Conference Proceedings
- [P45] Kuhnert, J.:  
*An Upwind Particle Method for Compressible Euler and Navier Stokes Equations* (in Vorbereitung)
- [P46] Lang, Ch., Ohser, J., Hilfer, R.:  
*On the analysis of spatial binary images*  
J. Microscopy, angenommen
- [P47] Lang, P., Prätzel-Wolters, D., Wirsén, A., Kulig, S.:  
*Sensitivity and Robustness Analysis for Construction and Monitoring of Turbine-Generator Shafts*  
Springer-Verlag, 2000
- [P48] Martin, R., Röbbers, E., Halfmann, T., Hennig, E., Sommer, R., Thole, M., Wichmann, T.:  
*Analyse und Kompensation eines Instrumentenverstärkers*  
3. Workshop zur Förderinitiative »Smart System Engineering«, Berlin, April 2000
- [P49] Milina, J., Nieschulz, K.-P., Selseth, I., Schilling, W.:  
*A Proactive Approach to Flood Risk Management in Urban Drainage Systems*  
angenommen für: Urban Drainage Modeling (UDM01). Maksimovic, C. (Hrsg.), American Society of Civil Engineers, ASCE
- [P50] Nagel, W., Ohser, J., Pischang, K.:  
*An integral-geometric approach for the Euler-Poincaré characteristic of spatial images*  
J. Microscopy, 189, S. 54—62
- [P51] Neunzert, H.:  
*Mathematics as a key to basic and high technologies*  
in »Mathematics and its Applications to Industry«, Indian National Science Academy, New Delhi, 2000
- [P52] Neunzert, H., Siddigi, A.H.:  
*Topics in Industrial Mathematics*  
Kluwer 2000
- [P53] Neunzert, H., Siedow, N., Zingsheim, F.:  
*Simulation of the Temperature Behaviour of Hot Glass during Cooling*  
in: Cumberbatch, E., Fitt, A., Mathematical Modeling: Case Studies From Industry, Cambridge University Press
- [P54] Nickel, S., Schöbel, A., Sonneborn, T.:  
*Hub Location Problems in Urban Traffic Networks*  
in: Niittymäki and Pursula (Eds.): Mathematical Methods and Optimization in Transportation Systems, Kluwer academic publishers, 2000
- [P55] Nickel, S., Tenfelde-Podehl, D.:  
*Planning and Organization in the Hospital*  
Operations Research Proceedings 1999, Springer Verlag Berlin 2000, S. 548-553
- [P56] Nickel, S., Wiecek, M. M.:  
*Multiple Objective Programming with Piecewise Linear Functions*  
Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 8, p. 322-332 (2000)
- [P57] Nieschulz, K.-P.:  
*Gemeinsam gegen nasse Füße - Internationales Forschungsprojekt zu Überflutungsrisiken gestartet*  
In: Uni Spectrum, 4/2000, Kaiserslautern, S. 17
- [P58] Nieschulz, K.-P., Milina, J., Thomas, M., Schilling, W., Schmitt, T. G.:  
*Risk Management in urban drainage systems - simulation and optimisation*  
In: Toensmann, F., Koch, M. (Eds.), River Flood Defence, Vol. 1. Kassel Reports of Hydraulic Engineering No. 9/2000; S. F253-F262
- [P59] Ohser, J., Mücklich, F.:  
*Statistical Analysis of Materials Structures*  
J. Wiley & Sons, Chichester, London, New York
- [P60] Ohser, J., Sandau, K.:  
*Considerations about the estimation of size distribution in Wicksell's corpuscle problem*  
In: K. Mecke, D. Stoyan (Hrsg.), Statistical Physics and Spatial Statistics — The Art of Analyzing and Modeling Spatial Structures and Pattern Formation. Ser. Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, New York, Tokyo, S. 185-202
- [P61] Orlik, J., Mikhailov, S.E.:  
*Homogenization in Integral Viscoelasticity*  
Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM), GAMM 2000 Annual Meeting, in Vorbereitung
- [P62] Orlik, J.:  
*Transmission problem for viscoelastic aging*  
Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM), Vo. 80, Suppl. 2, 405-406, 2000
- [P63] Orlik, J.:  
*Transmission and Homogenization in hereditary Viscoelasticity*  
eingereicht für Konferenzbericht ECMI 2000, Palermo (I),
- [P64] Rodriguez-Chia, A., Nickel, S., Puerto, J.:  
*A flexible approach to location problems*  
Mathematical Methods of Operations Research 51 (2000), S.69-89
- [P65] Schladitz, K.:  
*Estimation of the intensity of stationary flat processes*  
Adv. Appl. Prob., 2000, 32, S. 114-139, SGSA
- [P66] Schladitz, K., Baddeley, A. J.:  
*A third order point process characteristic*  
Scand. J. Statist., 2000, 27, 4, S. 657-671
- [P67] Sethian, J.A., Wiegmann, A.:  
*Structural Boundary Design via Level Set and Explicit Jump Immersed Interface Methods*  
Journal of Computational Physics, 163, No 2, S. 489-528, 2000
- [P68] Siedow, N., Brinkmann, M., Korb, T.:  
*Remote Spectral Temperature Profile Sensing*  
Mathematical Simulation in Glass Technology, erscheint in Schott-Schriftenreihe, Band 8, Springer-Verlag
- [P69] Siedow, N., Brinkmann, M.:  
*Heat Transfer between Glass and Mold during Hot Forming*  
Mathematical Simulation in Glass Technology, erscheint in Schott-Schriftenreihe, Band 8, Springer-Verlag
- [P70] Siedow, N., Loch, H., Manservigi, S.:  
*Shape Optimization of Flanges*  
Mathematical Simulation in Glass Technology, erscheint in Schott-Schriftenreihe, Band 8, Springer-Verlag

[P71] Sommer, R., Hennig, E., Thole, M., Halfmann, T., Wichmann, T.:  
*Analog Insydes 2 - New Features and Applications in Circuit Design*  
Proc. 6<sup>th</sup> International Workshop on Symbolic Methods and Applications in Circuit Design (SMACD), Lissabon (P), Oktober 2000

[P72] Stoyanov, D., Iliev, O.:  
*On a multigrid, local refinement solver for incompressible Navier-Stokes equations*  
Mathematical Modeling, in Vorbereitung

[P73] Stoyanov, D., Iliev, O.:  
*On a flexible tool for upscaling porous media flow problems*  
Journal on Theoretical and Applied Mechanics, in Vorbereitung

[P74] Tiwari, S.:  
*Application of Moment Realizability Criteria for the Coupling of the Boltzmann and Euler Equations*  
TTSP, Vol.29, No.7, 2000

[P75] Tiwari, S.:  
*A LSQ-SPH Approach for Solving Compressible Viscous Flows*  
eingereicht bei HYP2000 Proceedings

[P76] Tiwari, S., Kuhnert, J.:  
*LSQ-SPH Method for Simulations of Free Surface Flows*  
eingereicht bei JCP

[P77] Tiwari, S., Manservigi, S.:  
*Modelling Incompressible Navier-Stokes Flows by LSQ-SPH*  
eingereicht bei SIAM J.Sci.Comp

[P78] Urbassek, H. M., Klein, P.:  
*Constant-Pressure Molecular Dynamics of Amorphous {Si}*  
Phys. Stat. Sol. (b) 217, S. 461, 2000

[P79] Wegener, R., Klar, A.:  
*Vehicular Traffic: From Microscopic to Macroscopic Description*  
Transport Theory and Statistical Physics 29 (3-5), S. 479-493, 2000

