

# Almanach 2002

der Technischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel

Technische Fakultät November 2003

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort	1
<i>Elektrotechnik und Informationstechnik:</i>	
Lehrstuhl für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik	2
Lehrstuhl für Automatisierungs- und Regelungstechnik	5
Lehrstuhl für Halbleitertechnik (LHT)	10
Lehrstuhl für Halbleitertechnologie	16
Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik	17
Professur für Informations- und Codierungstheorie	24
Lehrstuhl für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe	30
Lehrstuhl für Nachrichten- und Übertragungstechnik	36
Lehrstuhl für Netzwerk und Systemtheorie	42
Arbeitsgruppe Numerische Feldberechnung	48
<i>Informatik und Praktische Mathematik:</i>	
Professur für Diskrete Optimierung	54
Lehrstuhl/Professur für Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme	58
Lehrstuhl für Kognitive Systeme	62
Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme	70
Professur für Multimediale Systeme zur Informationsverarbeitung	74
Lehrstuhl für Praktische Mathematik	78
Lehrstuhl für Programmiersprachen und Übersetzerkonstruktion	84
Professur für Rechnergestützte Programmentwicklung	92
Lehrstuhl für Rechnerorganisation	98
Lehrstuhl für Softwaretechnologie	102
Lehrstuhl für Systeme zur Informationsverwaltung	108
Professur für Theoretische Informatik	113
Professur für Theorie der Parallelität	116
<i>Materialwissenschaft:</i>	
Lehrstuhl für Allgemeine Materialwissenschaft	122
Lehrstuhl für Materialverbunde	130
Arbeitsgruppe Mikrostrukturanalytik	142
Lehrstuhl für Sensorik und Festkörper-Ionik	152
CMA Centrum für Materialanalytik / TF-Praktika für Studierende der Ingenieurstudiengänge	160



## Vorwort

Erstmals veröffentlicht die Technische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel einen Almanach, der die Leistungen und Ereignisse der Fakultät des letzten Jahres darstellt. In ihm ist in überschaubarer Form auf einer begrenzten Seitenzahl eine Fülle von Informationen enthalten, die zu allen Themen der Lehre, Forschung und des Technologietransfers Auskunft geben. In kurzer, allgemein verständlicher Form wird von allen Lehrstühlen und Arbeitsgruppen zunächst der Hintergrund der wissenschaftlichen Arbeit beleuchtet, an den sich die Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Jahres 2002 anschließt. Nach der Auflistung der Mitarbeiter und deren Arbeitsgebiete informieren wir über die Lehrveranstaltungen. Schließlich folgt eine Dokumentation der Publikationen, die tatsächlich im Jahre 2002 erschienen sind, und in nicht erschöpfender Form eine Liste der wichtigsten Präsentationen und Patente sowie sonstiger wichtiger Ereignisse. Die Beiträge sind alphabetisch zunächst nach den Fachgebieten und dann nach der Bezeichnung des Lehrstuhls oder der Arbeitsgruppe geordnet. Trotz der umfassenden und oft tabellarischen Darstellung glauben wir, den Almanach „lesbar“ gehalten zu haben.

Mit dem vorliegenden Almanach als Informationsquelle der an der Technischen Fakultät im Jahre 2002 geleisteten Arbeit wenden wir uns an Wirtschaft, Politik, Verbände, andere Teile der CAU sowie andere Hochschulen und Forschungsinstitute. Wir hoffen, dass wir die Kompetenz der Technischen Fakultät deutlich machen können.

Frau Änne Straßner und Herrn Daniel Kunath danke ich für ihren engagierten Beitrag bei der Herstellung der Druckvorlagen dieses Almanachs.

Werner Weppner  
Dekan

## Lehrstuhl für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Dirks

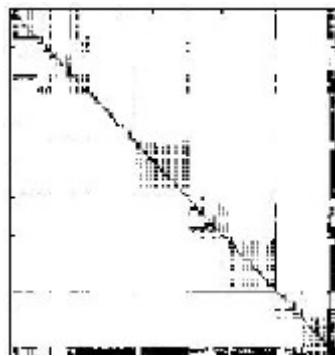
Die Forschungstätigkeit des Lehrstuhls für Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik findet in einem Bereich statt, der die Theorie und die praktischen Probleme der Halbleiterindustrie miteinander verknüpft: Die numerische Simulation großer, integrierter Schaltungen.

### Ergebnisse

Die analoge Simulation mikroelektronischer Schaltungen spielt heute in der Chip-Industrie eine nicht mehr wegzudenkende Rolle. Sie dient dem Schaltungsentwickler als Werkzeug, um den gesamten Entwurfsprozess zu verifizieren und vor der Prototypfertigung eine möglichst große Anzahl an Fehlerquellen auszuschließen. Mit zunehmender Komplexität der heute entwickelten Schaltungen erhöht sich jedoch der Zeitaufwand der Simulationen, trotz gleichzeitiger Verbesserung der verwendeten Rechner, und die Industrie sucht nach immer ausgefeilteren und effizienteren Simulationsverfahren.

Die am häufigsten verwendete Analyseart, die Einschwing- oder Transientanalyse, ist die Berechnung von Signalverläufen über der Zeit. Als Eingabe dienen dem Simulator die Netzliste der Schaltung, die Modellparameter der verwendeten Modelle, sowie diverse Eingangssignale. Die Ausgabe wird dann im nächsten Schritt von entsprechenden Werkzeugen weiterverarbeitet, um Aussagen über die Funktionsfähigkeit der Schaltung machen zu können oder Designfehler aufzuspüren.

Ein wesentlicher Anteil der Simulationszeit entfällt auf das etliche tausend Male wiederholte Lösen linearer Gleichungssysteme gleicher Besetzungsstruktur. Die Matrizen dieser Gleichungssysteme sind aufgrund der hohen Anzahl von Transistoren in modernen integrierten Schaltungen sehr groß und sehr dünn besetzt (*sparse matrices*). Ein Beispiel solch einer Matrixstruktur zeigt Abb. 1.



**Abb. 1:** Matrix C9 (mit Auffüllungen), Dimension 46014

Diese Gleichungssysteme müssen nun in einer der eigentlichen Simulation vorgeschalteten Phase (*preprocessing*) sortiert werden, mit dem Ziel, den Rechenaufwand der Lösephase zu minimieren. In Abb. 2 ist anhand von Beispielen aus der Industrie (Speicher-, Controllerbausteine) die Anzahl der Operationen (Multiplikationen) für einmaliges Lösen gegeben. Während sich die vorherigen

Arbeiten am Lehrstuhl mit dem möglichst effizienten Lösen dieser Gleichungssysteme auf Parallelrechnern mit gemeinsamem Speicher befasst hatten, wurde im Jahr 2002 das Hauptaugenmerk auf die Vorsortierung gelegt. Das Referenzverfahren in der Schaltungssimulation - der Markowitz-Algorithmus - wurde dabei modifiziert und an einen ganz konkreten, iterativen Lösemechanismus angepasst. Das Ziel war dabei, sowohl die Rechenzeit als auch das Parallelisierungspotential der einzelnen Iterationsschritte zu optimieren.

Matrix	Dimension	Operationen
BCIRCUIT	68902	10,193,320
BOMHOF4	80209	2,915,291
C9	46014	918,881,298
C12	52350	991,281,859
C16	60798	1,183,291,379
C23	75582	2,341,684,727
DRA82	138679	617,894,178
EDOD	130841	4,289,572
HCIRCU1T	105676	1,750,187
KOBA	12643	4,980,082
MARAMX.T	150597	9,536,086
SCIRCUIT	170998	32,161,423

**Abb. 2:** Kenndaten einiger Matrizen aus der Schaltungssimulation

Des weiteren wurden die für diesen Algorithmus notwendigen Datenstrukturen gegenüber der Vorgängerversion aus dem Schaltungssimulator CEDUSA überarbeitet. Die neuen Verfahren wurden an diversen Beispielen der Schaltungssimulation getestet, um Aussagen über die Brauchbarkeit in praktischen Anwendungen zu ermöglichen.

## Personal

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz K. Dirks; Sekretariat: Sigrid Thielbörger (1/2)

Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Jülf Buschmann (1/2)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Naumann, Ingo 01.01.-31.12.02 CAU Parallelisierung der Schaltungssimulation

Dipl.-Inž. Hamidovic, Edin 01.10.-31.12.02 CAU Parallelisierung der Schaltungssimulation

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

*Winter 2001/2002*

Grundgebiete der Elektrotechnik III, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

H.K. Dirks (+ I. Naumann)

Theoretische Elektrotechnik I, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

H.K. Dirks (+ I. Naumann)

Einführung in die numerische Simulation elektronischer Schaltungen, 3 Std. Vorlesung mit integrierten Übungen/Woche,

H.K. Dirks

*Sommer 2002*

Theoretische Elektrotechnik II, 3 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

H.K. Dirks (+ I. Naumann)

Kapazitätskoeffizienten nichtlinearer dissipativer Systeme, 3 Std. Vorlesung mit integrierten Übungen/Woche,

H.K. Dirks

Praktikum Schaltungssimulation, 4 Std./Woche,

H.K. Dirks (+I. Naumann)

*Winter 2002/2003*

Grundgebiete der Elektrotechnik III, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

H.K. Dirks (+ I. Naumann)

Theoretische Elektrotechnik I, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

H.K. Dirks (+ I. Naumann)

Einführung in die numerische Simulation elektronischer Schaltungen, 3 Std. Vorlesung mit integrierten Übungen/Woche,

H.K. Dirks

**Studienarbeiten**

Cand.-Ing. M. Nordhausen, *Effizienzuntersuchungen des Minimum-Degree-Algorithmus MA27 für die VLSI-Schaltungssimulation*, 17.10.02

## Lehrstuhl für Automatisierungs- und Regelungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Helmut Röck

Der Lehrstuhl arbeitet auf folgenden Gebieten:

Messtechnik:	Coriolis-Massendurchflussmessung
Biotechnologie:	Modellbasierte Prozessführung zur Kultivierung des Bakteriums <b><i>Photorhabdus luminescens</i></b>
Medizintechnik:	Prädiktive Regelung des Glucosespiegels bei Diabetes Patienten
Regelungstechnik:	Globale Stabilisierung unteraktuierter mechanischer Systeme

### Coriolis-Massendurchflussmessung

Die Massendurchflussmessung ist in vielen Anwendungsfällen wichtiger als die Volumenmessung. So werden heutzutage alle Mineralölprodukte (Benzin, Diesel, Heizöl) aber auch Erdgas noch nach Volumen verkauft, obwohl der Energieinhalt nicht mit dem Volumen, sondern der Masse korreliert. Unberücksichtigt bleibt hierbei, dass das Volumen als Abrechnungsgröße für die Energiemenge auch noch von anderen Parametern wie Druck, Dichte und Temperatur abhängt.



Abb. 1: Coriolis-Massendurchflussmesser mit Geradrohrgeometrie

Coriolis-Massendurchflussmesser (CMD) zeichnen sich durch ihre hohe Genauigkeit (typische Messunsicherheit 0,1% vom Messwert) aus. Gleichzeitig ist der Messwert unabhängig von den Eigenschaften des zu messenden Mediums wie z. B. Druck, Temperatur, Dichte, elektrische und thermische Leitfähigkeit.

Die neueste Geräteneration - Coriolis-Massendurchflussmesser mit Geradrohrgeometrie - hat aber im praktischen Einsatzfall heutzutage noch Probleme mit der Langzeitgenauigkeit, da sich die charakteristischen Kenngrößen Nullpunkt und Empfindlichkeit zeitlich verändern können. Diese Veränderung ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die schwingenden Komponenten oszillierende Kräfte bzw. Drehmomente auf die Einspannstellen übertragen, die von diesen nicht rückwirkungsfrei aufgenommen werden. Dies führt zu einer Verfälschung des Messergebnisses, da sich die herrschenden Einspann- und Umgebungsbedingungen wie z. B. die Temperatur im Messergebnis niederschlagen. Mit den Umgebungsbedingungen ändern sich somit Nullpunkt und Empfindlichkeit im laufenden Betrieb.

Im Projekt wird ein modellbasierter Ansatz zur Messwertkorrektur verfolgt, der bis auf einen Temperatursensor ohne weitere teure Sensorik am CMD auskommt. Dazu wurde im Verlauf der bisherigen Forschungsarbeiten ein dynamisches Modell des CMD erstellt, das im wesentlichen aus zwei miteinander gekoppelten, schwingungsfähigen Übertragungsfunktionen zweiter Ordnung

besteht. Eine Übertragungsfunktion beschreibt die Schwingung in der ersten Eigenform des Messrohres (Antriebsmode), die zweite entsprechend die Schwingung in der zweiten Eigenform des Messrohres (Coriolismode). Während bei üblichen CMD nur der Antriebsmode angeregt wird und der durch den Massenstrom erzeugte Coriolismode den Messwert liefert, wird im modifizierten Aufbau ein zusätzlicher Treiber benötigt, um auch den Coriolismode gezielt anregen zu können. Die modellbasierte Auswertung der Systemantwort auf eine gezielte Anregung des Coriolismode liefert zusätzliche Informationen zur Bestimmung der zeitvarianten Modellparameter des CMD. Die charakteristischen Kenngrößen Nullpunkt und Empfindlichkeit lassen sich aus diesen Modellparametern leicht berechnen, so dass eine online Korrektur des Messwertes möglich wird.

Das bisher beschriebene Verfahren wurde unter Laborbedingungen erfolgreich erprobt. Weitere Arbeiten sind notwendig, um das Verfahren z. B. durch die Auswertung transienter Übergänge noch schneller zu machen.

### **Modellbasierte Prozessführung zur Kultivierung des Bakteriums *Photorhabdus luminescens***

Nematoden der Gattung *Heterorhabditis bacteriophora* werden als Antagonisten von im Boden lebenden Insektenlarven für die biologische Schädlingsbekämpfung in Landwirtschaft und Gartenbau kommerziell eingesetzt.

Ein wesentlicher Verfahrensschritt bei der Produktion der Nematoden in Flüssigkultur besteht in der Etablierung einer Kultur des symbiotischen Bakteriums der Gattung *Photorhabdus luminescens* in die, bei entsprechender Zeldichte, die Larven des Fadenwurmes *Heterorhabditis bacteriophora* inokkuliert werden. Die zur Zeit noch stark schwankenden Ausbeuten des Produktionsprozesses sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine stark variierende Qualität der Bakterienvorkultur und ein noch nicht ausreichendes Verständnis der Symbiose zurückzuführen. Ein erster Schritt in Richtung hohe Ausbeuten und damit kostengünstige Produktion ist die Entwicklung einer modellgestützten Prozessführungsstrategie, um die Bakterienvorkultur in einen definierten Zustand zu überführen, der durch die Parameter Zelldichte und Konzentration der Einschlusproteine charakterisiert ist. Grundlage dieser Prozessführung ist ein mathematisches Modell des Wachstumsprozesses der Bakterien, das sowohl das Wachstum der Biomasse als auch die Produktion der Einschlusproteine beschreibt.

Mit Hilfe des erstellten mathematischen Prozessmodells konnten bereits erste erfolgreiche Versuche zur Trajektorienfolgeregelung unternommen werden. Die theoretische Grundlage des verwendeten nichtlinearen Regelkonzeptes bilden die differentiell flachen Systeme, deren besondere Eigenschaft die Existenz sogenannter flacher Ausgänge ist. Da die flachen Ausgänge die volle Information über die Systemdynamik besitzen, ist es möglich, die nichtlineare Systemdynamik zu invertieren und für eine gewünschte Solltrajektorie eine Steuerfunktion analytisch zu bestimmen. Die bei technischen Systemen unvermeidbaren Modellierungsfehler führen aber immer zu einer Abweichung vom gewünschten Sollverlauf der Trajektorie. Aus diesem Grunde wird anstelle einer Steuerung eine Trajektorienfolgeregelung entworfen.

Die Prozessführung auf der Basis einer Trajektorienfolgeregelung besteht in einer gezielten Zufuhr der von den Bakterien verstoffwechselten Substrate. Im Labormaßstab konnten mit dieser Regelstrategie bereits deutlich höhere Bakteriendichten erzielt werden, als sie zur Zeit in der industriellen Produktion möglich sind.

### Modellgestützte prädiktive Regelung des Glucosespiegels bei Diabetes-Patienten

Ziel der Forschung im Rahmen dieses Projektes ist die Entwicklung eines modellbasierten Systems zur prädiktiven Regelung des Blutglucosespiegels und zur Analyse der Stoffwechselantworten nach bestimmten Mahlzeiten bei insulinpflichtigen Typ 1 und Typ 2 Diabetes-Patienten. Die Blutglukosekonzentration als Regelgröße wird mit einem subkutan (unter der Haut) angelegten Sensor kontinuierlich erfasst und zur Regelung herangezogen. Das hierarchische Regelkonzept basiert auf zwei Reglern, wobei der erste Regler für die Abdeckung der mahlzeiteninduzierten Insulinbedürfnisse und der zweite Regler für die Abdeckung der basalen Insulinbedürfnisse (Nüchternbedürfnisse) zuständig ist. Die beiden Regler liefern als Stellgrößen die notwendigen Insulingaben. Die Kohlenhydrataufnahme und die körperliche Aktivität werden als Störgrößen betrachtet.

Als Prozessmodell wird ein Zeitreihenmodell gewählt, das von unterschiedlichen Insulinwirkprofilen während eines Tages ausgeht. Erste Ergebnisse zeigen, dass das Zeitreihenmodell eine Prädiktion des Glucosespiegels ermöglicht und somit als Grundlage für die Berechnung des Insulinbedarfs des Patienten dienen kann.

### Globale Stabilisierung unteraktuierter mechanischer Systeme

Passive Systeme gehören einer Systemklasse dynamischer Systeme an, die Energie mit ihrer Umgebung austauschen. Passivität bedeutet hierbei, dass der Anstieg der im System gespeicherten Gesamtenergie nicht größer als die von außen zugeführte Energiemenge sein darf. Der Reglerentwurf auf der Grundlage des Passivitätskonzeptes vollzieht sich gewöhnlich in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die Gesamtenergie des Systems über eine neue Energiefunktion so verändert (Energy-Shaping), dass die resultierende Funktion im Bereich der anzusteuernden instabilen Ruhelage ein Minimum aufweist. Im sich daran anschließenden zweiten Schritt wird eine Dissipationsfunktion eingeführt, die das Gesamtsystem in der instabilen Ruhelage asymptotisch stabilisiert. Leider existiert jedoch kein systematisches Verfahren, um eine geeignete Speicherfunktion zu konstruieren.

Ein anderes Verfahren zum Reglerentwurf auf der Grundlage des Passivitätskonzeptes versucht, diese inhärenten Schwierigkeiten zu beheben. Regler und Strecke werden als verkoppelte dynamische Systeme angesetzt, die die gleichen strukturellen Eigenschaften (Euler-Lagrange-Struktur) besitzen.

Für vollständig aktuierte Systeme ist dies eine Möglichkeit, nur die potentielle Energie des rückgekoppelten Systems vorzugeben. Unteraktivierte Systeme erfordern aber die Vorgabe der Gesamtenergie. Unglücklicherweise zerstört dies aber beim klassischen Passivitätsentwurf die Euler-Lagrange-Struktur, so dass das rückgekoppelte System die Euler-Lagrange-Form verliert und die Energiespeicherfunktion des rückgekoppelten Systems keine natürliche Energiefunktion im physikalischen Sinne mehr darstellt.

Diese Schwierigkeiten lassen sich mit den **Port Controlled Hamiltonian** (PCH) Systemen überwinden. Für PCH-Systeme gelten die zwei wichtigsten Eigenschaften für den Reglerentwurf auf der Basis des Passivitätskonzeptes unverändert weiter. Die erste Eigenschaft ist die Strukturerhaltung, d.h. die Rückkopplung zweier PCH-Systeme führt wieder auf ein PCH System. Die zweite Eigenschaft betrifft die Energiespeicherfunktion, die die Gesamtenergie des rückgekoppelten Systems wiedergibt.

Das Invertierte Pendel auf einem Wagen (**Single Inverted Pendulum on a Cart - SIP**) ist ein bekanntes Beispiel für ein unteraktuiertes System. Die neue Methode wird z.Zt. am SIP erprobt und soll in einem zukünftigen Schritt auf das Invertierte Doppelpendel auf einem Wagen (**Double Inverted Pendulum on a Cart - DIP**) übertragen werden.

**Personal**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Röck; Sekretariat: Inge Baumann

Nichtwissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Lieb, Manuela	01.01.–31.12.02	CAU	Laboringenieurin
Hollmer, Sonja	01.01.–18.01.02	Ind. (½)	Laborassistentin
	19.01.–31.12.02	TSH (½)	

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

PD Dr.-Ing. Kolahi, Kourosh	01.01.–31.12.02	CAU	Coriolis-Massendurchflussmessung, Online Messtechnik in der Biotechnologie
-----------------------------	-----------------	-----	--

Dr.-Ing. Seydel, Peter.

01.01.–01.12.02 Ind./TSH Modellbasierte Prozessführung

Dipl.-Ing. Buchen, Andreas

01.01.–31.12.02 CAU

Quantifizierung von kristallinen Einschlusproteinen

Dipl.-Ing. Schröder, Thorsten

01.01.–31.12.02 CAU Coriolis-Massendurchflussmessung

Dipl.-Ing. Storm, Ralf

01.01.–31.09.02 Ind. Coriolis-Massendurchflussmessung

Dipl.-Ing. Papasov, Petre

01.03.–31.12.02 TSH (½)

Modellgestützte prädiktive Regelung der Insulinabgabe

Gastwissenschaftler/in:

Prof. Dr. Pawluk, Eduard

01.01.–31.12.02 - Nichtlineare Regelung

PhD Zhong, Wei

01.01.–31.12.02 DFG/ Ind.

Nichtlineare Regelung unteraktuierter Systeme

**Vorlesungen, Seminare und Praktika****H. Röck**

Regelungstechnik I, II, III, je 2(+1) Std. Vorlesung (+Übung)/Woche,

Einführung in die robuste Regelung, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übung)/Woche,

Digitale Regelung 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übung)/Woche,

Praktikum Regelungstechnik I, 4 Std. Praktikum/Woche,

Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik, 3 Std. Seminar /Woche,

**K. Kolahi**

Messtechnik I,II, je 2(+1) Std. Vorlesung (+Übung)/Woche,

Automatisierungstechnik I,II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übung)/Woche,

Ausgewählte Kapitel der Automatisierungs- und Messtechnik, 3 Std. Seminar /Woche,

Schüler-AG, 3/2 Std. Praktikum/Woche

**Drittmittel**

Krohne-Messtechnik, *Coriolis-Massendurchflussmesser*, 01.01.02 – 31.12.02 (ges. 1997-2007 ca. 500,0 kEUR)

Technologiestiftung Schleswig-Holstein, *Identifizierung und Quantifizierung von kristallinen Einschlusproteinen des Bakteriums Photorhabdus luminescens zur Erweiterung des mathematischen Wachstumsmodells*, 01.01.02 – 31.12.02 (2001-2002: 92,5 kEUR)

DFG, *Nichtlineare Regelung unteraktuierter Systeme*, Graduiertenkolleg, 01.01.02 – 31.12.02 (40,1 kEUR seit 4/2000 bis 3/2002)

Technologiestiftung Schleswig-Holstein, *Entwicklung eines kontinuierlichen Regelungs-Systems für die glukose-feedback-gesteuerte subkutane Insulinabgabe und für die Analyse des postprandialen Stoffwechsels*, 01.03.02 – 31.12.02 (87,9 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie-Transfers und Konsultationen

Fa. E-nema, Raisdorf: *Identifikation von kristallinen Einschlusproteinen des Bakteriums Photorhabdus luminescens*

Institut für Phytopathologie der CAU: *Regelung von Bioreaktoren*

Institut für Physiologie der Ernährung: *Prädiktive Regelung der Insulinabgabe*

### Diplom- und Master-Arbeit

T. Naeve, *Ansteuerung und Datenerfassung bei einem Coriolis-Massendurchflussmesser mit einem digitalen Signalprozessor*), 26.02.2002

### Dissertation

P. Seydel, *Modellbasierte Prozessführung zur Kultivierung des Bakteriums Photorhabdus luminescens*, 31.05.2002

### Veröffentlichungen

T. Schröder, R. Storm, K. Kolahi and H. Röck, *Bestimmung von Nullpunkt und Empfindlichkeit bei einem Coriolis Massendurchflussmesser mit einem einzelnen geraden Rohr*, tm Sonderheft 04/02, 181-186 (2002)

R. Storm, K. Kolahi, H. Röck, *Model-Based Correction of Coriolis Mass flowmeters*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, **51**, (4) 605-610 (2002)

W. Zhong, H. Röck, *Stabilization of the Double Inverted Pendulum on a Cart based on Lyapunov design*, 36. Regelungstechnisches Kolloquium Boppard, Boppard, 20-22 (2002)

J. Schrezenmeir, K. Dirting, P. Papazov: *Controlled multicenter study on the effect of computer assistance in intensive insulin therapy of type 1 diabetics*. Computer Methods and Programs in Biomedicine **69**, 97-114 (2002)

### Präsentationen

A. Buchen, P. Seydel, H. Röck, *Einschlusprotein von Photorhabdus luminescens - Analytik und mathematische Modellierung*, 20. Dechema Jahrestagung der Biotechnologen, 11.-13. Juni 2002

## Lehrstuhl für Halbleitertechnik (LHT)

Prof. Dr.-Ing. Peter Segebrecht

Im Jahr 2002 wurden die Arbeiten an den vier Projekten 1. „MOS-Tunnelstrukturen“, 2. „Kompaktmodell für SOI-Transistoren“, 3. „Zuverlässigkeit hochtemperaturtauglicher Elektronikkomponenten für modulare Mikrosysteme“ und 4. „Entwicklung von OEICs für ein DVD-System auf Basis von blau-violettem Laserlicht“ fortgesetzt.

### Ergebnisse

#### MOS-Tunnelstrukturen

Die spektrale Verteilung der Photonenergie des von einer Tunnelstruktur ausgesandten Lichtes wurde mit Hilfe eines hoch empfindlichen Spektrometers an unterschiedlichen Proben ( $Al/SiO_2/n-Si$ ,  $Al/SiO_2/p-Si$  und  $Al/SiO_2/n-p^+-Si$ ) bei verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen.

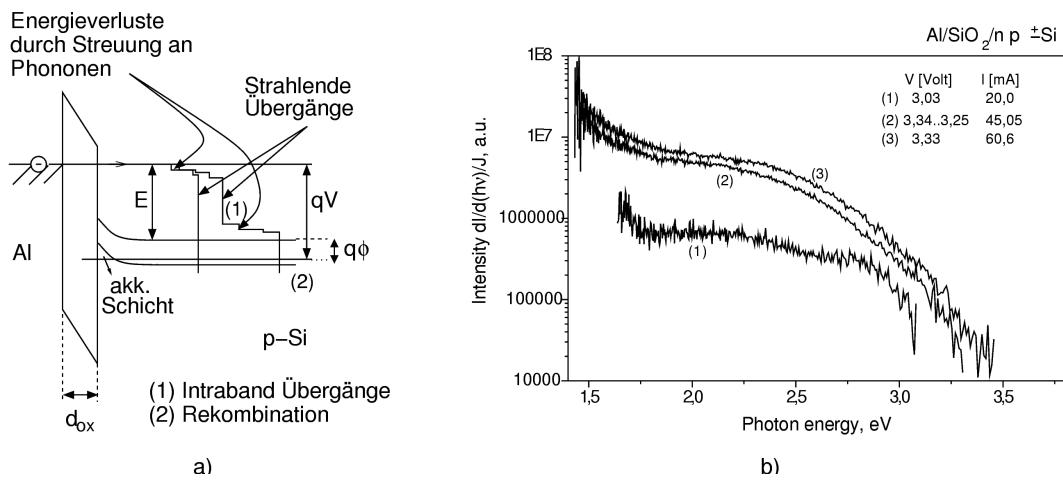


Abb. 1: MOS-Tunnelstruktur

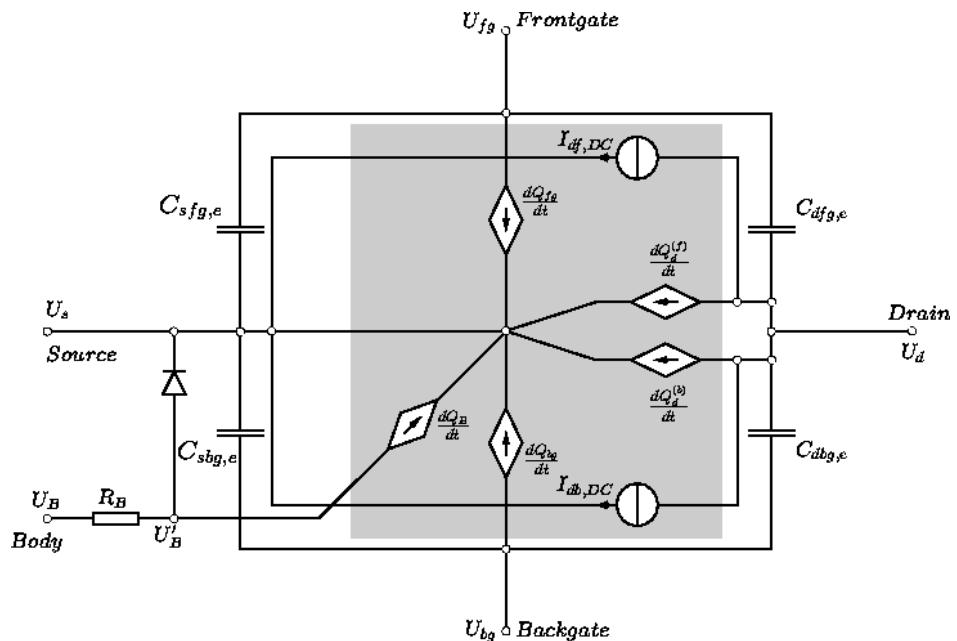
Abb. 1b zeigt die experimentell ermittelten Lumineszenzspektren einer  $Al/SiO_2/p-Si$  MOS-Tunneldiode im Spektralbereich von 1.4 bis 3.5 eV für unterschiedliche Betriebsspannungen. Im Laufe der Thermalisierung verliert das Elektron ständig an Energie, bleibt aber in der Lage Photonen auszusenden. Die Beiträge der unterschiedlichen direkten Elektronenübergänge zum Lumineszenzspektrum wurden mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen untersucht und auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse ein Kompaktmodell für die Tunneldiode entwickelt. Mit der Untersuchung zur Auswirkung der Degradation des Tunneloxides auf das elektrische und optische Verhalten der Tunneldiode wurde begonnen.