[P80] Wegener, R., Klar, A.:  
*Kinetic Traffic Flow Models*  
in: Bellomo, N., Pulvirenti, M. (Hrsg.): Modeling in Applied Sciences: A Kinetic Theory Approach. Birkhäuser 2000, S.263-316,

[P81] Wegener, R., Klar, A.:  
*Kinetic Derivation of Macroscopic Anticipation Models for Vehicular Traffic*  
SIAM Journal on Applied Mathematics Nr.60 (5), 2000, S.1749-1766

[P82] Wichmann, T., Thole, M.:  
*Computer Aided Generation of Analytic Models for Nonlinear Function Blocks*  
Integrated circuit design: power and timing modeling, optimization and simulation: 10<sup>th</sup> International Workshop, Proc. PATMOS 2000, Göttingen, Springer, 2000

[P83] Wichmann, T.:  
*Computer Aided Generation of Approximate DAE Systems for Symbolic Analog Circuit Design*  
ZAMM, Proc. Annual Meeting GAMM 2000, Göttingen 2000, in Vorbereitung

[P84] Wichmann, T.:  
*Controlling the Index during Nonlinear Behavioral Model Generation*  
Proc. 6<sup>th</sup> International Workshop on Symbolic Methods and Applications in Circuit Design (SMACD), Lissabon (P), Oktober 2000

[P85] Wiegmann, A.:  
*Analytic solutions of a multi-interface transmission problem and crack approximation*  
Inverse Problems, Vol. 16, 2000, S. 401-411

[P86] Wiegmann, A., Bube, K.P.:  
*The Explicit Jump Immersed Interface Method: Finite Difference Methods for PDE with piecewise smooth solutions*  
SIAM Journal on Numerical Analysis, Vol. 37 No. 3, S. 827-862, 2000

## Graduierungsarbeiten

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

[G1] Budiarto, E.:  
*Mathematical Simulation of Liquid-Vapour Phase Transition*  
Masterarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G2] Coros, C. A.:  
*Higher Order Rosseland Approximation*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G3] Fender, I.:  
*Advanced numerical algorithms for elliptic equations with variable coefficients*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G4] Götz, T.:  
*Interactions of Fibers and Flow*  
Dissertation, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G5] Hausbrandt, S.:  
*Modellierung und Realisierung einer (n-k)-Regel als Neuronales Fuzzy-System*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G6] Hennig, E.:  
*Symbolic Approximation and Modeling Techniques for Analysis and Design of Analog Circuits*  
Dissertation, Universität Kaiserslautern, FB Elektrotechnik (erschienen im Shaker Verlag, Aachen, 2000)

[G7] Heusermann, K.:  
*Optimal Shape Design for Heat Radiation in Industrial Furnaces*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G8] Jungemann, M.:  
*Fictitious Domain Methods for Elliptic Problems*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G9] Kuhnke, D.:  
*Homogenization of the Heat Conduction in Ceramic Materials*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G10] Küster, M.:  
*Numerische Umsetzung integralgeometrischer Methoden in der räumlichen Bildverarbeitung*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G11] Lojewski, C.:

*Eine parallele Systemarchitektur für die Visualisierung statischer, zeitabhängiger Volumendaten*  
Dissertation, Universität Kaiserslautern, FB Informatik

[G12] Moog, M.:

*Level Set Methods for Hele-Shaw Flow*  
Dissertation, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G13] Mühlhäuser, W.-F.:

*Active Contour Methods for the Segmentation of Flame Images*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G14] Nida, M. von:

*A Lagrangian Method for Fracture Dynamics*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G15] Orlik, J.:

*Transmission and homogenization in hereditary viscoelasticity with aging and shrinkage*  
Dissertation, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik (erschienen im Shaker Verlag, Aachen, 2000)

[G16] Pudasaini, S. P.:

*Mathematical Simulation of Free Surface Segregation in Granular Materials*  
Masterarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G17] Schick, Ch.:

*Adaptivity for Particle Methods in Fluid Dynamics*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G18] Sühling, M.:

*Computational Aspects of Multi-Scale Optical Flow*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

[G19] Wiese, M.:

*Symbolic Pole/Zero Approximation in Analog Circuit Analysis using Equation-based Simplification driven by Eigenvalue Shift Prediction*  
Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, FB Mathematik

## Messebeteiligungen und Konferenzteilnahmen

*1. Hannoversche Software-Tage für die Wasserwirtschaft*  
Hannover, März 2000, Teilnahme

*11<sup>th</sup> ECMI Conference (ECMI 2000)*  
Palermo (I), September 2000, Teilnahme und Vorträge

*9<sup>th</sup> International MAGMASOFT Usermeeting*  
Vaals (A), Teilnahme

*Bayern-Innovativ*  
Hof, April 2000, Aussteller

*BMBF Statusseminar*  
Dresdner Bank, Frankfurt, Dezember 2000, Poster:  
Umweltgerechtes Betanken

*Forum Verbundwerkstoffe und Polymere*  
Mainz, Teilnahme

*Hannover-Messe Industrie*  
Hannover, März 2000, Aussteller auf dem  
Gemeinschaftsstand Rheinland-Pfalz

*IFIP WG2.5 Working Conference & Software Architecture for Scientific Computing Applications*  
Ottawa (CAN), Oktober 2000, Teilnahme

*Interfab HealthCare 2000*  
Nürnberg, Mai 2000, Aussteller

*Internationale Chemiefasertagung und -messe*  
Dornbirn (A), September 2000, Aussteller

*INTERGEO Fachmesse für Geodäsie und Geoinformatik*  
Berlin, Oktober 2000, Teilnahme

*JPEG2000 Meeting No. 20-22*  
Arles (F), Rochester (USA), New Orleans (USA), Teilnahme

*Kickoff-Meeting »Mathematics, Computing and Simulation for Industry - MACSI-net«*  
Amsterdam (NL), November 2000, Teilnahme

*Kolloquium »Modellierung von Höhendaten für hydrologische Fragestellungen«*  
Bundesanstalt für Gewässerkunde,  
Koblenz, Mai 2000, Teilnahme

*MEDICA-2000*  
Düsseldorf, November 2000, Aussteller



Messestand des ITWM auf der MEDICA-2000.

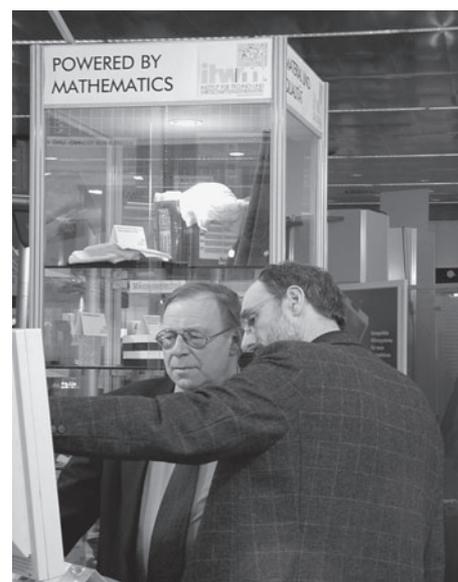
*Symposium und Fachausstellung »Zulieferer Innovativ«*  
Ingolstadt, Juli 2000, Aussteller

*Systems 2000*  
München, November 2000, Teilnahme

*TMR – Workshop on »Differential Equations in Industrie and Commerce«*  
Oxford, Teilnahme

*Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene*  
Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Dresden,  
Dezember 2000

*Workshop »Porous Media«*  
Lambrecht/Pfalz, Juni 2000, Organisation



Der rheinland-pfälzische Wirtschaftsminister, Hans-Artur Bauckhage, auf dem Stand des ITWM auf der Hannover-Messe Industrie.