#### Kompaktmodell für SOI-Transistoren

Im Rahmen der Modellentwicklung wurden geeignete Ersatzschaltbilder eines Großsignalmodells sowie eines Kleinsignalmodells erarbeitet. In Abb. 2 ist das Ersatzschaltbild für die transiente Großsignal-Simulation dargestellt. Es besteht aus Elementen, die je nach ihrem Strom-Spannungs-Verhalten in drei Kategorien eingeteilt werden können:

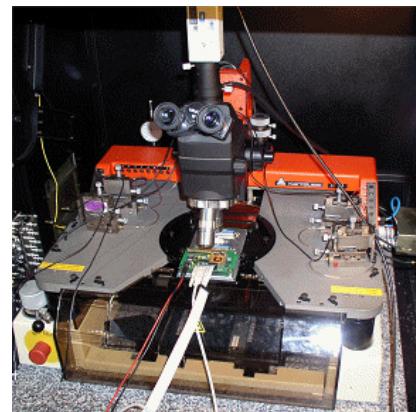
- Die runden Stromquellen symbolisieren den stationären Strom, der sich durch das zeitinvariante Verhalten des Transistors bei angelegten Elektrodenpotentialen ergibt.

- Die konventionellen Kapazitätssymbole repräsentieren den Verschiebungsstrom zwischen den Elektroden des Transistors.
- Die eckigen Stromquellen stellen die bei transienter Anregung dem stationären Strom überlagerten Stromkomponenten dar, die aus den sich innerhalb des Transistors zeitlich ändernden Ladungen hervorgehen. Diese Elemente können nicht in Form gewöhnlicher Kapazitäten dargestellt werden, da der durch sie fließende Strom nicht unmittelbar von den Klemmenpotentialen des Elementes abhängt



**Abb. 2:** Ersatzschaltbild für die transiente Schaltungssimulation eines SOI-Transistors

Für die Schaltungssimulation von zeitlich veränderlichen Signalen werden alle Komponenten des dargestellten Ersatzschaltbildes analytisch berechnet. Die Bestimmung der Ladungen geht aus dem stationären Modell hervor. Für die Kapazitäten wird eine Modellerweiterung verwendet, die mit dem stationären Modell verknüpft ist.



**Abb. 3:** Messaufbau zur Charakterisierung von Mikrocontrollern

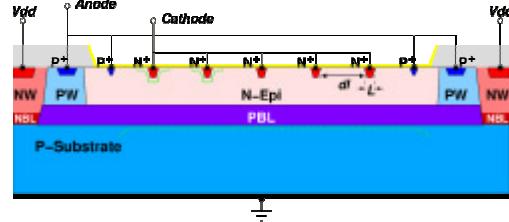
#### Modulare Hochtemperaturelektronik für Getriebeanwendungen (HTM)

Das HTM-Teilprojekt „Zuverlässigkeit hochtemperaturtauglicher Elektronikkomponenten für modulare Mikrosysteme“ begann in der Mitte dieses Jahres mit der Entwicklung einer

Messumgebung zur Untersuchung nichtflüchtiger Halbleiterspeicher in Mikrocontrollern (Abb. 3). Das Messsystem wurde in mehreren Schritten entwickelt. Die Verwendung eines kommerziellen Evaluation-Boards ermöglichte die Entwicklung einer Software, welche die Programmierung der zu untersuchenden Speicher steuert und gleichzeitig alle erforderlichen Daten dem Benutzer zur Verfügung stellt. Die Software beinhaltet zusätzlich noch die korrekte Kommunikation mit den verwendeten Schnittstellen des Mikrocontrollers. Für Messungen auf Waferebene sind kommerzielle Evaluation-Boards jedoch nicht geeignet. Aus diesem Grund wurde eine geeignete Elektronik aufgebaut, welche im Messsystem verwendet werden kann. Vorgesehen ist wahlweise die Messung an gehäussten Mikrocontrollern oder auf Waferebene, jeweils bei unterschiedlichen Programmier-Spannungen. Die Kontaktierung der Wafer, d.h. die elektrische Verbindung von Elektronik und dem ungehäussten Mikrocontroller, wird mit einer hoch-temperaturtauglichen Nadelkarte (Probecard) vorgenommen. Das Gesamtsystem besteht somit aus einem Messrechner, der mittels geeigneter Software die Kommunikation mit dem Mikrocontroller sowie die Datenauswertung vornimmt, der Elektronik zur Ansteuerung der Mikrocontroller, und der Probecard zur Kontaktierung des Mikrocontrollers auf Waferebene.

### *Bluespot*

Die geringe Eindringtiefe des blauen Laserlichtes ( $\lambda=405$  nm) von 82 nm in Silizium stellt hohe Anforderungen an einen optoelektronischen Empfängerschaltkreis. Die Photodiode muss eine hohe Empfindlichkeit und Bandbreite aufweisen. Dies wird erreicht durch eine für den Spektralbereich optimierte Antireflexionsschicht (ARC) und ein Fingerstruktur, welche einerseits die oberflächennahe Empfindlichkeit und andererseits auf Grund der Ausdehnung der Rauladungszone die Driftgebiete vergrößert und damit die Geschwindigkeit erhöht.(Abb. 4) Mit derartigen Dioden wurden Bandbreiten von 400 MHz mit Hilfe von integrierten Transimpedanzverstärkern gemessen. Der Wirkungsgrad konnte auf 70% gesteigert werden. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der Prozessoptimierung. Hierbei wird zum einen die Minimierung von Dunkelströmen durch Reduktion von Defekten an der Grenzschicht Silizium/Deckschicht verfolgt. Zum anderen wird versucht, durch Modifikation der Prozessführung das Freilegen des optischen Fensters zu verbessern. Diese Arbeiten werden durch Prozess- und Bauelementesimulationen unterstützt. Die Fotodiode stellt als opto-elektrischer Wandler nur den ersten, wenn auch wichtigen Teil des Empfängerschaltkreises dar. Gemeinsam mit den Verbundpartnern Melexis/IMMS werden Mehrkanal-OEICs (Opto Electronic Integrated Circuits) entwickelt, welche direkt in kommerzielle Pick-Up Systeme (Schreib/Lese-Köpfe) eingesetzt werden können (Abb. 4).



**Abb. 4:** Querschnittsdarstellung einer PN-Photodiode

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Peter Seegerbricht; Sekretariat: Stefanie Benecke

Technisches Personal: Dipl.-Ing. Norbert Röschmann

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

M.Sc. Phys. Asli, Nour 1.1.-31.12.02 Syrien/CAU MOS-Tunnelstrukturen

Dipl.-Ing. Christiansen, Sönke 1.6.-31.12.02 CAU Hochtemperatur Mechatronik

Dipl.-Ing. Hermyt, Daniel	1.7.-31.12.02	CAU	Hochtemperatur Mechatronik
Dipl.-Ing. Hohenbild, Michael	1.1.-31.12.02	BMBF	Blue Spot
Dipl.-Ing. Kreevenko, Yaroslav	1.7.-31.12.02	BMBF	Hochtemperatur Mechatronik
Dr. Shulekin, Alexander	15.1.-15.3.02	Russland	MOS-Tunnelstrukturen
Dipl.-Ing. Wiatr, Maciej	1.1.-31.12.02	CAU	SOI-MOS-Modell
Dr.-Ing. Zahlmann, Jan-Werner	1.1.-31.07.02	CAU	Hochtemperatur Mechatronik

### Vorlesungen, Seminare und Praktika

#### Winter 2001/2002

Elektronische Bauelemente und Schaltungen I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht, (+J. Zahlmann-Nowitzki)

Integrierte Schaltungen in MOS-Technik, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht (+ M. Wiatr)

Seminar Mikro- und optoelektronische Bauelemente und Schaltungen, 2 Std. Seminar/Woche,

P. Seegerbrecht

#### Sommer 2002

Elektronische Bauelemente und Schaltungen II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht

Operationsverstärker, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht

Integrierte digitale MOS-Schaltungen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

P. Seegerbrecht (+ M. Wiatr)

Communication Devices I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

P. Seegerbrecht

Seminar Mikro- und optoelektronische Bauelemente und Schaltungen, 2 Std. Seminar/Woche,

P. Seegerbrecht

Praktikum Elektronische Bauelemente & Schaltungen, 4 Std. Praktikum/Woche,

P. Seegerbrecht und Mitarbeiter

Grundlagenpraktikum für Ingenieure II

K. Noack, M. Wiatr

#### Winter 2002/2003

Elektronische Bauelemente und Schaltungen I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht, (+D. Hermyt)

Integrierte Schaltungen in MOS-Technik, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P. Seegerbrecht (+ M. Wiatr)

Seminar Mikro- und optoelektronische Bauelemente und Schaltungen, 2 Std. Seminar/Woche,

P. Seegerbrecht

Grundlagenpraktikum für Ingenieure I

K. Noack, S. Christiansen

### Drittmittel

Fa. Micronas/Intermetall, *Nichtflüchtige Speicher*, 01.01.96-31.12.02 (15,3 kEUR)

BMBF, *Entwicklung von OEICs für ein DVD-System auf Basis von blau-violettem Laserlicht*,  
01.01.2000-31.12.2003 (324,5 kEUR)

BMBF, *Modulare Hochtemperaturmechatronik für Getriebeanwendungen (HTM)*,  
01.01.2002-31.12.2004 (217,8 kEUR)

### Diplomarbeit

Klaus von Arnim, *Modellierung von sub-50nm Dünnschicht SOI-Transistoren*, 06.06.2002

### Veröffentlichungen

- P. Segebrecht, *Materials for Electronic Systems in Automotive Applications - Silicon on Insulator (SOI)*, Advanced Microsystems for Automotive Applications Yearbook 2002, Eds.: S. Krueger und W. Gessner, Springer (ISBN 3-540-43232-9), pp. 54-65 (2002)
- H. Zimmermann, B. Müller, A. Hammer, K. Herzog, P. Segebrecht, *Large-Area Lateral P-I-N Photodiode on SOI*, IEEE Trans. Electron Devices, **49**, (2) 334-336 (2002)
- A. Ghazi, H. Zimmermann, P. Segebrecht, *CMOS Photodiode with Enhanced Responsivity for the UV/Blue Spectral Range*, IEEE Trans. Electron Devices, **49**, (7) 1124-1128 (2002)
- H. Zimmermann, H. Dietrich, A. Ghazi, P. Segebrecht, *Fast CMOS-Integrated Finger Photodiode for a Wide Spectral Range*, Proceedings of the 32 nd European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC'02), Firenze, Italy, 435-438 (2002)
- M. Wiatr, P. Segebrecht, *Intrinsic Inversion Charge in the Mobility Region of Fully Depleted SOI-MOSFETs*, Solid-State Electronics **46**, 2089-2097 (2002)

### Präsentationen

- M. Wiatr, P. Segebrecht, *An Intrinsic Inversion Charge Model for Deep Submicron SOI-MOSFETs Applicable for Double-Gate Devices*, Poster Presentation, Workshop on ULtimate Integration of Silicon 2002 (ULIS 2002), March, 8-9, Munich, Germany (2002)
- M. Hohenbild, *Einfluss von Prozessvariationen auf die Sperrschiichtkapazität ausgewählter Photodioden*, Bluespot Symposium, Jena, 12.-13.03.2002
- M. Hohenbild, *Auswirkungen des Blu-Ray Standards auf die Spezifikation der Detektoreinheit*, Detektortreffen, Erfurt, 07.05.2002
- P. Segebrecht, M. Hohenbild, *Entwicklung von OEIC's für ein DVD-System auf der Basis von blauem Laserlicht*, 7th Status Seminar on Optical Data Storage, Villingen, 24.-25.09.2002
- P. Segebrecht, S. Christiansen, D. Hermy, Y. Kreevenko, *Zuverlässigkeit hochtemperaturtauglicher Elektronikkomponenten für modulare Mikrosysteme*, 2. Statusseminar über Modulare Hochtemperaturmechatronik, Schwaigern, 07.-08.11.2002

**Lehrstuhl für Halbleitertechnologie****Prof. Dr. Anton Heuberger**

Prof. Dr. Anton Heuberger ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie (ISIT) in Itzehoe. Informationen über die Arbeitsgebiete des Fraunhofer ISIT sind im Internet unter [www.isit.fhg.de](http://www.isit.fhg.de) zu finden. Darüber hinaus gibt das Institut einen eigenen Jahresbericht heraus. Er kann unter der folgenden Adresse angefordert werden:

Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie,  
Claus Wacker, Abteilung Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Fraunhoferstr. 1  
25524 Itzehoe  
Tel. 04821/17-4214  
Fax 04821/17-4250  
Email [wacker@isit.fhg.de](mailto:wacker@isit.fhg.de)

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Halbleitertechnologie I, 2 Std. Vorlesung/Woche  
A. Heuberger

*Sommer 2002*

Halbleitertechnologie II, 2 Std. Vorlesung/Woche  
A. Heuberger

*Winter 2002/2003*

Halbleitertechnologie I, 2 Std. Vorlesung/Woche  
A. Heuberger

**Dissertation**

Peter Merz, *Herstellung mikrostrukturierter Oberflächen in Glas und Polymer durch replikative Verfahrenstechnologien*, 5.11.02

## Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik

Prof. Dr. Reinhard Knöchel

Seit Ende der achtziger Jahre vollzieht die Hochfrequenztechnik aufgrund von halbleitertechnologischen Fortschritten einen Wandel weg von teuren Spezialanwendungen hin in Richtung auf Massenartikel und Konsumelektronik. Beispiele hierfür sind Satellitenfernsehen, KFZ-Abstandswarnradar und Mobilfunktechnik. Zu den Anwendungen, die im Zuge dieser Entwicklung erst heutzutage praktikabel werden, gehören auch industrielle Mikrowellen-Sensoren und -Messsysteme. Hier liegt ein erster Schwerpunkt der Tätigkeit des Lehrstuhls für Hochfrequenztechnik. Erfahrungen, die innerhalb der letzten zwanzig Jahre gesammelt wurden, erlauben, in diesem Bereich weltweit an vorderster Front mitzuarbeiten. Es entstanden unter anderem Mikrowellen-Sensoren auf dielektrometrischer Basis zur Bestimmung von Stoff-Eigenschaften oder -Zuständen und solche basierend auf Radarprinzipien, beispielsweise zur Füllstandsmessung in Containern und Lagertanks. Aktuelle Projekte befassten sich mit Sensoren zur Bestimmung der Zusammensetzung von Lebensmitteln zur schnellen Qualitätsbestimmung, Messsystemen zur präzisen Feuchte- und Dichtemessung in Echtzeit und zur Charakterisierung dielektrischer Schichten. Ein zweiter Arbeitsschwerpunkt konzentriert sich auf elektronische Komponenten und Subsysteme für moderne nachrichtentechnische Anwendungen. Moderne Sender- und Empfängerkonzepte stehen dabei im Vordergrund. Ein erstes Projekt hat aktive Antennen zum Gegenstand, wobei insbesondere deren Rauschverhalten von Interesse ist. In einem zweiten Projekt werden moderne Leistungsverstärker-Prinzipien untersucht. In der Mobilfunktechnik stehen hier Wirkungsgrad und Linearität im Vordergrund. Versucht man, beide Eigenschaften gleichzeitig zu erreichen, führt das auf widersprüchliche Anforderungen beim Entwurf der elektronischen Schaltungen. Ein weiteres Arbeitsfeld am Lehrstuhl ist die Molekülspektroskopie im Mikro- und Submillimeterwellenbereich.

### Ergebnisse

Eine schnelle und zerstörungsfreie Bestimmung der Zusammensetzung von Materialien, insbesondere von Naturstoffen, ist in produktionstechnischen Anlagen oft erforderlich. Speziell im lebensmitteltechnischen Bereich hängen davon Authentizität, Sicherheit und Qualität der Produkte ab. Bisher stehen in diesem Bereich fast ausschließlich lebensmittelchemische Laboranalysen zur Verfügung, die hohen Zeitaufwand erfordern. Zielsetzung war daher, ein mikrowellentechnisches Schnellverfahren zu entwickeln, mit dem es möglich ist, in Sekunden oder Sekundenbruchteilen Aussagen über prozentuale Anteile bestimmter Bestandteile machen zu können und so Proben zu identifizieren, für die eine nähere Laboranalyse erforderlich ist. Dies würde beispielsweise die Überwachung stark vereinfachen. Die Bestimmung der Zusammensetzung von Lebensmitteln gelingt durch die multivariate Verarbeitung gemessener dielektrischer Spektren. Dabei wird der Verlauf der Permittivität im Frequenzbereich von 200 MHz bis 12 GHz ermittelt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass es sogar ausreicht, Messgrößen zu bestimmen, die in definierter, jedoch möglicherweise unbekannter Form von der Permittivität abhängen. Die Bestandteile der Lebensmittel definieren den Frequenzgang ihrer komplexwertigen dielektrischen Spektren, der sich aufgrund der Komplexität des Stoffgemisches nur schwer physikalisch modellieren lässt. Durch Hauptkomponentenanalyse, Partial Least Squares Regression oder durch Anwendung künstlicher neuronaler Netze ist es jedoch möglich, den Gehalt wichtiger Bestandteile wie natürlich enthaltenes Wasser, gleichzeitig vorhandenes künstlich zugesetztes Wasser, Protein, Fett und Salz zu ermitteln. Dies wurde anhand zahlreicher Messreihen gezeigt. Bei der Materialanalyse wurde mit

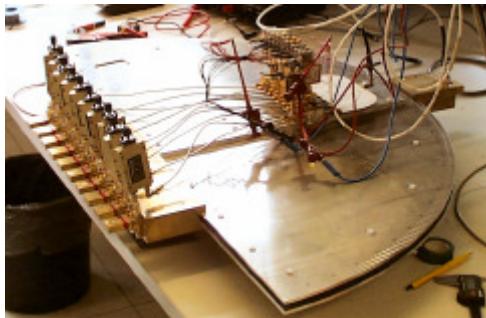
lebensmitteltechnischen Instituten kooperiert. Die Bestimmung dielektrischer Spektren erfordert normalerweise den Einsatz eines teuren Laborgerätes (Netzwerkanalysator). Um das neue Messverfahren praktisch anwendbar zu machen, wurde ein dediziertes Messgerät entwickelt und dessen Funktionsfähigkeit demonstriert.

Im Rahmen eines von der EU unterstützten Projektes (QLRT-2000-01643: SEQUID) wurde mit der Etablierung eines Messverfahrens und der Entwicklung von geeigneten Mikrowellen-Messgeräten zur Bestimmung der Qualität von Lebensmitteln begonnen (Fisch und Meeresfrüchte). Innerhalb eines Konsortiums besteht eine Kooperation mit den Fischereiforschungsanstalten Deutschlands, Spaniens und Portugals und einem schwedischen lebensmitteltechnischen Forschungsinstitut. Im Gegensatz zum vorherigen Projekt, bei dem Bestandteile quantitativ bestimmt wurden, stellt Qualität eine eher abstrakte Größe dar. Wesentliche Einflussfaktoren sind hier Lagerzeiten und Lagertemperaturen, also die Vorgeschichte der gemessenen Proben. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde gezeigt, dass auch solche Informationen im dielektrischen Spektrum enthalten, jedoch nicht auf einfache Weise sichtbar sind. Durch Applikation geeigneter Signalspektren lassen sich Lagerzeiten und auch Lagertemperaturen mittels eines Mikrowellen-Schnellverfahrens mit bisher ungekannter Genauigkeit bestimmen. Es kommen dabei Mikrowellensignale in Form von extrem breitbandigen Frequenzspektren zur Anwendung. Diese Signale werden über eine Sonde in Form einer offenen Koaxialleitung auf die gemessene Probe appliziert, welche eine verzerrte Reflexion des Signals verursacht. Die reflektierten Mikrowellen werden anschließend von einem Mikrowellenempfänger akquiriert und in digitale Signale zur weiteren Verarbeitung umgewandelt. Aus der unterschiedlichen Verformung der Mikrowellenspektren lassen sich mittels statistischer mathematischer Methoden Rückschlüsse auf die Qualität (z.B. Alter, Lagerdauer u. -temperatur, QIM, usw.) des untersuchten Gewebes ziehen. Die zur Etablierung des Messverfahrens und zur Kalibrierung der Geräte benötigten Daten von Proben mit bekannter Historie wurden in langangelegten Messreihen mit Laborinstrumenten ermittelt. Das Projekt läuft noch bis 2004.

In einem weiteren Sensorprojekt (Industriekooperation) wurde die Nutzbarkeit von Mikrowellen zur Charakterisierung verborgener dielektrischer Strukturen untersucht. In der konkreten Anwendung bestand die Aufgabe darin, die Profiltiefe von Fahrzeugreifen (LKW) kontaktlos mittels eines Sensorsystems festzustellen. Die Fahrzeugüberwachung („intelligenter Reifen“) stellt seit einiger Zeit ein praktisches Problem dar. Die Eigentümer von LKW-Trailern, die diese per Leasing-Verfahren in Umlauf bringen, sind für den Zustand der Reifen verantwortlich, ohne meist direkt Zugriff auf die Fahrzeuge zu haben. Der Zustand muss daher drahtlos und automatisch per Fernabfrage bestimmt werden. Dafür werden Sensoren benötigt. Im vorliegenden Fall wird ein Mikrowellensignal variabler Polarisation appliziert. Es interagiert mit der Struktur und den Stoffen innerhalb des Reifens, sodass aus der reflektierten Welle Informationen hergeleitet werden können. Ein entsprechendes Messsystem wurde aufgebaut. Es stellt sich heraus, dass insbesondere die Metalleinlagen eines Reifens die Empfangsinformation bestimmen. Eine entsprechende Signalverarbeitung ermöglicht es, Rückschlüsse auf den Profilzustand eines Reifens zu ziehen. Das Verfahren wurde zum Patent angemeldet.

Für zukünftige Sender und Empfänger sind aktive Antennenarrays von Interesse. (Abb. 1) Das Rauschen in solchen Antennensystemen wird untersucht. Neben dem Rauschverhalten im Freiraum wurde auch der Betrieb eines Antennensystems mit einer Anzahl von Verstärkerquellen in einem Parallelplattenhohlleiter betrachtet. Hintergrund ist die Möglichkeit, hier bei entsprechender Dimensionierung eine TEM-Welle anzuregen, also Quasi-Fernfeldbedingungen zu erhalten und dort

Signaladdition durchzuführen. Dies ist möglich bei vergleichsweise kleinen Abmessungen und damit geringen Streckendämpfungen. Letztere sind bei Rauschmessungen besonders hinderlich, da sie eine starke Beschränkung des zur Verfügung stehenden Dynamikbereichs bewirken. Durch die weitestgehend abgeschirmte Struktur sind äußere Störeinflüsse stark vermindert. Weiterhin kann der Aufbau bei entsprechend kurzen Wellenlängen durch seine geringe Bauhöhe als zweidimensional betrachtet werden. Dies ist insbesondere für die im weiteren geplante Untersuchung des Verhaltens von periodischen Dielektrika zur Beeinflussung des Rauschverhaltens von Antennen nützlich.



**Abb. 1**

Addition der Ausgangsleistung von zehn Halbleiterverstärkern eines aktiven Antennenarrays in einer Parallelplattenleitung zur Charakterisierung des Signal-Rauschverhältnisses der Anordnung

Leistungsverstärker mit sehr hohem Wirkungsgrad werden für Mobilkommunikation (800-2500 MHz) immer wichtiger. Die Optimierung des Wirkungsgrades, die Realisierung und die Verwendung im neuen Mobilfunkstandard W-CDMA stehen im Vordergrund. Schaltverstärker der Klasse E mit hohem Wirkungsgrad sind aus der Literatur bis ca. 10 GHz bekannt. Bei geringer Betriebsspannung, hoher Ausgangsleistung sowie unter Berücksichtigung von parasitären Transistor-Reaktanzen gestaltet sich deren praktische Realisierung im GHz-Bereich sehr schwierig. Zudem erfüllen herkömmliche Klasse-E-Verstärker unter bestimmten Umständen die Anforderungen im System nicht. Daher werden „modifizierte“ Klasse-E Verstärker im Frequenzbereich 1-2 GHz und ihre Realisierung mittels konzentrierter Elemente (Baugröße) unter Berücksichtigung parasitärer Reaktanzen untersucht. Ein erster Verstärker bei 1 GHz wurde bereits entworfen und aufgebaut. Ein weiteres Problem liegt darin, dass alle hocheffizienten Verstärker stark nichtlinear und daher bei den verwendeten Modulationsverfahren der 3. Generation (AM+PM) nicht einsetzbar sind. Ein mögliches Verfahren zur Abhilfe ist das bereits aus den dreißiger Jahren bekannte LINC-Verfahren, bei dem ein AM+PM-Signal in zwei PM-Signale umgesetzt und dann auf zwei nichtlineare Verstärker gegeben wird. Die anschließende Summation stellt wiederum das verstärkte AM/PM-Signal her. Aufgrund der heutigen Möglichkeiten der digitalen Signalverarbeitung können wichtige Komponenten im digitalen Basisband realisiert werden. Dieses Verfahren hat allerdings auch Nachteile, die bei der Anwendung in W-CDMA-Systemen eine praktische Umsetzung sehr erschweren. Arbeitsthemen sind die Schaffung einer Entwicklungsplattform (FPGA) für die digitale Signalaufbereitung, die Konzeption eines Basisbandgenerators für W-CDMA, der realistische Signale für einen Uplink (UE to BS) generiert (Spreading, Scrambling und HPSK-Modulation), die Möglichkeit für die Einstellung der Uplink-Parameter (Kanalanzahl, Übertragungsrate), die Realisierung von Signalverarbeitungskomponenten (DDS, digitale Filter, PN-Generator), das D/A-Interface (digitale Interpolation, komplexe Modulation, digitale Mischung der Basisbanddaten auf die 1. ZF (20-70 MHz), analoge Filterung) sowie die Untersuchung und Konzeption der analogen Basisband-Umsetzung in die HF-Lage mittels differentieller Mischer bzw. I/Q-Mischer (Direct Conversion, LO-Unterdrückung, 1.ZF etc.).

Die Molekülspektroskopie (von Herrn Prof. Guarnieri durchgeführt) beschäftigt sich mit der rotationsspektroskopischen Untersuchung isolierter Moleküle in der Gasphase. In diesem Aggregationszustand befinden sich die Moleküle in einer stetigen Bewegung passend zu ihrer thermischen Energie. Ein Teil davon wird als Rotationsenergie gespeichert. Im Rahmen der Molekülspektroskopie konzentrierten sich die Aktivitäten auf die Bestimmung der Stossrelaxation des CO-Moleküls, verursacht von anderen Partnermolekülen wie CO selbst, Stickstoff N<sub>2</sub> und Sauerstoff O<sub>2</sub>, auf Ergänzungen der Bestimmung von Rotations-Schwingungsparametern für Frequenzen bis in den Submillimeterbereich für das Molekül Fluorethyn (HCCF) und auf neue Messungen der Isotopomeren mit 18O, 13CCO und 13CO des Moleküls Keten in natürlichen Konzentrationen zur besseren Bestimmung der molekularen Struktur.

## Personal

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Reinhard Knöchel, Hochfrequenztechnik;

Prof. Dr. Antonio Guarnieri, Mikrowellenspektroskopie; Sekretariat: Melanie Bork,  
Technisches Personal: Dipl.-Ing. Wolfgang Taute

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr.-Ing. Daschner, Frank	1.1.–31.12.02	CAU	Mikrowellensensoren mit multivariaten statistischen Auswerteverfahren
Dipl.-Ing. Gerhard, Walter	1.1.–31.12.02	CAU	Verstärker mit hohem Wirkungsgrad
Dipl.-Ing. Gülck, Alexander	1.9.–31.12.02	EU	A new method for the objective measurement of the quality of seafoods
Dr. Kent, Michael	1.1.–31.12.02	EU	A new method for the objective measurement of the quality of seafoods
Dipl.-Ing. Schaab, Axel	1.1.–31.12.02	CAU	Rauschen in aktiven Antennenarrays
Dipl.-Ing. Schimmer, Ove	1.1.–31.12.02	CAU	Ultrabreitband-Sensorik

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

### Winter 2001/2002

Leitungstheorie, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ F. Daschner)

Rauschen in Kommunikations- und Meßsystemen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ A. Schaab)

Hochfrequenzschaltungen für Mobil- und Satellitenfunk, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ W. Gerhard)

Praktikum „Hochfrequenztechnik“, 4 Std. Praktikum /Woche

(alle Mitarbeiter)

Seminar „Hochfrequenztechnik“, 1 Std. /Woche,

R. Knöchel

### Sommer 2002

Nichtlineare Schaltungen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ A. Schaab)

Hochfrequenztechnik, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ F. Daschner)

Hochfrequenzmeßtechnik, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Knöchel (+ F. Daschner)  
 Communication Devices II: RF Communication, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 R. Knöchel (+ W. Gerhard)  
 Praktikum „Hochfrequenztechnik“ 4 Std. Praktikum /Woche  
 (alle Mitarbeiter)  
 Seminar „Hochfrequenztechnik“ 1 Std. /Woche,  
 R. Knöchel

*Winter 2002/2003*

Leitungstheorie, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 R. Knöchel (+ F. Daschner)  
 Rauschen in Kommunikations- und Messsystemen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 R. Knöchel (+ A. Schaab)  
 Hochfrequenzschaltungen für Mobil- und Satellitenfunk, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 R. Knöchel (+ W. Gerhard)  
 Hochfrequenzmeßtechnik, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 R. Knöchel (+ O. Schimmer)  
 Praktikum „Hochfrequenztechnik“ 4 Std. Praktikum /Woche  
 (alle Mitarbeiter)  
 Seminar „Hochfrequenztechnik“ 1 Std. /Woche,  
 R. Knöchel

**Drittmittel**

EU-Vorhaben QLRT-2000-01643, *A new method for the objective measurement of the quality of seafoods (SEQUID)*, 1.9.01 – 31.8.04 (466,9 kEUR)

**Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

AMS-Advanced Microwave Systems, Elmshorn: Mit der Firma wurde ein Technologie-Transfer bezüglich Mikrowellen-Sensorik zur Feuchte- und Dichtemesstechnik mit Mikrowellen durchgeführt.