## Gastvorträge

Benz, Prof. W.  
Universität Bern

*Modeling brittle fracture with SPH*  
Mai 2000

Bordag, Prof. L.

Sofia-Kovalevskaja-Gastprofessur, Kaiserslautern

*Typische Probleme bei radialen Stevenrohr-  
abdichtungen*  
Februar 2000

Borland, N.

Melbourne

*Aircraft Rotation Problems*  
November 2000

Föbel, S.

Erlangen

*Hardwareimplementierung von Wavelet-  
kompressionen – Oberflächeninspektion*  
Oktober 2000

Grötschel, Prof. M.

Berlin

*Frequenzvergabe im Mobilfunk*  
Juni 2000

Hackbusch, Prof. W.

Leipzig

*Hierarchische Matrizen - Ein neues numerisches  
Werkzeug*  
November 2000

Hahn, H. K.

Bremen

*Neue Anwendungen der schnellen Wasserschei-  
dentransformation in der medizinischen  
Bildverarbeitung*  
November 2000

Ilchmann, Prof. A.

Ilmenau

*Adaptive Regelung bei Funktionaldifferential-  
gleichungen mit Anwendung in der  
Biotechnologie*  
November 2000

Kaasschieter, Dr. E.F.

Universität Eindhoven

*Analytic and Numerical Modeling for Flow in  
Porous Media*  
März 2000

Karkkainen, Prof. T.

*Optimization of Conducting Structures*  
Oktober 2000

Klein, Prof. R.

Institut für Klimafolgenforschung Potsdam

*Multiple Scales Asymptotics for Atmospheric  
Flows*  
März 2000

Kollonko, Prof. M.

*Kosten-Nutzen-Analysen für Investitionen in  
Bahnverkehrsnetze*  
Mai 2000

Mauser, Prof. N.

Universität Wien

*Asymptotische Analysis von nichtlinearen Schrö-  
dingergleichungen der Halbleitermodellierung*  
Februar 2000

Mladenovic, Prof. N.

Belgrad / Montreal

*An Oil Pipeline Design and Pooling Problems*  
November 2000

Nachtigall, K.

Dresden

*Workshop »Anschlussicherung im öffentlichen  
Nahverkehr«*  
September 2000

Nonnenmacher, Dr. D.-J.

Dresdner Bank

*Independent Price Verification*  
März 2000

Petzold, M.

Berlin

*Singularitäten bei Interface-Problemen und ihre  
Behandlung mit a-posteriori-Fehlerschätzern*  
Mai 2000

Puerto, J.

Sevilla

*Kompaktkurs Spieltheorie*  
März 2000

Sarti, Dr. A.

Berkeley

*Subjective Surfaces: a Geometric Model for  
Boundary Completion*  
Juli 2000

Schäfer, Prof. M.

TU Darmstadt

*Numerische Simulation gekoppelter Fluid-  
Struktur-Probleme*  
Mai 2000

Schloder, Dr. J.

Heidelberg

*Numerische Verfahren zur Schätzung von  
Parametern in Differentialgleichungen*  
November 2000

Schramm, J.

RWTH Aachen

*Mathematisch-numerische Modelle im Wasserbau  
– Einsatzgebiete und Anwendungsgrenzen*  
März 2000

Solin, Dr. P.

Linz

*Analytische und numerische Verfahren für die  
Simulierung von transonischen Strömungen in  
Düsen*  
Juni 2000

Stürzbecher, V.

Neustadt/Weinstraße

*Gestaltbildung in nichtlinearen dynamischen  
Systemen*  
Mai 2000

Toivakka, Prof. M.

Universität Turku

*Particle dynamics in pigment coating colors*  
März 2000

## Mitarbeit in Gremien, Herausgebertätigkeit

Dr. Axel Becker

- Ausschuss zur Definition des Kompressionsstandards JPEG2000 (ISO/IEC JTC1/SC29/WG01)

Prof. Dr. Horst W. Hamacher:

- Operations Research Spektrum (Herausgeber)
- Mathematical Methods of Operations Research (Book Editor)
- Asian Pacific Journal of Operations Research (Editorial Board)
- Studies in Locational Analysis (Co-Editor)

Prof. Dr. Helmut Neunzert

- Evaluierung der finnischen Mathematik (finnische Akademie der Wissenschaften, Februar / März 2000)
- Evaluierung des schwedischen Forschungsprogrammes »Nutek« (Mai 2000)
- Mitglied der internationalen Jury für Wittgenstein- und Startpreise (Wien (A), Juni 2000)
- MACSI-Net, Mitglied des Strategic Committee
- Mathematical Methods in the Applied Sciences (Advisory Editor)
- Surveys on Mathematics for Industry (Editorial Board)

- European Journal of Applied Mathematics (Editor)
- Monte Carlo Methods and Applications (Editorial Board)
- Mathematical Models and Methods in the Applied Sciences (Editorial Board)

- Springer Series on Industrial Mathematics (Editor)
- Transport Theory and Statistical Physics (Editorial Board)

PD Dr. Stefan Nickel

- VDI-Fachausschuss für Simulation und Optimierung
- OR-Letters (Gutachter)
- Mathematical Methods of Operations Research (Gutachter)

- European Journal of Operations Research (Gutachter)
- Zentralblatt für Mathematik (Gutachter)
- Mathematical Reviews (Gutachter)

PD Dr. Joachim Ohser

- Arbeitskreis »Quantitative Metallographie« im Fachausschuss »Metallographie« der DGM (Leitung)

Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters

- ECMI – Council
- GAMM-Fachausschuss »Dynamik und Regelungstheorie«

- MACSI-net – Executive Committee
- Sprecher des Graduiertenkollegs »Technomathematik« der Universität Kaiserslautern
- International Program Committee MTNS 2002

Dr. Ronald Rösch

- VDI/VDE-GMA-Ausschuss »Digitale Bildverarbeitung in der Automatisierungstechnik«
- VDI/VDE-GMA-Ausschuss »Software und Softwarequalität in der Meßtechnik«

## ITWM wird Fraunhofer-Institut

Das Ereignis des Jahres war die Aufnahme des ITWM in die Fraunhofer-Gesellschaft – und sicherlich das wichtigste in der fünfjährigen Institutsgeschichte überhaupt. Zum ersten Mal wurde ein mathematisches Forschungsinstitut in den Kreis der anwendungsnahen Fraunhofer-Institute aufgenommen; ein wichtiges Ereignis also auch in der Geschichte der Fraunhofer-Gesellschaft. Entsprechend groß war die Resonanz in der Presse.

Aus der »Rheinpfalz« vom 10. November 2000:

### Erfolg überzeugt Fraunhofer-Gesellschaft – Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik wird zu renommierter Einrichtung

*Das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) feierte gestern nicht nur sein fünfjähriges Bestehen, sondern auch die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft ab dem 1. Januar 2001. In der Barbarossastadt entsteht damit ein Fraunhofer-Zentrum, nachdem bereits 1996 mit dem Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) in Kaiserslautern das erste Fraunhofer-Institut in Rheinland-Pfalz gegründet wurde.*

Institutsleiter Professor Dieter Prätzel-Wolters freute sich riesig: »Wir hatten

die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft von Anfang an angestrebt, sind stolz, dass wir es geschafft haben.« Die Fraunhofer-Gesellschaft sei eine der führenden Forschungseinrichtungen in der Republik, genieße vor allem in der Industrie einen ausgezeichneten Ruf, was bei der Akquise von Projekten helfe. [...] Aufgewertet werde auch der Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Kaiserslautern.

»Firmen siedeln sich wegen des Know-hows gerne im Umfeld von Fraunhofer-Instituten an, zudem werden Institutsausgründungen neue Arbeitsplätze schaffen, auch Mathestudenten wird das anziehen.« Laut Prätzel-Wolters hat das ITWM derzeit 60 Mitarbeiter, 20 Doktoranden und etwa 50 wissenschaftliche Hilfskräfte. Perspektivisch würden 250 Leute im Endausbau des Instituts angestrebt.

Kaiserslautern

### Institut bringt Synergie-Effekt

Zum 1. Januar wird das Kaiserslauterner Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) als erstes mathematisches Institut in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Das ITWM ist das zweite Fraunhofer-Institut in Rheinland-Pfalz. Es folgt dem Institut für Experimentelles Software-Engineering (IESE), das seinen Sitz ebenfalls in Kaiserslautern hat und vor einem Jahr den Status eines Fraunhofer-Instituts bekam. Der rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner bezeichnete dies auf einem Festakt in Kaiserslautern als großen Erfolg für den Wissenschaftsstandort Rheinland-Pfalz. Professor Helmut Neunzert, Leiter des ITWM, und Professor Dieter Rombach, Leiter des IESE, versprechen sich von der räumlichen Nähe der beiden Institute große Synergie-Effekte. Die Arbeitsschwerpunkte des ITWM liegen im Bereich der Modellierung und Simulation von Produkten und Produktionsprozessen, der Qualitätskontrolle sowie der Optimierung. Gemeinsam mit den anderen Fraunhofer-Instituten will das Institut künftig den Zugang

Deutsche Universitätszeitung, Nr. 23/2000

### Das erste Institut für Mathematik

KAISERSLAUTERN (dpa) – Das erste mathematische Fraunhofer-Institut in Deutschland entsteht Anfang nächsten Jahres in Kaiserslautern. Es soll unter anderem der Industrie, der Technik und der Wirtschaft bei der Computersimulation neuer Produkte oder Produktionsabläufe helfen. Wie der rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner (SPD) gestern mitteilte, wird das Kaiserslauterner Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) zum 1. Januar 2001 in die renommierte Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Diese gilt mit bundesweit 48 Instituten als größte Organisation für angewandte Forschung in Europa und hat in Rheinland-Pfalz noch ein Institut für Experimentelles Software-Engineering, ebenfalls in Kaiserslautern.

Mainzer Allgemeine Zeitung, 10.11.2000

### Neues Fraunhofer-Institut

Das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern ist zum Jahreswechsel in die Fraunhofer-Gesellschaft eingegliedert worden. Damit erhält Rheinland-Pfalz sein zweites Fraunhofer-Institut. DW

Die Welt, 03.01.2001

MATHEMATIK

### Fraunhofer-Institut in Rheinland-Pfalz

Das erste mathematische Fraunhofer-Institut in Deutschland entsteht Anfang nächsten Jahres in Kaiserslautern. Es soll Industrie, Technik und Wirtschaft bei der Computersimulation neuer Produkte oder Produktionsabläufe helfen. Das Kaiserslauterner Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) wird zum 1. Januar 2001 in die renommierte Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. dpa

Hamburger Abendblatt, 21.11.2000

### ITWM wird Fraunhofer-Institut

Festakt in Kaiserslautern

► KAISERSLAUTERN (cla). Das Kaiserslauterner Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) wird am 1. Januar 2001 als erste mathematische Einrichtung in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Die Forschungslandschaft werde dadurch um einen wichtigen Baustein erweitert, der hohes wissenschaftliches Niveau und breite Marktcompetenz vereine, sagte Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner bei einem Festakt auf dem Campus der Universität. Bereits 1996 war mit dem Institut für Experimentelles Software Engineering das erste Fraunhofer-Institut in Rheinland-Pfalz gegründet worden – ebenfalls in Kaiserslautern.

Die Rheinpfalz, 10.11.2000

### Fraunhofer übernehmen Mathematik-Institut

Die Fraunhofer-Gesellschaft steigt nun stärker in die Mathematik ein. Mit der Übernahme des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) in Kaiserslautern kann der Zusammenschluss von nunmehr 48 Forschungseinrichtungen dem wachsenden Bedarf der Wirtschaft an dieser Dienstleistung begegnen. Schließlich nutzt die Mathematik zum Beispiel bei der Optimierung von Produktionsprozessen.

Die Schwerpunkte des Instituts liegen vor allem in der Berechnung von Strömungen sowie von Gieß- und Filtrationsprozessen. Zudem sind bei der Simulation von Mikrostrukturen und bei der Bildverarbeitung viele Rechenschritte nötig, und daher eben auch die Vorarbeit von Mathematikern. Tsp

Der Tagesspiegel, 03.01.2001

### Mathematisches Fraunhofer-Institut

KAISERSLAUTERN (dpa)

Das erste mathematische Fraunhofer-Institut in Deutschland entsteht Anfang nächsten Jahres in Kaiserslautern. Es soll unter anderem der Industrie, der Technik und der Wirtschaft bei der Computersimulation neuer Produkte oder Produktionsabläufe helfen. Wie der rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner (SPD) mitteilte, wird das Kaiserslauterner Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) zum 1. Januar 2001 in die renommierte Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen.

Flenburger Tageblatt, 2.12.2000

Die Gründung des ITWM ist untrennbar mit dem Namen von Professor Helmut Neunzert verbunden. Er, der seit 1974 an der Uni Kaiserslautern lehrt, war es, der mit dem weit verbreiteten Glauben aufräumte, Mathematik finde nur im Elfenbeinturm statt. [...] »Mathematik ist überall«, predigte Neunzert. Das stieß anfangs auf Skepsis, doch Neunzerts Arbeitsgruppe setzte sich immer mehr durch, was 1995 zur Gründung des ITWM führte, das Mathematik und Praxis, wissenschaftlichen Anspruch und unternehmerisches Denken verknüpfte. Mittlerweile lassen sich sowohl kleine und mittelständische Unternehmen wie HegerGuss in Enkenbach-Alsenborn, aber auch Industriegiganten wie VW bei kniffligen Problemen vom ITWM Lösungen maßschneidern.

Die Kaiserslauterer Forscher berechnen beispielsweise, wie sich ein Airbag entfaltet, wo in einem Verkehrsverbund die günstigsten Umsteigepunkte liegen oder wie aus Langzeit-EKGs Risikofaktoren für Herzerkrankungen bestimmt werden können. Und das hat dann auch die Fraunhofer-Gesellschaft überzeugt. Die war bei der Institutsgründung 1995 noch kritisch, glaubte nicht unbedingt daran, dass sich mit Mathematik Geld verdienen lässt – immerhin müssen sich Fraunhofer-Institute zu 50 Prozent aus Industrieaufträgen finanzieren. Deshalb arbeitete das ITWM die vergangenen fünf Jahre nach Fraunhofer-Kriterien, die finanzielle Grundausstattung aber wurde vom Land finanziert. Das hieß: es musste gepowert werden am ITWM.