Bikotronik, Deidesheim: Die Firma wurde unterstützt bei der Entwicklung von Mikrowellensensoren für die Feuchtemesstechnik in Beton.

Fa. Trützschler, Mönchengladbach: Konsultationen zu Verfahren der hochgenauen Dichtemessung für Faserstränge beim Textilmaschinenbau. Die Firma möchte einen bisher mechanisch arbeitenden Dichtesensor durch einen Mikrowellensensor ersetzen.

Firma UVC, Hamburg: Unterstützung beim Bau von hochlinearen und effizienten Verstärkern im Frequenzbereich von einigen hundert Megahertz.

Continental AG, Hannover: Schaffung von berührungslosen Mikrowellensensoren zur Zustandsbestimmung der Reifen (Profiltiefe) von Lastkraftwagen.

**Studien-, Diplom- and Master-Arbeiten**

- C. Möller, *Entwicklung eines Programms zur Steuerung und Signalverarbeitung für ein Mikrowellen-Feuchte-Messsystem*, (Studienarbeit) 28.2.02
- T. Möller, *Entwurf und Aufbau eines hocheffizienten 1 GHz-Verstärkers im Klasse E – Betrieb*, (Studienarbeit) 12.8.02

A. GÜLCK, *Entwicklung eines Mikrowellensystems zur berührungslosen Detektion dielektrischer Strukturen*, (Diplomarbeit) 21.6.02

### Dissertation

F. Daschner, *Multivariate Messdatenverarbeitung für die dielektrische Spektroskopie mit Mikrowellen zur Bestimmung der Zusammensetzung von Lebensmitteln*, 14.06.02

### Veröffentlichungen

- F. Daschner, R. Knöchel and M. Kent, *Bestimmung der Zusammensetzung von Lebensmitteln mit künstlichen neuronalen Netzen aus dielektrischen Spektren im Mikrowellenbereich*, Technisches Messen, tm1/2002, Oldenbourg Verlag, 19 – 24, (2002)
- V.N. Markov, G.Yu. Golubiatnikov, V.A. Savin, D.A. Sergeev, A. Guarnieri and H. Mäder, *Line Broadening and Shifting Studies of the J = 5 ? 4 Transition of Carbon Monoxide Perturbed by CO, N<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub>*, Journal of Molecular Spectroscopy **212**, 1 – 5 (2002)
- A. Huckauf and A. Guarnieri, *The rotational spectrum of Fluorethyne (HCCF) Revisited*, Journal of Molecular Spectroscopy **213**, 79 – 85 (2002)
- F. Winther, M. Schönhoff, A. Huckauf and E.B. Mkadmi, *The n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> and n<sub>3</sub> Band Systems of 3-Isocyano-2-propynenitrile (NC-C<sup>9</sup>C-NC): Comparison with the n<sub>4</sub> System of Dicyanoacetylene*, Journal of Molecular Spectroscopy **216**, 374 – 378 (2002)
- F. Daschner and R. Knöchel, *Messdatenverarbeitung mit künstlichen neuronalen Netzen bei Mikrowellen-Resonatoren zur Bestimmung des Feuchtegehaltes*, Tagungsband 11. Feuchtetag 2002, Weimar, 3-12, 2002

### Patent-Anmeldungen

- R. Knöchel, W. Taute und C. Döscher, *Mikrowellenanordnung zur Produktfeuchtemessung*, Europäisches Patentamt, 29.01.2002, AZ 02 002 156.4.
- A. Dörr und R. Knöchel, *Verfahren zur Bestimmung einer Reifenproftiefe*, Deutsches Patentamt, 19.03.2002, DE 10212310.
- R. Knöchel, W. Taute, C. Döscher, *Mikrowellen-Streufeldresonator*, Erfindungsmeldung 19.12.2002 an die Universität Kiel.

### Präsentationen

- R. Knöchel, *Multimedia-Animationen in der Vorlesung Leitungstheorie*, Vortrag am Institut für den wissenschaftlichen Film, Göttingen, 14. 01.2002
- A. GÜLCK, F. Daschner, R. Knöchel, *Verfahren zur kontaktlosen Bestimmung der Profiltiefe von Reifen*, Vortrag bei der Continental AG, Hannover, 16.01.2002
- F. Daschner and R. Knöchel, *Dielektrische Mikrowellensensoren mit multivariater Messdatenverarbeitung*, Kleinheubacher Tagung 2002, Miltenberg, 30.09.-02.10.2002

### Andere Aktivitäten und Ereignisse

- R. Knöchel: Co-ordinator im EU-Vorhaben QLRT-2000-01643, *A new method for the objective measurement of the quality of seafoods (SEQUID)*.
2. Projekttreffen EU-Vorhaben QLRT-2000-01643, *A new method for the objective measurement of the quality of seafoods (SEQUID)*, 23.-24.5.2002, Kiel.

3. Projekttreffen EU-Vorhaben QLRT-2000-01643, *A new method for the objective measurement of the quality of seafoods (SEQUID)*, 21.-22.11.2002, Lissabon.
- R. Knöchel: Mitglied im Programmkomitee des „IEEE International Microwave Symposium 2002“ in Seattle, USA. Sitzungen im Januar und Juni.
- R. Knöchel: Mitglied im Fachausschuss MTT-16 „Microwave Systems“ des IEEE. Sitzung im Juni.
- R. Knöchel: Mitglied im „editorial board“ der Fachzeitschrift „IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques“
- R. Knöchel: Mitglied im Fachausschuss „Mikrowellentechnik“ des VDE. Sitzung im Oktober.
- R. Knöchel: Mitglied in der „URSI“, Kommission B.
- R. Knöchel: Gutachter in der Auswahlkommission des Deutschen Akademischen Auslandsdienstes (DAAD) für Ausländer aus der Region Nordafrika/Nahost. Sitzungen im Januar und Juni.
- R. Knöchel: Gutachter im Preiskomitee des „Schmidt Römhild Technologiepreises“. Sitzung im Oktober.
- R. Knöchel: Mitglied im Programmkomitee des „Feuchtetages 2002“ in Weimar.
- R. Knöchel: Mitglied im Programmkomitee der „Fifth International Conference on Electromagnetic Wave Interaction With Water And Moist Substances“
- R. Knöchel: Koreferat im Promotionsverfahren an der Technischen Universität Hamburg-Harburg  
M. Höft, *Ein Beitrag zur quasi-optischen Leistungsaddition mit periodischen Strukturen*, 20.12.2002

## Professur für Informations- und Codierungstheorie

Prof. Dr.-Ing. Peter A. Höher

Die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppe Informations- und Codierungstheorie (ICT) umfassen drahtlose, digitale Übertragungstechniken. Zu den Schwerpunkten zählen Kanalcodierung/decodierung (Turbo-Codes, Decodierung mit Zuverlässigkeitssinformation, Space-Time-Codes), digitale Modulationsverfahren (adaptive Modulations- und Codierverfahren, OFDM, DS-CDMA) sowie moderne Empfängeralgorithmen (Entzerrung, Kanalschätzung, Synchronisation, Interferenzunterdrückung). Zu den Anwendungsgebieten zählen beispielsweise terrestrische Mobilfunksysteme (GSM/EDGE, UMTS, 4G), akustische Unterwasserkommunikationssysteme, Satellitenmobilfunksysteme sowie digitale Rundfunk- und Fernsehsysteme.

In der Lehre werden die Fächer Kanalcodierung, Informationstheorie und Mobilfunkkommunikation I+II angeboten, seit dem Wintersemester 2001/02 auch in englischer Sprache im Rahmen des neugeschaffenen internationalen Studiengangs "Digital Communications".

### Ergebnisse

#### *Space-Time-Codes*

Space-Time-Codes sind drahtlose Übertragungsverfahren für Systeme mit mehreren Sendeanennen. Optional können zusätzlich mehrere Empfangsantennen ausgenutzt werden. Die Leistungsfähigkeit von Space-Time-Codes basiert auf einem Diversitätsgewinn, da es unwahrscheinlich ist, dass alle Signalpfade gleichzeitig gestört sind. In der Arbeitsgruppe ICT wurde am Beispiel des GSM/EDGE-Mobilfunksystems gezeigt, dass mit Hilfe von Space-Time-Codes, die eine kompatible Systemerweiterung gestatten, deutliche Gewinne in der Bitfehlerrate erzielt werden können. Damit stehen letztlich im Mittel höhere Datenraten zur Verfügung, welches die zentrale Anforderung für alle zukünftigen Mobilfunksysteme darstellt.

Des Weiteren wurde als eine neue mögliche Anwendung der Einsatz von Space-Time-Codes in ausfallsicheren Systemen untersucht. Ein Beispiel hierfür ist eine Richtfunkstrecke, in der zwei parallele Sende- und Empfangsstrukturen aufgebaut werden, von denen jedoch nur jeweils eine zur Zeit aktiv ist und die andere in einem 'Hot Stand-by'-Modus vorgehalten wird, für den Fall dass die erstere ausfällt. Insbesondere sind bereits zwei Antennen auf jeder Seite der Strecke installiert. Mit Hilfe von Space-Time-Codes können alle Antennen gleichzeitig im Sinne eines Diversitätsgewinns ausgenutzt werden, während weiterhin die Ausfallsicherheit des Systems garantiert ist.

#### *Turbo-Codes und Decodierung mit Zuverlässigkeitssinformation*

Die parallele Verkettung von systematischen rekursiven Faltungscodierern in Verbindung mit einem iterativen Decodierschema gehört derzeit zu den leistungsfähigsten Codier-Decodierverfahren für stark verrauschte Übertragungskanäle. Aufgrund des iterativen Decodierschemas werden die Codes auch Turbo-Codes und die Decodierer Turbo-Decodierer genannt. Diese Klasse von Codes wird zukünftig beispielsweise im UMTS-Mobilfunksystem eingesetzt.

Der konventionelle Turbo-Code ist ein systematischer Code, beinhaltet also alle Informationssymbole (systematische Symbole) und zusätzliche Paritätssymbole. Es stellte sich die Frage, ob ein ähnlich konstruierter, allerdings nur teilweise oder sogar nicht-systematischer Code besser oder schlechter als der konventionelle Turbo-Code ist. Diese Modifikation bedeutet, dass weniger Informationssymbole und stattdessen mehr Paritätssymbole verwendet und auch übertragen

werden. Für diese in der Arbeitsgruppe ICT entwickelten Codes wurde die Bezeichnung "partially systematic Turbo-Codes" eingeführt.

Die Untersuchungen ergaben positive Auswirkungen sowohl auf die Distanzeigenschaften als auch auf die Decodiereigenschaften des Codes. Je weniger Informationssymbole enthalten sind, desto weniger Codewörter mit kleinen Gewichten existieren. Dadurch ergeben sich geringere Fehlerwahrscheinlichkeiten im Ausflachungsbereich der Fehlerkurven, d.h. für relativ hohe Signal/Rauschleistungsverhältnisse; die resultierenden Bitfehlerwahrscheinlichkeiten können bis zu etwa 90% geringer sein. Weniger Informationssymbole führen auch dazu, dass der iterative Decodierer (Turbo-Decodierer) bereits bei geringerem Signal/Rauschleistungsverhältniss funktioniert.

#### *Trellis-basierte blinde Kanalschätzung und Entzerrung*

In Mobilfunksystemen wird üblicherweise eine Trainingssequenz verwendet, um den zeitvarianten Übertragungskanal zu vermessen. Da Trainingssymbole die effektive Datenrate verringern, führt deren Verwendung jedoch zu einem Bandbreiteverlust, der im GSM-System beispielsweise etwa 20% beträgt.

Eine Alternative besteht darin, den zeitvarianten Übertragungskanal ohne Verwendung von Trainingssymbolen zu schätzen und anschließend zu entzerren. Diese Alternative bezeichnet man als "blinde Kanalschätzung und Entzerrung".

Konventionell geschieht eine blinde Entzerrung unter Verwendung Statistiken höherer Ordnung. Dies bedeutet jedoch eine Einschränkung hinsichtlich der Datensymbole (z.B. sind Gauss-verteilte Datensymbole nicht erlaubt). Ferner ist ein relativ langes Beobachtungsintervall notwendig, um eine zufrieden stellende Schätzung der Statistik zu erreichen. Dies wiederum verbietet kurze Datenpakete und/oder schnell zeitveränderliche Kanäle.

In der Arbeitsgruppe ICT wurden trellis-basierte blinde Entzerrer mit differentieller Vorcodierung entwickelt und untersucht, wobei die blinde Kanalschätzung und Datendetektion gemeinsam in einem Trellisdiagramm durchgeführt werden. Die resultierenden Entzerrer weisen eine hervorragende Akquisitionsgeschwindigkeit und eine gute Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Bitfehlerrate auf. Darüber hinaus lassen sich trellis-basierte blinde Entzerrer leicht modifizieren, um Zuverlässigkeitinformation zu akzeptieren und an die nächste Verarbeitungsstufe weiterzureichen. Dies ermöglicht die Anwendung des sogenannten Turbo-Prinzips in einem codierten System.

#### *Semi-blinde Gleichkanal-Interferenzunterdrückung*

In zellulären GSM-Mobilfunknetzen besteht eine große Herausforderung in der Bewältigung ständig wachsender Nutzerzahlen. Um die Netzkapazität zu vergrößern, können Netzbetreiber die Zellengröße zwar verkleinern, jedoch wächst dadurch die Interferenz aus Nachbarzellen gleicher Trägerfrequenz, d.h. die sogenannte Gleichkanalinterferenz. Dadurch kann mit konventionellen Empfängern keine zufriedenstellende Qualität erreicht werden.

In der Arbeitsgruppe ICT konnten nichtlineare semi-blinde Entzerrer-Verfahren entwickelt werden, mit denen eine Übertragung selbst dann noch möglich ist, wenn die mittlere Nutzleistung am Empfängereingang genauso groß wie die mittlere Störleistung durch Gleichkanalinterferenz ist. Diese Algorithmen könnten beispielsweise die nächste GSM-Generation revolutionieren.

### *Adaptive digitale Funkübertragung*

Heterogene Kommunikationsnetze zeichnen sich durch eine Vielzahl von Netzarten und eine ständig wachsende Vielzahl von darin angebotenen Diensten aus. Bei dem an der Arbeitsgruppe ICT behandelten Teilaspekt einer Duplex-Strecke ist es wünschenswert, unter Vorgabe einer dienstabhängigen Fehlerwahrscheinlichkeit die Datenrate der Übertragung zu maximieren. Zu diesem Zweck wurde ein Codemultiplex-basiertes Übertragungssystem entworfen. Die Vorteile bestehen in einer Unabhängigkeit von bisher üblichen starren Modulations- und Codierungsschemata und der Ausnutzung empfängerseitiger Zuverlässigkeitinformation.

### *Mobile Unterwasserkommunikation*

Das Thema der mobilen, akustischen Unterwasserkommunikation wird in der Arbeitsgruppe ICT mit großem Interesse verfolgt und bearbeitet, da es sich um eines der faszinierenden Übertragungsmedien überhaupt handelt. Die Schwierigkeiten begründen sich in einer Mehrwegeausbreitung mit extrem grossem Delay-Spread Doppler-Spread Produkt sowie einer extrem großen Grundlaufzeit.

Die laufenden Arbeiten befassen sich mit der Kanalmodellierung sowie dem Entwurf von geeigneten Algorithmen zur Modulation/Demodulation, Kanalcodierung/Kanaldecodierung, Entzerrung und Kanalschätzung.

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Peter A. Höher; Sekretariat: Angelika Kruse (50%)

Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Ralf Murawski (50%)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

M.Sc. Chen, Xiao-Ming	01.01.-31.12.02	DFG	Blinde Entzerrung
Dipl.-Ing. Land, Ingmar	01.01.-31.12.02	CAU	Turbo-Codes
Dipl.-Ing. Mietzner, Jan	01.01.-31.12.02	CAU	Space-Time-Codes
Dipl.-Ing. Schöneich, Hendrik	01.01.-31.12.02	DFG	Heterogene Netzwerke
Dr. Wang, Yi	01.10.-31.12.02	BMBF	Mobile Unterwasserkommunikation

### **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

#### *Winter 2001/2002*

Kanalcodierung, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Information Theory and Coding I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Communications Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,  
U. Heute, P.A. Höher, W. Rosenkranz (+ Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, Seminar,  
P.A. Höher

#### *Sommer 2002*

Informationstheorie, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Information Theory and Coding II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Digital Communications, Seminar,

U. Heute, P.A. Höher, W. Rosenkranz (+ Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, Seminar,

P.A. Höher

#### *Winter 2002/2003*

Kanalcodierung, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Information Theory and Coding I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

Wireless Communications, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

P.A. Höher (+ Mitarbeiter)

System Identification, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Gerstacker

Communications Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,

U. Heute, P.A. Höher, W. Rosenkranz (+ Mitarbeiter)

Advanced Communications Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,

U. Heute, P.A. Höher, W. Rosenkranz (+ Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, Seminar,

P.A. Höher

#### **Weitere Lehrveranstaltungen**

Mathematischer Vorkurs für Studierende der Physik und Ingenieurwissenschaften, Betreuung von zwei Übungsgruppen (I. Land und J. Mietzner), Sept./Okt. 2002.

Projektwoche Mobilfunk für Schüler der IGS Bad Oldesloe, Themen: "Einführung in die Mobilfunkkommunikation" (P.A. Höher),

"Prinzipien der Kanalcodierung" (J. Mietzner), "IRIDIUM - ein satellitengestütztes Mobilfunksystem" (I. Land), Feb. 2002.

#### **Drittmittel**

DFG, *Iterative Entzerrung und Decodierung für Modulationsverfahren mit differentieller Vorcodierung mit Anwendungen in Funksystemen*, 01.11.99 - 31.10.03 (56,3 kEUR)

DFG, *Intelligentes Modem für digitale Kommunikationssysteme mit drahtlosem Zugang unter besonderer Berücksichtigung der akustischen Unterwasserkommunikation*, 01.09.02-31.08.04 (111,3 kEUR)

BMBF, MUCOM, *Mobile digitale Datenübertragung im Medium Wasser*, 01.10.02-30.09.04 (130,3 kEUR)

Siemens AG, *Soft-Output-Entzerrung und Kanalschätzung für das EDGE-System*, 01.10.01-30.09.02 (75,2 kEUR)

Siemens AG, *Interferenzunterdrückung und Diversitätsverbesserungen für GSM/GERAN*, 01.10.02-30.09.03 (76,6 kEUR)

### **Diplomarbeiten:**

- Jamal Araabab, *Iterative Decodierung von Blockproduktcodes gemäss dem IEEE 802.16-Standard*, Juni 2002
- Dietmar Stiller, *Kanalschätzung und Synchronisation für Mehrträger-Spread-Spectrum Systeme mit Anwendung in der Unterwasserkommunikation*, Mai 2002
- Björn Fröhlsorge, *Sequentielle Entzerrung und Kanalschätzung mit Zuverlässigkeitinformation*, Mai 2002
- Naakkve Fischer, *Gemeinsame Kanal- und Quellencodierung für die Übertragung von Bilddaten*, April 2002
- Marc Möhlmann, *Vergleichende Bewertung von Software-Kanalsimulatoren für zeit- und frequenzselektive Mobilfunkkanäle*, Februar 2002

### **Veröffentlichungen**

- X.-M. Chen and P.A. Höher, *Blind turbo equalization for wireless DPSK systems*, in Proc. 4th Int. ITG Conf. on Source and Channel Coding, Berlin, Germany, 371-378 (2002).
- I. Land and S. Chaoui, *Comparison of convolutional coupled codes and partially systematic turbo codes for medium code lengths*, in Proc. 4th Int. ITG Conf. on Source and Channel Coding, Berlin, Germany, 99-104 (2002).
- M.J.M. Peacock, I.B. Collings and I. Land, *Performance and design tradeoffs for adaptive turbo-equalizers*, in Proc. IASTED Int. Conf. Commun. Systems and Networks, Malaga, Spain, 272-277 (2002).

### **Präsentationen**

- J. Mietzner, *Space-Time Codes mit Anwendung auf das GSM/EDGE-Mobilfunksystem*, Workshop, Uni Bremen, Germany, Jan. 2002.
- H. Schöneich, *Gleichkanalinterferenz-Unterdrückung beim GSM-Mobilfunksystem*, Workshop, Uni Bremen, Germany, Jan. 2002.
- X.-M. Chen und P.A. Höher, *Blind turbo equalization for wireless DPSK systems*, ITG-Fachtagung, Berlin, Germany, Jan. 2002.
- I. Land und S. Chaoui, *Comparison of convolutional coupled codes and partially systematic turbo codes for medium code lengths*, ITG-Fachtagung, Berlin, Germany, Jan. 2002.
- P.A. Höher, *Einführung in die Decodierung mit Zuverlässigkeitinformation*, Kolloquium, TU Darmstadt, Juni 2002.
- P.A. Höher, *Semi-blind co-channel interference suppression*, Workshop, DLR Oberpfaffenhofen, Juni 2002.
- P.A. Höher, *Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Mikrowellenübertragung*, Nokia Networks, Düsseldorf, Juni 2002.
- P.A. Höher, *Überblick über die Forschungsaktivitäten der AG Informations- und Codierungstheorie der Universität Kiel*, Marconi Communications, Backnang, Juli 2002.
- X.-M. Chen, *Expectation-Maximization Algorithmus (Tutorial)*, Workshop, Kleinwalsertal, Österreich, Juli 2002.

- P.A. Höher, *Zeitdiskrete Kalman-Filterung mit Anwendungen in der Übertragungstechnik (Tutorial)*, Workshop, Kleinwalsertal, Österreich, Juli 2002.
- I. Land, *Mutual information in transmission systems with LogAPP decoders*, Workshop, Kleinwalsertal, Österreich, Juli 2002.
- J. Mietzner, *Space-Time Codes mit Anwendung auf das GSM/EDGE-Mobilfunksystem*, Workshop, Kleinwalsertal, Österreich, Juli 2002.
- H. Schöneich, *Gleichkanalinterfenz-Unterdrückung beim GSM-Mobilfunksystem*, Workshop, Kleinwalsertal, Österreich, Juli 2002.
- J. Mietzner, *Space-Time Codes mit Anwendung auf das GSM/EDGE-Mobilfunksystem*, Workshop, Uni Kiel, Aug. 2002.
- P.A. Höher, *Advanced receiver design for the EDGE mobile radio system*, Kolloquium, City University of Hong Kong, Hongkong, Sept. 2002.
- P.A. Höher, *Soft-Output-Entzerrung und Kanalschätzung für das EDGE-System*, Siemens AG, München, Nov. 2002.
- J. Mietzner, *Diversitätstechniken - Einfluß von Antennenkorrelation auf den Performancegewinn*, Siemens AG, München, Nov. 2002.

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

- P.A. Höher, Forschungsaufenthalt (Visiting Professor) im Department of Electronic Engineering an der City University of Hong Kong, Hongkong, Sept. 2002.
- P.A. Höher, Associated Editor für IEEE Transactions on Communications (Juli 1999 - Dez. 2002).
- Massgebliche Beteiligung am Aufbau des internationalen Masterstudiengangs „Digital Communications“ (mit Prof. U. Heute und Prof. W. Rosenkranz).
- P.A. Höher, Gutachtertätigkeit für Industrieunternehmen, den Bundesgerichtshof in Karlsruhe, die Deutsche Forschungsgemeinschaft in Bonn, Promotionsverfahren im In- und Ausland (TU München, Uni Essen, Uni Lund),
- Fachzeitschriften (z.B. IEEE Trans. Commun., IEEE Trans. Wireless Commun.) und Konferenzen (z.B. IEEE GLOBECOM, IEEE ICC).
- P.A. Höher, Dozent bei der Carl-Cranz-Gesellschaft, Oberpfaffenhofen, zum Thema ``Digitale Modulationsverfahren'', März 2002.

## Lehrstuhl für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe

Prof. Dr.-Ing. Friedrich W. Fuchs

Das Gebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebe umfaßt zum einen die Umformung elektrischer Energie mit Hilfe von Leistungselektronik, zum Beispiel bei Stromversorgungen in PCs; zum anderen beinhaltet es die Wandlung elektrischer in mechanische Energie oder umgekehrt mit Hilfe der elektrischen Antriebe, zum Beispiel bei elektrischen Bahnen, bei Industrierobotern oder Windkraftanlagen. Das Gebiet an der Grenze zwischen Automatisierungstechnik und Energietechnik basiert auf vielen Teilstücken der Elektrotechnik, z.B. Leistungshalbleitern, elektrische Maschinen und Regelungstechnik, und ist als hervorragendes Beispiel der fächerübergreifenden Arbeit anzusehen. Es ist sehr praktisch ausgerichtet. Die industrielle Bedeutung nimmt derzeit stark zu.

Der Lehrstuhl für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe ist neu gegründet worden und seit April 1996 erstmals besetzt. In den ersten zwei Jahren wurden insbesondere die insgesamt sechs Lehrveranstaltungen und das Laborpraktikum erarbeitet und das Labor für Forschung und Lehre mit 10 Arbeitsplätzen konzipiert, aufgebaut, eingerichtet und in Betrieb genommen. Die Ausstattung mit Standard- und Spezialmessgeräten, Rechnern und Simulationsprogrammen für Leistungshalbleiter, Leistungselektronik, elektrische Antriebe und ihre Regelung entspricht dem Stand der Technik. Zur Steuerung der Stromrichter werden handelsübliche Mikrocontroller- und DSP-Module eingesetzt. Für die Arbeiten stehen Labore für Simulations-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Leistungselektronik sowie Antriebe, hier mit Testständen verschiedener elektrischen Maschinen bei 5 kW, 20 kW und 100 kW Leistung, zur Verfügung.

In der Lehre wird, wie geplant, das gesamte genannte Gebiet der Leistungselektronik und Elektrischen Antriebe einschließlich der Einführung in die Elektrische Energietechnik abgedeckt. In der Forschung wurde mit der ersten Generation wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fokus auf drei wesentliche Gebiete – Anwendung von Leistungshalbleitern, Schaltungen der Leistungselektronik einschließlich ihrer Steuerung sowie geregelte elektrische Antriebe einschließlich ihrer Regelung – gelegt. Diese Arbeiten wurden weitgehend im Jahr 2001 oder Anfang 2002 abgeschlossen. Die im Jahr 2002 neu gestarteten Arbeiten umfassen den gleichen Fokus, wobei als Erweiterung die Anwendung bei der elektrischen Umformung regenerativer Energien aufgenommen wurde. Da das Arbeitsgebiet sehr praxisnah ist und die Ergebnisse der Forschungsarbeit häufig Industriebezug haben, wird eine industriennahe Forschung angestrebt. Darüber hinaus werden große Bemühungen unternommen und auch Erfolge erzielt, um auch mit der Industrie in Schleswig-Holstein zusammenzuarbeiten, was unter anderem durch die Übernahme von Dienstleistungsaufgaben in begrenztem Umfang geschieht.

## Ergebnisse

### Anwendung moderner IGBT-Leistungshalbleiter

Antriebssysteme für den Einsatz in der Industrie oder in elektrischen Bahnen werden nach aktuellem technischen Stand mit umrichtergespeisten Drehstrommaschinen ausgeführt. Als schaltende Elemente in den Umrichtern werden im Leistungsbereich von etwa 1 kW bis 3000 kW Isolated Gate Bipolar Transistoren (IGBT) eingesetzt. Diese Bauelemente haben Schlüsselfunktion in den Umrichtern, da sie einerseits Drehstromantriebe erst ermöglichen, andererseits aber wesentlich den Leistungsdurchsatz begrenzen und aufgrund ihrer Kosten auch in hohem Maße die Umrichterkosten bestimmen. Das dynamische Verhalten, das Ein- und Ausschalten, ist dabei von

besonderer Bedeutung. Die dabei entstehende Verlustleistung ist wegen der hohen Schaltfrequenz ein wesentlicher Anteil der Gesamtverluste und damit der Begrenzung des Leistungsdurchsatzes. Darüber hinaus hat die Art des Schaltverhaltens, die in Grenzen beeinflussbar ist, wesentlichen Einfluss auf den Leistungsdurchsatz.

In den Vorjahren wurde das dynamische Verhalten eines aktuell auf den Markt gekommenen Trench-IGBT (1200 V/75 A) eines Herstellers bei hartem Schalten untersucht und das Verhalten anhand der physikalischen Vorgänge interpretiert, z.T. in Kooperation mit industriellen Anwendern. Die Anwendung dieses IGBTs in resonanten Schaltungen, einer besonderen Schaltungsvariante mit verlustreduziertem Schalten, wurde ebenfalls untersucht und die Eignung nachgewiesen, hier in Kooperation mit dem Hersteller. Im Jahr 2001 und bis in das Jahr 2002 hinein wurden Arbeiten durchgeführt, um über die Regelung der Ansteuersignale für den IGBT dessen Schaltverhalten so zu modifizieren, dass ein weiches, überspannungsarmes, dazu verlustarmes und im Kurzschluss ungefährliches Schaltverhalten realisiert wird. Hier wurden gute Ergebnisse erzielt. Die Arbeiten wurden an dem früher selbst entwickelten Teststand für Leistungshalbleiter durchgeführt. Sie sind ausführlich, auch im Jahr 2002, veröffentlicht worden.

#### Antriebssystem mit Asynchronmaschine und stromeinprägendem Umrichter

Drehzahlregelbare Drehstromantriebe für industrielle Anwendungen werden heute im kleinen bis mittleren Leistungsbereich vorwiegend in der Ausführung mit Asynchronmaschine und spannungseinprägendem Umrichter mit IGBT-Leistungshalbleitern eingesetzt. Im hohen Leistungsbereich werden bisher seit langer Zeit meistens Antriebe mit Synchronmaschine und stromeinprägendem Umrichter mit Thyristoren verwendet, seit kürzerer Zeit auch stromeinprägende Umrichter mit GTO-Leistungshalbleitern und Asynchronmaschinen.