Die Zahl der Mitarbeiter schnellte nach 1995 schnell von 15 auf 60 hoch, schon in den ersten beiden Jahren wurden Wachstumsraten von bis zu 50 Prozent verzeichnet, der Markt für Mathematik stellte sich als schier unerschöpflich heraus. 2000 lag der Jahresetat bei zehn Millionen Mark, wobei 50 Prozent aus der Industrie und 25 Prozent aus öffentlichen Projekten stammten.

Doch als das ITWM diese stolze Bilanz vorlegte, war die Fraunhofer-Gesellschaft längst überzeugt: Bereits im Juni 1999 befand eine strenge Prüfungskommission: »Das ITWM hat die wirtschaftlichen Kriterien der Fraunhofer-Gesellschaft erfüllt. Es besteht kein Zweifel, dass auf der Basis der Forschungsergebnisse und ihrer Anwendungen ein erfolgreiches Fraunhofer-Institut gegründet werden kann.«

### Ein Fraunhofer-Institut für Mathematik

Das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) in Kaiserslautern ist am 1. Januar der Fraunhofer-Gesellschaft eingegliedert worden. Es ist deren erstes Institut mit mathematischem Schwerpunkt. Zu dem Anschluß ist es gekommen, weil der Bedarf der Wirtschaft an mathematischen Forschungs- und Dienstleistungen ständig wächst. Die Arbeitsschwerpunkte des ITWM liegen in der Modellierung und Simulation von Produkten und Produktionsprozessen sowie der Qualitätskontrolle. Umfassende Erfahrungen bestehen unter anderem bei der Berechnung von Strömungen, der Simulation von Mikrostrukturen, der Bildverarbeitung, bei adaptiven, „lernenden“ Systemen und bei der Optimierung von Standortplanung und Prozeßregelung. Das Institut ist Ende 1995 aus der Arbeitsgruppe Technomathematik am Fachbereich Mathematik der Universität Kaiserslautern hervorgegangen, die sich seit den frühen achtziger Jahren mit anwendungsorientierten Forschungsprojekten beschäftigt. In Kaiserslautern ist auch das Institut für Experimentelles Software-Engineering der Fraunhofer-Gesellschaft beheimatet. F.A.Z.

Frankfurter Allgemeine Zeitung, 03.01.2001

### Institut nach Kaiserslautern

Das erste mathematische Fraunhofer-Institut in Deutschland entsteht Anfang nächsten Jahres in Kaiserslautern. Es soll unter anderem der Industrie, der Technik und der Wirtschaft bei der Computersimulation neuer Produkte oder Produktionsabläufe helfen. Irs

Mannheimer Morgen, 10.11.2000

## „Beginn einer ganz neuen Ära“

Festakt zur Aufnahme des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik in Fraunhofer-Gesellschaft

Die Freude war groß, die Rednerliste lang: Die Aufnahme des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) in die Fraunhofer-Gesellschaft wurde gestern bei einem Festakt an der Universität als bedeutend für den Wissenschaftsstandort Kaiserslautern und das ganze Land bewertet.

Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner war besonders stolz, dass mit dem ITWM und dem Institut für Experimentelles Software Engineering nun schon zwei von bundesweit 48 Fraunhofer-Instituten ihren Sitz in Kaiserslautern haben. Die Fraunhofer-Gesellschaft sei die größte Organisation für angewandte Forschung in Europa und zeichne sich durch eine einzigartige Marktorientierung aus. Das ITWM habe unter Beweis gestellt, dass Mathematik heute den Rang einer Schlüsseltechnologie habe. Zöllner: „Wenn man die Projektliste des ITWM anschaut, wundert man sich, wo Mathematiker überall ihre Nase reinstecken.“ Egal, ob es um Mikropumpen, Hüftprothesen, Preisbildung oder Krankentransporte gehe, das ITWM biete maßgeschneiderte Lösungen an. Zöllner bezeichnete es als wünschenswert, diesen realitätsnahen Einsatz von Mathematik in den Schulunterricht einfließen zu lassen. Nur so könne es gelingen, die Zahl der Studienanfänger in naturwissenschaftlichen und technischen Fächern wieder zu erhöhen. „Die mitreißende Dynamik und Begeisterung der Mitarbeiter hat den Grundstock für den Erfolg des ITWM gelegt“, sagte Hans-Ulrich Wiese vom Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft.



Ein Glücksfall für Kaiserslautern: Zahlreiche Redner, darunter auch Wissenschaftsminister Jürgen Zöllner, würdigen gestern die Aufnahme des ITWM in die Fraunhofer-Gesellschaft. —FOTO VIEW

Dem Institutsgründer und „Erfinder“ der Technomathematik, Professor Helmut Neunzert, bescheinigte er, mit seiner Einschätzung, die Fraunhofer-Gesellschaft sei ein Schlaraffenland für Mathematiker, richtig zu liegen. Wiese zollte aber auch der Uni ein großes Lob: „Aus der Hochschule kommt ganz viel Kraft für die Arbeit am ITWM.“ Unipräsident Professor Günter Warnecke bescheinigte dem ITWM, in den vergangenen Jahren eine exzellente Leistung erbracht zu haben und würdigte vor allem den Einsatz von Neunzert. Mit ihm habe die

reine Mathematik ihre Unschuld verloren, dank seiner Visionen habe das ITWM Fraunhofer-Status erlangt. Warnecke: „Neunzert ist ein Glücksfall für die Universität.“ Oberbürgermeister Bernhard Deubig betonte, es sei ein Glück für die Stadt, ein Institut wie das ITWM zu haben. „Es wird Kaiserslautern in ähnlicher Weise repräsentieren wie der 1. FC. Neunzert-Schüler Wilhelm Krüger, Vorstandsvorsitzender der techmat AG, der erfolgreichsten Uni-Ausgründung, betonte, die Aufnahme des ITWM in die Fraunhofer-Gesellschaft sei der Be-

ginn einer neuen Ära. „Wir haben in Kaiserslautern bewiesen, dass Mathematik die Schlüsseltechnologie für Innovationen ist. Jetzt müssen wir den Schlüssel in die Hand nehmen und zeigen, dass wir die Besten sind.“

Mit der Aufnahme des ITWM in die Fraunhofer-Gesellschaft werde auch der Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Kaiserslautern gestärkt, versicherte Institutsleiter Professor Dieter Prätzel-Wolters. 50 Prozent der Industrieaufträge des Instituts kämen von kleinen und mittelständischen Unternehmen aus der Region. (cla)

Die Rheinpfalz, 10.11.2000

## ITWM-Initiative

### »Mathematik-Allianz«: Mathematik aus der Pfalz für die große, weite Welt

»Die spezifische Stärke Kaiserslauterns ist die Mathematik« fanden führende Köpfe aus Wirtschaft und Wissenschaft, und gründeten Ende des Jahres 1999 die »Mathematik-Allianz Kaiserslautern«. Federführend: das ITWM. Der Leitgedanke: Know-how schärft das Profil – ein Vorteil für die Region und ein Standortfaktor weltweit.

Am 1. Mai präsentierte sich die »Mathematik-Allianz« erstmals der Öffentlichkeit und zeigte sich dabei als echtes Kaiserslauterer Kind: auf der Landesgartenschau traf Fußball-Legende Fritz Walter seinen »Doppelgänger« – und die begeisterten Zuschauer erfuhren nicht nur, was Mathematik damit zu tun hat, sondern hatten auch jede Menge Spaß bei der Versteigerung dieses Doppelgängers: eine lebensgroße Statue aus Styrodur, vollautomatisch und mit Hilfe mathematischer Methoden gefertigt.