In einer Forschungsarbeit wurde das Betriebsverhalten einer Alternative im kleinen bis mittleren Leistungsbereich, des Antriebs mit stromeinprägendem IGBT-Umrichter und Asynchronmotor untersucht. Der Stromrichter enthält IGBT-Leistungshalbleiter im Motor- und Netz-Stromrichter. Für den industriellen Einsatz wäre er sicherlich im Leistungsbereich unterhalb 2000 kW einzuordnen. Vorteilhaft sind unter anderem die Oberschwingungsarmen Motor- und Netzströme. Ein Schwerpunkt der Arbeiten waren die Dimensionierung und Inbetriebnahme der Schaltung und des Antriebs für 22 kW Nennleistung, die Untersuchung des stationären Betriebsverhaltens des Antriebs sowie der Pulsweitenmodulation. Ein besonderer Schwerpunkt waren die Implementierung und Untersuchung unterschiedlicher Regelungskonzepte und das resultierende dynamische Betriebsverhalten des stromeinprägenden Umrichters. Unter Verwendung einer Optimalregelung auf der netz- und einer feldorientierten Regelung auf der Maschinenseite sowie geeigneter Parameterwahl konnten erstmals hervorragende Ergebnisse in Form von Anregelzeiten wie beim standardmäßig verwendeten spannungseinprägenden Umrichter erreicht werden. Die letzten Arbeiten wurden Ende 2001/Anfang 2002 abgeschlossen und im wesentlichen veröffentlicht.

#### Netzseitiger Pulsstromrichter mit Stromeinprägung

Stromrichter zur Speisung von Drehstromantrieben oder von Gleichstromlasten oder zur Kompensation von Netzrückwirkungen werden aus den verschiedensten Gründen heute als Pulsstromrichter ausgeführt. Neben der Standardvariante mit Spannungseinprägung auf der Gleichstromseite kann - und wird - für bestimmte Anwendungen vorteilhaft die Variante mit Stromeinprägung verwendet. Diese netzseitigen Pulsstromrichter mit Stromeinprägung sind noch wenig erforscht.

In früheren Jahren wurden am Lehrstuhl ausführliche Untersuchungen an Regel- und Steuerverfahren für einen Pulsstromrichter mit Stromeinprägung durchgeführt, der mit langsam

schaltenden GTO-Leistungshalbleitern ausgestattet ist. Diese anfänglichen Arbeiten liefen in Kooperation mit einem industriellen Partner. Vom Jahr 2000 an bis in das Jahr 2002 hinein wurden Regelungs- und Steuerungsverfahren für derartige Umrichter mit schnellsschaltenden IGBT-Leistungshalbleitern untersucht. Verfahren wurden mit Hilfe der Simulation und anhand von Untersuchungen an einem am Lehrstuhl erstellten 22 kW Stromrichter analysiert.

#### *Vergleich netzseitiger Pulsstromrichter mit Spannungs- und Stromeinprägung*

Die Möglichkeit, netzseitige Pulsstromrichter mit Spannungs- oder Stromeinprägung auszuführen wurde bereits vorgestellt. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile, die je nach Anwendungsfall den Einsatz des einen oder des anderen begünstigen würden.

Im Jahr 2002 wurde ein Forschungsvorhaben begonnen, beide Varianten des Pulsstromrichters zu vergleichen. Während stromeinprägende Varianten aus früheren Arbeiten verfügbar sind, wurde eine spannungseinprägende Variante aufgebaut und in Betrieb genommen. Hier wurden erste Untersuchungen zur Regelung des Netzstromes durchgeführt.

#### **Matrix-Umrichter**

Zu den Schwerpunkten der Lehrstuhlforschung gehören die neuartigen Stromrichterschaltungen. Nach früheren Arbeiten an ARCP-Stromrichtern, wurde im Jahr 2002 die Forschungsarbeit am Matrix-Umrichter aufgenommen. Dieser Umrichtertyp zeichnet sich durch eine direkt Umrichtung ohne zwischengeschaltete Glättung aus, benötigt aber 18 statt der sonst üblichen 12 Ventile. Es wurden simulationstechnische Untersuchungen zu Steuerverfahren und zum Betriebsverhalten der dreiphasigen Ausführung durchgeführt.

#### **Stromrichter für Windkraft, Brennstoffzellen und Solarmodule**

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten wurde im Jahr 2002 auf den Bereich der elektrischen Umformung regenerativer Energie ausgeweitet.

Es wurde im Jahr 2002 ein Antrieb mit permanenterregter Synchronmaschine und spannungseinprägendem Pulsumrichter mit einer Leistung von 15 kW als Modell eines Windkraftgenerators aufgebaut und in Betrieb genommen. Über die Einspeisung von Windgeschwindigkeitsverläufen kann über eine antreibende momentgeregelte und stromrichtergespeiste Gleichstrommaschine die Synchronmaschine wie ein Windkraftgenerator angetrieben werden. Insbesondere wird das Trägheitsmoment des Rotors nachgebildet. Es wurden bisher die Leistungsschwankungen und die Energieausbeute in Abhängigkeit von den Einstellungen der Reglerparameter untersucht. Erste Ergebnisse sind veröffentlicht worden.

Stromeinprägende Umrichter eignen sich bei bestimmten Anwendungen gut für den Einsatz als Wechselrichter für Brennstoffzellen. Im Jahr 2002 wurde ein Projekt gestartet, hierüber Untersuchungen durchzuführen. Der Aufbau und erste Betrieb eines entsprechenden Stromrichters mit 5 kW Leistung ist weit fortgeschritten.

Im Rahmen einer studentischen Arbeit wurde ein Stromrichter für ein Solarmodul aufgebaut und in Betrieb genommen. Untersucht wurden Verfahren des Maximum Power Point Tracking.

#### **Personal**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Friedrich W. Fuchs; Sekretariat: Pia Bratumyl/Erna Lange

Technisches Personal: Bernd Doneit

**Wissenschaftliche Mitarbeiter:**

Dipl.-Ing. Haberberger, Markus 01.01.-31.01.02 CAU Vergleich I- und U-Netzpulsumrichter  
 Dipl.-Ing. Helsper, Martin 01.01.-31.01.02 CAU Untersuchung und Anwendung von IGBT  
 Dipl.-Ing.(FH) Bierhoff, Michael 01.01.-31.12.02 CAU Vergleich von I- und U-Netzpulsumrichter  
 Dipl.-Ing. Hünemörder, Sven 15.04.-31.12.02 CAU Permanenterregte Synchronmaschine für  
 Windkraftanlagen

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Leistungselektronik I 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Bierhoff)

Leistungselektronik III 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Helsper)

Regelung elektrischer Antriebe 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs

Fachseminar Leistungselektronik 2 Std. Seminar /Woche

F.W. Fuchs

*Sommer 2002*

Einführung in die Elektrische Energietechnik 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Bierhoff)

Leistungselektronik II 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Bierhoff)

Elektrische Umformung regenerativer Energie 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs

Praktikum Leistungselektronik und elektrische Antriebe 4 Std. Praktikum /Woche

Mitarbeiter

Fachseminar Leistungselektronik 2 Std. Seminar /Woche

F.W. Fuchs

Exkursionen (HDW, Kiel: Brennstoffzelle), 1tägig

*Winter 2002/2003*

Leistungselektronik I 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Bierhoff)

Leistungselektronik III V(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs (+ M. Bierhoff)

Regelung elektrischer Antriebe 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.W. Fuchs

Fachseminar Leistungselektronik 2 Std. Seminar /Woche

F.W. Fuchs

Exkursion (Transrapid, Emsland), 1tägig

**Drittmittel**

Industrie (EXTEL-Systems, Wedel): Analyse der Antriebsschwingungen eines Teststandes  
 (Gutachten), 30.06.02-31.12.02 (5,0 kEUR)

**Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Industrie (EAS, Hamburg): Beratung zu Anfahrproblemen bei einem Solarwechselrichter

**Diplom-, Studien und Master-Arbeiten**

- S. Hünemörder, *Konzeption, Aufbau und Untersuchung eines Modell-Antriebs mit Wechselrichter und permanenterregter Synchronmaschine zum Einsatz in Windkraftanlagen* (Diplom-Arbeit, 03.07.01-04.01.02)
- S. Schenke, *DC/DC-Wandler mit Maximum-Power-Point-Nachführung für Solaranlagen* (Studien-Arbeit, 02.05.02.-02.08.02)
- M. Bierhoff, *Steuerung für einen Netzpulsstromrichter an eingeprägter Spannung* (Studien-Arbeit, 15.06.02-15.09.02)
- J. Boll, *Steuerverfahren für Matrix-Umrichter* (Diplom-Arbeit, 30.08.02.-28.02.03)
- M. Mohr, *Auswahl, Aufbau und Untersuchung eines Umrichtersystems für Brennstoffzellen* (Diplom-Arbeit, 15.08.02-15.02.03)
- K. Rothenhagen, *Regelung des Netzpulsstromrichters mit eingeprägter Spannung* (Studien-Arbeit, 07.10.02.-08.01.03)
- S. Pischke, *Regelungsverfahren bei Asynchronmaschinen* (Studien-Arbeit, 16.10.02-16.04.03)

**Dissertation**

- A. Klönne, *Regelungs- und Modulationsstrategien für den Stromzwischenkreisumrichter mit Asynchronmaschine*, 05.07.2002

**Veröffentlichungen**

- S. Hünemörder, M. Bierhoff, F.W. Fuchs, *Drive with Permanent Magnet Synchronous Machine and Voltage Source Inverter for Wind Power Application*; NORPIE 2002, Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, Stockholm, 2002; proceedings on CD
- M. Helsper, M.; F.W. Fuchs, M. Münzer, *Analysis and comparison of Planar- and Trench-IGBT-Modules under ZVS switching conditions*. PCIM 2002, Conference on Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality, Nürnberg, 2002; proceedings on CD
- M. Helsper, F.W. Fuchs, M. Münzer, *Analysis and comparison of Planar- and Trench-IGBT-Modules under ZVS- and ZCS-switching conditions*. PESC 2002, 33<sup>rd</sup> Power Electronics Specialists Conference, Queensland, Australia, 2002; proceedings on CD
- A. Klönne, *Regelungs- und Modulationsstrategien für den Stromzwischenkreisumrichter mit Asynchronmaschine*, Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2002.

**Präsentationen**

Im Rahmen der drei Veröffentlichungen auf Konferenzen.

- F.W. Fuchs, *Analysis and comparison of Planar- and Trench-IGBT-Modules under ZVS- and ZCS- Conditions*, PESC Power Electronics Specialists Conference 2002, Cairns, 06/02
- M. Helsper, *Analysis and Comparison of Planar- and Trench-IGBT-Modules under ZVS Switching Conditions*, PCIM Power Conversion and Intelligent Motion Conference 2002, Nürnberg, 06/02
- S. Hünemörder, *Drive with Permanent Magnet Synchronous Machine and Voltage Source Inverter for Wind Power Applications*, NORPIE Nordic Power and Industrial Electronic Symposium 2002, Stockholm, 08/02

**Andere Aktivitäten und Ereignisse**

Obmann und deutscher Sprecher in internationalen Gremien des Normungskomitees K331  
Leistungselektronik der Deutschen Kommission für Elektrotechnik DKE  
Gutachter (PESC-, EPE-, IECON-Konferenzen, IEEE Transact. on Power Electronics)  
Leitung Prüfungsausschuss Wirtschaftsingenieurwesen Elektrotechnik und Informationstechnik  
Prodekan der Technischen Fakultät (seit 07/02)

## Lehrstuhl für Nachrichten- und Übertragungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Werner Rosenkranz

Forschungsschwerpunkte sind:

- Optische Nachrichtenübertragung (Messtechnik, Prototypen-Evaluierung, Simulation von hochbitratigen Übertragungssystemen, optische Verstärker für WDM, Entzerrung optischer Übertragungskanäle, neue Modulationsformate, Kanalcodierung, WDM-Netzwerke)
- Simulation und Modellierung nachrichtentechnischer Systeme (Entwicklung und Anwendung eines modularen Simulationssoftwarepaketes auf Systemebene)
- Synchronisationsaufgaben der Nachrichtentechnik (Takt- und Trägersynchronisation, PLL-Anwendung)



Abb. 1+2: „Optische Nachrichtentechnik“ des LNT

### Ergebnisse

Im November 2002 wurden gemeinsam mit Siemens ICN in München Übertragungsexperimente durchgeführt, die zu einem **Rekord in der erreichten Bandbreiteneffizienz** für die optische Übertragung geführt haben. Die Bandbreiteneffizienz ist ein wichtiges Maß für den erreichbaren Datendurchsatz des Übertragungsmediums Glasfaser. An einer Steigerung der Bandbreiteneffizienz in optischen Übertragungssystemen wird daher weltweit gearbeitet.

Dazu wurde das am Lehrstuhl in Kiel entwickelte bandbreitesparende Modulationsverfahren der optischen QPSK (quaternary phase shift keying) mit dem von Siemens entwickelten Verfahren des Polarisationsmultiplex kombiniert. Im Experiment, das weitgehend von Lehrstuhlmitarbeitern durchgeführt wurde, wurde gezeigt, dass es mit dieser Kombination möglich ist, in Wellenlängenmultiplextechnik (WDM) Datenraten von 40 Gbit/s in einem Wellenlängenraster entsprechend 25 GHz über konventionelle Glasfaserstrecken fehlerfrei zu übertragen. Mit 1,6 Bit/s/Hz ist dies der beste bisher in der optischen Übertragungstechnik erreichte Wert. Besonders interessant ist dabei, dass die dazu notwendigen Hardwarekomponenten heute verfügbar sind und dass das Konzept kompatibel zu derzeit eingesetzten Systemen ist, so dass das Verfahren auch wirtschaftlich sehr interessant ist.

Das Experiment wird auch von Siemens als wichtiger Meilenstein angesehen.

### Personal

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Werner Rosenkranz; Sekretariat: Petra Usinger, Pia Bratumyl  
Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Sandra Robien

**Wissenschaftliche Mitarbeiter:**

Dipl.-Ing. Bohn, Marc	Industrie
M.Sc. Faraj, Patrick	DFG
Dipl.-Ing. Leibrich, Jochen	Landesmittel
M.Sc. Szkotnicki, Andrzej	DFG
Dipl.-Ing. Wickers, Maike	Landesmittel
Dipl.-Ing. Wree, Christoph	Landesmittel
Dipl.-Ing. Wuth, Torsten	Landesmittel
M.Sc. Xia, Chunmin	BMBF

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Communications Lab, 4 Std./Woche

W. Rosenkranz, T. Wuth u. weitere Mitarbeiter

Digital Communications, 3 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ J. Leibrich)

Nachrichtenübertragung II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ M. Wickers)

Optische Kommunikationstechnik – Exkursion, 2-3 täglich

W. Rosenkranz u. Mitarbeiter

Optische Kommunikationstechnik I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ C. Wree)

Praktikum Nachrichten- und Informationstechnik, 4 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Seminar Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik, 3 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Seminar über Studien- und Diplomarbeiten der Nachrichtentechnik, 2 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten für Studierende der Elektrotechnik u.