Der Erlös der Versteigerung kam der Nachwuchsförderung zugute, die der Mathematik-Allianz ein besonderes Anliegen ist. Durch Wettbewerbe, Führungen, Praktikantenprogramme und vieles mehr soll schon früh das Interesse für Mathematik bei Schülern geweckt werden. Auch Fortbildungsveranstaltungen für Lehrer gehören zum Programm; und ein regelmäßig tagender Arbeitskreis Schule überlegt, wie man den Mathematik-Unterricht verbessern und Reformen sinnvoll umsetzen kann.

# Wie Förmchen für Weihnachtsplätzchen

Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) entwickelt Gleichungen, die die Welt erklären – Zweiginstitute im Visier

VON SUSANNE SCHÜTZ

7<sup>2</sup> ist an die Mauer gepinselt. Damit ist klar: Hier in Bau 49 können nur Mathematiker residieren. Doch die Botschaft versteht nicht jeder. »Wir bekommen manchmal Post an Gebäude 7 Quadratmeter«, sagt Professor Helmut Neunzert kopfschüttelnd. Mit Mathe im Alltag kann eben nicht jeder etwas anfangen. Das will der Gründer des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) gern ändern. »Mathematik ist spannend. Die Welt hat nur ein falsches Bild von ihr.«

Wer den 64-Jährigen trifft, glaubt ihm bedingungslos. Seine Begeisterung steckt an: Er nimmt ein Blatt Papier, springt auf, lässt es zu Boden segeln. »Sehen Sie das? Das kann noch keine Mathematik nachspielen.«

Neunzert sucht nach Mustern. »Für mich ist Mathematik die Wissenschaft, die Ordnungsstrukturen liefert, in die wir die gegebene Welt einpassen können.« Wie bei Förmchen für Weihnachtsplätzchen. »Wenn die Welt reinpasst, können wir sie vorher-sagen.« Umgekehrt heißt das: »So lange keine Ordnungsmuster da sind, er-trinken wir in Informationen.«

Die Universität Kaiserslautern hat vom Elan des Münchners bereits profitiert: Neunzert hat hier mit Kollegen 1980 den Studiengang Technomathematik erfunden, der sich um Anwendung der Mathematik in der Technik dreht. Heute gibt es »technomathematics« weltweit. Obwohl zunächst viel Skepsis da war. »Ganz Deutschland hat gesagt: Das ist ein Quatsch«, erinnert sich Neunzert amüsiert. Der Mathematiker, der seit 1974 in Kaiserslautern lehrt, war aber überzeugt: »Was wir den Leuten vorher beigebracht haben, war nicht das, was sie brauchen.«

Der Studiengang und Neunzerts Ar-

beitsgruppe wuchsen schnell. Denn statt Realexperimenten setzte die Forschung zunehmend auf Computersimulationen. Und deren Sprache ist die Mathematik. Neunzert: »Von der Windel über Ölfilter bis zu Bagger oder Weltraumrakete: Immer stecken mathematische Gleichungen dahinter.«

#### Feuchte Windeln und Finanzmärkte

Manchmal kann eine Gleichung ganz Verschiedenes beschreiben, sagt Neunzert: etwa die Strömung in Windeln oder das Verhalten von Finanzmärkten. Denn auch angewandte Mathematik lebt von der Abstraktion. »Wenn ich Probleme in Gleichungen beschreibe, lasse ich ja immer etwas weg.« Durch die Abstraktion werde Ideentransfer möglich.

Das bezweifelte die Wirtschaft zunächst, erinnert sich Neunzert: »Die Industrie war am Anfang sehr zögerlich.« Doch dann kam das europäische Raumfahrtprojekt Hermes, an dem die Kaiserslauterer Mathematiker in Konkurrenz zur Nasa an der Umströmung der Raumfähre arbeiteten.

Aus der Arbeitsgruppe ging 1995 das eigenständige ITWM hervor, das heute rund 100 Mitarbeiter hat. Von Anfang an stand es unter Fraunhofer-Verwaltung. Jetzt ist es geschafft: Ab 1. Januar 2001 wird das ITWM, das seit Juli von Professor Dieter Prätzel-Wolters geleitet wird, offiziell zum Fraunhofer-Institut. Zweigstellen sind ebenfalls schon im Blick. Im schwedischen Göteborg soll es 2001 losgehen, im italienischen Florenz 2002. Dort hat sich der ehemalige Oberbürgermeister – ein Mathematiker-Kollege – für die Technomathematiker stark gemacht, erzählt Neunzert. Und in Schweden hat Neunzert ein Blockhaus und ebenfalls wissenschaftliche Kontakte.



Hier können nur Mathematiker hausen: das künftige Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik residiert in Uni-Gebäude 7<sup>2</sup>. —FOTO: VIEW

Mit Wissenschaft Geld verdienen ist das Ziel der Fraunhofer-Institute. So haben sich die Schwerpunkte der ITWM-Arbeit aus den Aufträgen der Industrie entwickelt. »Wir sind Spezialisten für alles, was die Unternehmen nicht von der Stange kaufen können«,

sagt Neunzert. Eine der ersten Auftraggeber in der Abteilung »Transportvorgänge«: der Spezialglashersteller Schott aus Mainz. Das ITWM beschäftigte sich – erfolgreich – mit der Frage: Wie langsam muss Glas abkühlen, damit es keine Risse bekommt?

Weiter erforscht das ITWM die »Strömung in komplexen Strukturen«. Ein Beispiel: Gemeinsam mit einer Softwarefirma simulierte das ITWM im Auftrag der Enkenbacher Firma HegeGuss, wie Motorblöcke fehlerfrei in Formen gegossen werden können. »Das sind sehr komplexe Strukturen, denn es geht um glühendes Eisen, das rast und spritzt und dann erstarbt.«

#### Tischplatte oder Schrankrückwand

Produkte verbessern ist auch Ziel der Abteilung »Bildverarbeitung«. So wurde etwa eine Software entwickelt, die Oberflächen wie hochwertiges Papier oder Holz auf Fehler untersucht. Neunzert zeigt auf das Furnier seines Tisches: »Der Computer soll dann entscheiden: Taugt das für einen Tisch oder nur für die Schrankhinterwand.«

Wo muss ein Zwischenlager gebaut werden, um die Wege zum Kunden kurz zu halten? Damit beschäftigt sich die Abteilung »Optimierung« ebenso wie mit der Frage, wo in einem Skigebiet der einzige Rettungshubschrauber am besten positioniert ist.

Auch bei der Diagnose von Herzkrankheiten ist das ITWM aktiv. In der Abteilung »Adaptive Systeme« werden Langzeit-EKGs ausgewertet – von Herzpatienten, die später gesund wurden, noch krank oder gar verstorben sind. Neunzert: »Das ist eine irrsinnige Menge von Daten und wir suchen das Gesetz, das dahinter steckt.« Wenn auch die bisher entwickelten lernenden System bereits eine »höhere Trefferrate« als andere Diagnoseinstrumente liefern, sei das Gesetz noch nicht gefunden. »Das ist ein riesiges unverstandenes Feld.« Neunzerts Zukunftsprognose: »Mathematik und Medizin sind die großen Themen der nächsten 20 Jahre.«

## ORIGINELLE IDEE

VON CLAUDIA SCHNEIDER

► Gut verpackt und mit einer originellen Idee lässt sich auch eine trockene Materie wie Mathematik verkaufen.

Ausgerechnet Mathematik: Für diese trockene Wissenschaft, vielen seit der Schulzeit verhasst, die Werbetrömel zu führen, ist wirklich schwer. Dennoch hat es die Mathematik-Allianz, ein Zusammenschluss von Unternehmen und Hochschuleinrichtungen, gestern geschafft, damit viel Volk anzulocken.

Die Halle 27 auf dem Landesgartenschau-Gelände war voll, als durchgeführt wurde, was man mit Hilfe von Mathematik alles machen kann. Etwa lebensgroße Statuen von prominenten Lauterern wie Fritz Walter, Bernhard Deubig oder Norbert Thines. Da wurde mal wieder deutlich: Gut verpackt, mit einer originellen Idee, lässt sich alles verkaufen.

Das Publikum war von der Promi-Show begeistert und ließ sich nebenbei gerne unterrichten, dass ohne Mathematik heute nichts mehr geht, es kaum eine technische Anwendung gibt, die ohne „Zahlenspiele“ auskommt. Und erstaunt wurde registriert, dass Lautern zu den führenden Mathematikern in der Republik zählt.

Die Rechnung der Mathematik-Allianz, durch unkonventionelle Aktionen auf sich aufmerksam zu machen, ist aufgegangen. Weil sie das Einmaleins beherrscht, Schwelldinge abzubauen. Werbung machen will die Mathematik-Allianz nun auch an Schulen, mit praxisbezogenen Projekten. So sollen Schüler etwa analysieren, wie man die Ampelanlagen in der Stadt optimieren könnte... —Lokalseite 3

Die Rheinpfalz, 2.5.2000

# Mathematik-Allianz soll Standort stärken

Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik startet mit Hightech-Firmen außergewöhnliche Initiative

► Das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, das am 1. Januar das erste mathematische Fraunhofer-Institut wird, hat auch eine Außenstelle im PRE-Park eingerichtet. Unter anderem, um nah bei den Unternehmen zu sein, die Hilfe brauchen. Denn immerhin verdient das Institut mit Auftragsforschung sein Geld.

Angestoßen hat das Institut im PRE-Park eine Initiative, die bundesweit einzigartig ist. „Mathematik-Allianz“ heißt das Projekt, das vor allem von dem ehemaligen Institutsleiter Professor Helmut Neunzert initiiert wurde. Er ist überzeugt: „Qualifiziertere Mitarbeiter werden immer mehr zu einem entscheidenden Wirtschaftsfaktor.“ Und befürchtet, dass im weltweiten Werben um die wenigen Fachkräfte Fir-

men in kleineren Städten, außerhalb international renommierter Metropolen wie Berlin oder München, schnell das Nachsehen haben werden. „Nur wer sich auf besondere Stärken besinnt und gezielt ein Profil aufbaut, kann Standortvorteile gewinnen“, meint Neunzert.

„Kaiserslauterns spezifische Stärke ist die Mathematik“, fanden deshalb führende Köpfe aus Wirtschaft und Wissenschaft und gründeten vor einem Jahr die „Mathematik-Allianz Kaiserslautern“. Neunzert: „Zu Unrecht gilt Mathematik vielen noch als weltfremd. Sie ist heute eine wichtige Schlüsseltechnologie, ohne die auch die Weiterentwicklung der Informationstechnologie nicht denkbar ist.“ Mitglieder der Mathematik-Allianz sind das Institut für Techno-

und Wirtschaftsmathematik, aber auch Hightech-Firmen wie die tecmath AG oder die LMS Durability technologies GmbH, die ständig nach qualifizierten Mathematikern suchen. Auch der Fachbereich Mathematik der Universität, der bereits in den 80er Jahren praxisnahe Studiengänge wie Technomathematik oder Wirtschaftsmathematik einrichtete, macht mit. „Das Umfeld von wissenschaftlichen Instituten, innovativen Firmen und Technologieförderung ist einzigartig“, so Neunzert. „Wenn wir das nutzen, können wir entscheidend zur Stärkung des Wirtschaftsstandortes Kaiserslautern beitragen.“

Die Mathematik-Allianz setzt auch auf Fachkräfte aus dem Ausland. So lockt der Fachbereich Mathematik mit englisch-

sprachigen Studienangeboten, die an internationale Maßstäbe angepasst sind, eine Menge vielversprechender und oft bereits hochqualifizierter Ausländer nach Kaiserslautern - aus Indien, aus Südamerika, aus Osteuropa. Ein besonderes Anliegen der Allianz ist es aber auch, den Nachwuchs vor Ort zu fördern.

Ein „Arbeitskreis Schule“, in dem zahlreiche Lehrer mitarbeiten, soll das Interesse der Schüler an Mathematik stärken und zum Studium ermutigen. Derzeit wird Unterrichtsmaterial erarbeitet, das Probleme aus der Praxis aufgreift und eigenständige Arbeitsweisen fördert. Fortbildungsangebote sollen die Lehrer für einen praxisorientierten Unterricht fit machen. Beim Land hat die Allianz den Antrag gestellt, in einem Modellversuch

mathematische Fragestellungen aus Technik und Wirtschaft und anwendungsnahe Methoden in die Lehrpläne aufzunehmen.

Andere Aktionen richten sich direkt an die Schüler. So der „Praktikantensommer 2000“, bei dem Schüler vier Wochen lang bei Mitgliedern der Allianz den Berufsalltag von Mathematikern kennen lernen konnten. Bis Oktober lief ein Wettbewerb, der eher „Jugend forscht“ ähnelte als den üblichen Mathematik-Wettbewerben. Es galt Alltagsprobleme zu entdecken, die sich mit mathematischen Methoden lösen lassen.

Ziel der Mathematik-Allianz sind aber auch Unternehmenskooperationen und gemeinsame Forschungsprojekte. Auch auswärtige Unternehmen sollen einbezogen werden. (cla)

Die Rheinpfalz, 17.11.2000

# Fritz Walter trifft seinen Doppelgänger aus Styrodur

Mathematik-Allianz stellt lebensgroße Statuen prominenter Lauterer vor

VON UNSERER REDAKTEURIN CLAUDIA SCHNEIDER

► Fritz Walter, Bernhard Deubig und Norbert Thines sind die bekanntesten Lauterer. So viel steht seit gestern fest. Und was noch schöner ist: Die drei Promis haben jetzt Doppelgänger. Lebensgroße Abbilder, aus Styrodur gefertigt, die künftig auf der Gartenschau zu besichtigen sind. Die Statuen sehen den Originalen wirklich ähnlich, auch wenn der echte OB mittlerweile sogar ein Ideechen schlanker ist als der künstliche.

Ans Licht kam dies gestern auf der Landesgartenschau in der Halle „Westpfalz Innovationen“, auf Einladung der so genannten Mathematik-Allianz. Sie hatte im März mit Hilfe der RHEINPFALZ-Leser die Promis ausgewählt und dann mit einem 3D-Body-Scanner der Firma Tecmath die Skulpturen anfertigen lassen, die jetzt vorgestellt wurden.

Das Spektakel, zu dem reichlich Prominenz aus Wirtschaft und Politik angerückt war, geriet recht kurzweilig. Da enthüllte SWR3-Moderatorin Stefanie Tücking im Beisein der Promis zunächst Thines statt Deubig, als die Skulptur des Oberbürgermeisters dran war, sagte sie: „Herr Deubig, jetzt machen wir Sie frei.“ „Los jetzt Jungs“, nahm sie kein Blatt vor den Mund, als die Herren mit anpacken mussten.

Publikumsliebhaber bei der Show war freilich Fußball-Legende Fritz Walter, der bestens aufgelegt forderte: „Behalten Sie den alten Fritz noch lange in guter Erinnerung.“ Auch wenn er jetzt knapp 80 sei, die Weltmeisterschaft von 1954 bleibe für ihn unvergesslich. „Gott sei Dank sind die Tore geschossen“, sagte er in Anspielung auf eine Hüft-OP und sein Leben mit einem Herzschrittmacher. Gänsehaut verursache ihm noch immer, dass die Leute ihn, egal ob in Düsseldorf oder Kaiserslautern, herzlich grüßen und aus ihren „Walter Fritz“ feierten. Und dann erzählte er noch von der schönen Fußballzeit, „bei der wir noch mit dem Herzen dabei waren“, von dem Teamgeist, den gemeinsamen Fahrten mit



Publikumsliebhaber auf der Landesgartenschau: Fritz Walter im Gespräch mit SWR3-Moderatorin Stefanie Tücking, links Norbert Thines. —FOTO: VIEW

der Elf zum Bad Dürkheimer Wurstmarkt.

„Ein bunter Hund ist auch bekannt“, erklärte sich Deubig seine Wahl, Thines hingegen gab sich eher überrascht, war froh, dass wohl sein soziales Engagement den Ausschlag gegeben hatte. Richtig spannend wurde es dann, als die Zwillinge von Fritz Walter und Co. unter den Hammer kamen. Die Nase vorn hatten bei der Versteigerung die Investoren der PRE, die sich die Fritz Walter-Skulptur für 8000 Mark schnappten. „Die Statue kommt in die Eingangshalle unseres Verwaltungsgebäudes“, verriet PRE-Gesellschafter Michael Wenk.

Wozu der ganze Wirbel gut sein soll, machte Wilhelm Krüger, Vorstandsvorsitzender der Tecmath AG, deutlich. „Mathematik ist viel mehr als trockene Zahlentheorie. Sie ist le-

bedig, mit ihr kann man Produkte schaffen.“ Auch die Promi-Skulpturen beruhen auf Mathematik. Die bekanntesten Lauterer seien mit einem 3D-Body-Scanner mit Namen „Vitus“, der weltweit einzigartig sei, vermessen und dann im Computer nachgebildet worden. Bei angewandter Mathematik sei Kaiserslautern führend, könne Weltspitze werden.

Helmut Neunzert, der Direktor des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik, stellte klar: In fast allen Dingen des täglichen Lebens stecke heute Mathematik, im Airbag, in Windeln, in Orgelpfeifen. Kaum eine technische Anwendung komme ohne Mathematik aus, virtuelle Welten seien ohne sie nicht denkbar. Und: „Bei angewandter Mathematik spielt Kaiserslautern in der Champions League.“

—Kommentar Lokalseite 1



Die digitalen Zwillinge der bekanntesten Kaiserslauterer.

Die Rheinpfalz, 2.5.2000

## Mathematik des Herzens

Neulich im Fernsehen:  
Ein Mann bricht tot auf der Straße zusammen.

Die neue Folge des ›Tatort‹?

Nein:  
Das Wissenschaftsmagazin ›Sonde‹.

Die »Mathematik des Herzens« war das Thema. Doch es ging nicht darum, Mord- oder vielleicht Heiratschancen auszurechnen, sondern um das Projekt »Risikoparameter für Arrhythmien im Herzschlag« (vgl. S. 72). In den Hauptrollen: Institutsgründer Professor Helmut Neunzert und die Abteilung Adaptive Systeme. Die Gruppe arbeitet an mathematischen Methoden, mit denen aus Langzeit-EKGs Risikofaktoren für Herzerkrankungen ermittelt werden.

Keine Frage:  
Mathematik kann Leben retten!



## Landesverdienstorden für ITWM-Gründer

Höchste Anerkennung wurde Professor Helmut Neunzert, dem Gründer und langjährigen Leiter des ITWM, zuteil. Für außerordentlichen Verdienste im wissenschaftlichen Bereich überreichte ihm Ministerpräsident Kurt Beck dem »weltweiten Pionier der Einbettung der Mathematik in die angewandten Wissenschaften« den Verdienstorden des Landes Rheinland-Pfalz. Eine besondere Rolle für das Land spielte Neunzerts Aufbauarbeit in Kaiserslautern: die Gründung des ITWM und seine Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft.

### Landesverdienstorden für Professoren der Uni

Für außerordentliche Verdienste um das Land Rheinland-Pfalz und vorbildliches Engagement für das Wohl der Gemeinschaft hat Ministerpräsident Kurt Beck gestern in Mainz die Professoren Dieter Rombach und Helmut Neunzert von der Universität Kaiserslautern mit dem Landesverdienstorden ausgezeichnet. Die beiden Professoren hätten sich im wissenschaftlichen Bereich hervorragende Verdienste erworben, erklärte Beck. Mit außergewöhnlichem Engagement habe Rombach das Institut für Experimentelles Software-Engineering aufgebaut, das als erstes Institut in Rheinland-Pfalz in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen wurde. Darüber hinaus habe er sich für die Weiterentwicklung der Computerbildung in den Schulen in Rheinland-Pfalz eingesetzt. Neunzert sei der Initiator und weltweite Pionier der Einbettung der Mathematik in die angewandten Wissenschaften. Durch seinen außergewöhnlichen Einsatz sei es ihm gelungen, das Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik an der Uni Kaiserslautern zu gründen, das in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen wurde. Damit sei zum ersten Mal das Fachgebiet Mathematik in der auf anwendungsorientierten Forschung spezialisierten Fraunhofer-Gesellschaft etabliert. (red)



Mit dem Landesverdienstorden wurden gestern die Uniprofessoren Dieter Rombach (links) und Helmut Neunzert (rechts) von Ministerpräsident Kurt Beck ausgezeichnet. —FOTO: VIEW

Die Rheinpfalz, 8.11.2000



### Felix-Klein-Preis 2000

Felix Klein: Mathematik-Professor in Göttingen Ende des 19. Jahrhunderts und Pionier der anwendungsnahe Mathematik. Seit Juli 2000 trägt ein vom ITWM gestifteter Preis seinen Namen. Er wird alle vier Jahre für eine herausragende wissenschaftliche Arbeit verliehen, die ein schwieriges Problem der industriellen Praxis mit Hilfe mathematischer Verfahren löst. Erster Preisträger wurde im Jahr 2000 David C. Dobson, Mathematikprofessor in Texas.

»To most mathematicians, Felix Klein is known for his contributions to pure mathematics, e.g. his systematization of geometry with his »Erlanger Programm« in 1872, and not for his consideration of applications of mathe-

matics. However, Felix Klein was a pioneer to connect mathematics to applications, which led to solutions on technical problems. He was aware that abstract-oriented, pure mathematics, was in danger of becoming isolated. Hence he moved to work on applied mathematics and applications-oriented themes himself. He adapted the Göttingen curriculum accordingly. He was able to gain support from heads of industry. These things sound like happening today. But Felix Klein did all these things approximately one hundred years ago.«

(aus der Laudatio von Rolf Jeltsch, ETH Zürich)

### Neues Domizil für die Öffentlichkeitsarbeit

Ein Gebäudekomplex, der alle Kaiserslauterer Fraunhofer-Institute beherbergen soll, ist zwar geplant, aber vor dem Jahr 2005 ist mit einem Umzug nicht zu rechnen. Doch der Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit durfte jetzt schon umziehen: seit August bietet ein Pavillon zu Füßen des Hauptgebäudes reichlich Platz, und auch die Raumsituation »oben« hat sich wieder entspannt.