Informationstechnik

W. Rosenkranz

*Sommer 2002*

Nachrichtenübertragung I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ M. Wickers)

Optical Communications, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ C. Wree)

Optische Kommunikationstechnik II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Rosenkranz (+ T. Wuth)

Seminar über ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik, 3 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Seminar über Studien- und Diplomarbeiten der Nachrichtentechnik, 2 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Topics in Digital and Optical Communications, 3 Std. /Woche

LNT-Mitarbeiter

Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten für Studierende der Elektrotechnik u.  
Informationstechnik  
W. Rosenkranz

*Winter 2002/2003*

Digital Communications, 3 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche  
W. Rosenkranz (L. Leibrich)  
Nachrichtenübertragung II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche  
W. Rosenkranz (M. Wickers)  
Optical Communications, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche  
W. Rosenkranz (C. Wree)  
Optische Kommunikationstechnik – Exkursion, 2-3 täglich  
W. Rosenkranz u. Mitarbeiter  
Optische Kommunikationstechnik I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche  
W. Rosenkranz (C. Wree)  
Praktikum Nachrichten- und Informationstechnik, 4 Std. /Woche  
W. Rosenkranz, T. Wuth u. weitere Mitarbeiter  
Seminar über ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik, 3 Std. /Woche  
LNT-Mitarbeiter  
Seminar über Studien- und Diplomarbeiten der Nachrichtentechnik, 2 Std. /Woche  
LNT-Mitarbeiter  
Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten für Studierende der Elektrotechnik u.  
Informationstechnik  
W. Rosenkranz

**Drittmittel**

DFG, *Untersuchungen zu Interferenzerscheinungen und Bandbreiteneffizienz in optischen Übertragungssystemen mit Vielkanal-Wellenlängenmultiplex*, 2000-2002 (148,8 kEUR)  
DFG, *Untersuchungen zu Interferenzerscheinungen und Bandbreiteneffizienz in optischen Übertragungssystemen mit Vielkanal-Wellenlängenmultiplex*, 2002-2004 (129,9 kEUR)  
BMBF, *Optimale Kanalcodierungs- und Modulationsverfahren für transparente optische Netze*,  
2002-2005 (162,5 kEUR)

**Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Mitglied im ITG-Fachausschuss 5.1 (Informations- und Systemtheorie)  
Mitarbeit im Normungsausschuss DKE im VDE UK412.2  
Beteiligung am DFG-Schwerpunktprogramm "Informationsübertragung in der optischen  
Kommunikationstechnik"  
Beteiligung am BMBF-Förderschwerpunkt "MultiTeraNet"  
Industriekooperationen mit diversen Partnern im In- und Ausland

**Diplom- und Master-Arbeit**

M. Serbay, *Untersuchungen der optischen differentiellen vierstufigen Phasenumtastung in WDM-Umgebung*, 05.05. 2002

## Veröffentlichungen

- Leibrich, J.; Wree, C.; Rosenkranz, W. *Phase-Shift-Keying (PSK & DPSK) Techniques for Long-Haul Wavelength-Division-Multiplexing Systems over Standard Single-Mode Fiber*", Asia-Pacific Optical and Wireless Communications Conference and Exhibition (APOC 2002), Proceedings of SPIE, 14-18.10.2002, paper 4906-01, Shanghai, China
- Wree, C.; Wickers, M.; Wuth, T.; Leibrich, J.; Rosenkranz, W., *Simulativer und experimenteller Vergleich von interferenzfesten und bandbreiteeffizienten Modulationsformaten in WDM-Umgebung*, DFG-Kolloquium "Optische Übermittlungsverfahren in der Informationstechnik", 07.-08.10.2002, München
- Bohn, M.; Rosenkranz, W.; Meissner, E., *Adaptive Polarization Mode Dispersion Compensation @ 40 Gb/s with Integrated Optical FIR-Filters*, National Fiber Optics Engineering Conference (NFOEC 2002), 15.-17.9.2002, Dallas, Texas, USA
- Bohn, M.; Horst, F.; Offrein, B.J.; Bona, G.L.; Meissner, E.; Rosenkranz, W., *Tunable Dispersion Compensation in a 40 Gb/s System using a Compact FIR Lattice Filter in SiON Technology*, European Conference on Optical Communication (ECOC 2002), 08.09.-12.09.2002, Copenhagen, Denmark
- Wree, C.; Leibrich, J.; Rosenkranz, W., *RZ-DQPSK format with high spectral efficiency and high robustness towards fiber nonlinearities*, European Conference on Optical Communication (ECOC 2002), 08.09.-12.09.2002, Copenhagen, Denmark
- Kaiser, W.; Ehrhardt, A.; Rosenkranz, W. Hanik, N., *Field Trail of Optical Duobinary Transmission over 1720 km at 10 Gb/s*, European Conference on Optical Communication (ECOC 2002), 08.09.-12.09.2002, Copenhagen, Denmark
- Bohn, M.; Rosenkranz, W.; Meissner, E., *Adaptive Compensation of Single Channel Distortions with Optical FIR-Filters at 40Gb/s*, ITG Workshop Fachgruppe 5.3.1, 20.-21.06.2002, Nürnberg
- Mietzner, J.; Otte, S.; Bohn, M.; Glingener, C.; Rosenkranz, W., *Optimal Equalization of Distortions due to Group Delay Ripples of Chirped Fiber Bragg Gratings (CFBG)*, Int. J. Electron. Commun. (AEÜ) 56 187-192 (2002), Munich
- Wree, C.; Leibrich, J.; Görler, M.; Rosenkranz, W., *"F-RZ-DPSK als robustes Modulationsformat zur Erhöhung der optisch-transparenten Länge in WDM-Netzen*, 3.ITG-Fachtagung Photonische Netze, 22.-23.04.2002, 121-124, Leipzig
- Wickers, M.; Kaiser, W.; Wuth, T.; Rosenkranz, W., *10 Gb/s Chirped Duobinary Transmission (CDBT) over 277 km of Uncompensated Standard Single Mode Fibre*, ICTON 2002, 2002, pp. 34-37, Cracow, Poland
- Leibrich, J.; Wree, C.; Rosenkranz, W., *Analytical, Simulative and Experimental Investigation of Transmission Impairments on Optical Fibers in DWDM-Systems*, SODC 2002, 2002, pp. 149-153, Stuttgart, Germany
- Wree, C.; Leibrich, J.; Görler, M.; Rosenkranz, W., *CF-RZ-DPSK: A new modulation format to suppress XPM on long-haul DWDM systems over SSMF*, invited talk for Workshop W203: Modulation Formats and Ultimate Capacity, OFC 2002, 2002, Anaheim, USA
- Bohn, M.; Mohs, G.; Rosenkranz, W., *Multispan inline and adaptive group delay ripple equalization concepts at 40 Gb/s with optical FIR Filters*, OFC 2002, 2002, **70**, 665-667, Anaheim, USA
- Kaiser, W.; Otte, S.; Wuth, T.; Rosenkranz, W., *Experimental Verification of Reduced Sensitivity of Optical Duobinary Modulation to Higher Order PMD*, OFC 2002, **70**, 53-54, 2002, Anaheim, USA

- Wichers, M.; Kaiser, W.; Wuth, T.; Rosenkranz, W., *Experimental demonstration of chirped duobinary transmission*, Electronic Letters **38** (4), 191-193, 2002
- Kaiser, W.; Rosenkranz, W., *Simple Precoder for High-Speed Optical Duobinary Transmission*, Journal of Optical Communications **23** (1), 26-28, 2002
- Wree, C.; Leibrich, J.; Rosenkranz, W., *CF-RZ-DPSK for Suppression of XPM on Dispersion-Managed Long-Haul Optical WDM Transmission on Standard Single Mode Fiber*, Photonics Technology Letters **14** (2), 155-157, 2002

### Patent-Anmeldungen

- W. Rosenkranz, C. Wree, *Verfahren und Anordnung zur Duobinärcodierung von optischen Signalen*, Deutsches Patentamt, 03.05.2001, Europäisches Patentamt, 15.04.2002, US Patent
- M. Bohn, Georg Mohs, Christian Scheerer, Christoph Glingener, *Einsatz optischer Filter zur Signalentzerrung in optischen Nachrichtenübertragungssystemen*, (2001E00319 DE); Deutschland, 25.09.2001; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Christian Scheerer, Christoph Glingener, *Kombination von adaptiven und statischen Einheiten zur Dispersionskompensation in hochbitratigen optischen Übertragungssystemen* (2001E00321 DE); Deutschland, 25.09.2001; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Christian Scheerer, Christoph Glingener, *Einsatz von optischen Filtern zur Minimierung des Einflusses von Selbstphasenmodulation in hochbitratigen optischen Übertragungssystemen*, (2001E00322 DE); Deutschland, 25.09.2001; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Christoph Glingener, Werner Rosenkranz, *Einsatz von optischen Filtern zur Minimierung des Einflusses von Polarisationsmodendispersion in hochbitratigen optischen Übertragungssystemen*, (2001E11222 DE); Deutschland, 25.09.2001; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Werner Rosenkranz, *Simultane SPM Entzerrung mehrerer Kanäle für optische Nachrichtenübertragungssysteme mit Wellenlängenmultiplex mit Hilfe eines transversalen adaptiven optischen Filters* (2001E14910 DE), Deutschland, 25.09.2001; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Christoph Glingener, Werner Rosenkranz, *Verfahren zur steigerungsangepassten Dispersionskompensation eines optischen Nachrichtenübertragungssystems mit Wellenlängenmultiplex durch Kombination von Dispersionskompensationseinheiten mit optischen Filtern*, (2001E11609 DE); Deutschland, 25.09.2002; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, Sven Otte, Jan Mietzner, Christoph Glingener, Werner Rosenkranz, *Einsatz von optischen Filtern zur Minimierung des Einflusses von herstellungsbedingten Phasenabweichungen rückgekoppelter Filterstrukturen in hochbitratigen optischen Übertragungssystemen*, (2001E11612 DE); Deutschland, 25.01.2002; EU, 25.09.2002; USA, 25.09.2002
- M. Bohn, Georg Mohs, *Konzept zur Herstellung adaptiver optischer FIR (finite impulse response) Filter*, (2001E13612 DE); Deutschland, 13.11.2002
- M. Bohn, Werner Rosenkranz *Konzeption von Sendern in optischen Nachrichtenübertragungssystemen mit optischen Filtern zur gezielten Formung des Signal-Chirps*, (2001E24225 DE); Deutschland, 27.06.2002
- M. Bohn, Richard Neuhauser *Konzeption von Sendern in optischen Nachrichtenübertragungssystemen mit direkt moduliertem Laser und optischen Filtern zur chirp Unterdrückung*, (2001E24231 DE); Deutschland, 27.06.2002

## Lehrstuhl für Netzwerk- und Systemtheorie

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Heute

Der Lehrstuhl (LNS) besteht seit Oktober 1993. Zu Beginn des Jahres 2002 waren neben dem Leiter und einer Sekretärin (auch zuständig für die Arbeitsgruppe „Informations- und Codierungstheorie“ (AG-ICT) von Prof. Höher) sechs wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt, davon drei auf Landesstellen. Die 1993 zugesagte Stellenzahl (5) wurde damit im Zuge der Sparmaßnahmen um eine, im Zuge der Berufung von Prof. Höher um eine weitere reduziert. Die ebenfalls mit der AG-ICT gemeinsame Technikerstelle ist durch Dauererkrankung des Mitarbeiters seit Sommer 2000 verwaist. Erst für 2003 besteht Hoffnung auf Neubesetzung.

Eine wissenschaftliche Mitarbeiterin und ein Wissenschaftler reichten im Jahre 2002 ihre Dissertationen ein und verließen den LNS. Eine neue Mitarbeiterin stieß dazu. Der ausgeschiedene Mitarbeiter bearbeitet in Zukunft als „Post-Doc“ ein gemeinsames Drittmittel-Forschungsprojekt des LNS und der „Forschungsanstalt für Wasserschall und Geophysik“ (FWG) in Kiel, bleibt dem Lehrstuhl also unmittelbar verbunden.

Aufgrund der Belastungen des Lehrstuhlinhabers durch sechs Jahre (Pro-) Dekanat und drei Jahre Leitung des Prüfungsausschusses „Elektrotechnik“ sowie seine starke Beteiligung am neuen, englischsprachigen Master-Studiengang „Digital Communications“ (neben dem deutschen Diplom-Programm), aber auch aufgrund der drastisch verschlechterten wirtschaftlichen Bedingungen sind die in den ersten Jahren umfangreichen Industrie-Forschungsprojekte weitgehend ausgelaufen. Die Jahre 2002 und 2003 markieren damit eine Zäsur und eine Umbruch-Phase.

### Ergebnisse

Angesichts des (weitgehenden) Abschlusses der Dekanatsaktivitäten Mitte 2002 bestanden Möglichkeit und Notwendigkeit, bislang nicht verbreitete Ergebnisse der LNS-Arbeit für Publikationen aufzubereiten. Das geschah durch *Prof. Heute* selbst auf den Gebieten

#### *Sprachkodierung*

Der Stand der Technik bei der Kodierung von Telefonsprache mit mittleren bis niedrigen Raten (16...4...kbit/sec) einschließlich der LNS-Resultate aus den Kooperationen mit NOKIA und BOSCH wurde im Rahmen eines eingeladenen Vortrags auf einer Sondersitzung der DAGA'02 (Jahrestagung der Deutschen Akustischen Gesellschaft) vorgestellt. Aus dem gedruckten Tagungsbeitrag entsteht auf Anregung des Tagungsleiters ein Kapitel in einem Buch, das von der „European Acoustical Association“ (EAA) im Springer-Verlag herausgegeben wird. Eine Sammlung aktueller Kodierverfahren ist weiterhin von der Homepage des LNS aus mit Erläuterungen und Tonbeispielen zugänglich gemacht worden ([www-lns.uni-kiel.de](http://www-lns.uni-kiel.de), s. Abb. 1).

#### *Sprachverbesserung*

Die Dissertation von Th. GÜLZOW (2001) betraf die Korrektur von Trägerfehlern bei der Kurzwellen-Demodulation und die Störbefreiung für Sprachsignale mit Hilfe spektraler Subtraktion unter Verwendung adaptiver, nicht äquidistanter Bandbreiten. Wesentliche, bislang nicht publizierte Teile wurden auf internationalen Tagungen (BIOSIGNAL, EUSIPCO) und in einem Journalartikel (angenommen bei SIGNAL PROCESSING) präsentiert.

#### *Teilband-Signalverarbeitung*

Anlässlich eines Forschungsaufenthaltes von *Prof. Hossen / Oman* im Jahre 2001 wurden ältere Kooperationsergebnisse aufgegriffen und durch neue Untersuchungen erweitert. Sie wurden im

Jahre 2002 in vier gemeinsam verfaßten Zeitschriftenartikeln festgehalten. Davon ist einer soeben erschienen (SIGNAL PROCESSING), einer in revidierter Fassung wieder eingereicht (AEÜ).

Von Dr. Görtz wurden gegen Ende seiner Promotion und kurz danach bis zu seinem Wechsel an die TU München 2001 neuartige Ideen für die Sprachübertragung entwickelt. Sie betrafen ein Thema, das dann neben anderen von *Dr. Kliewer* aufgegriffen wurde:

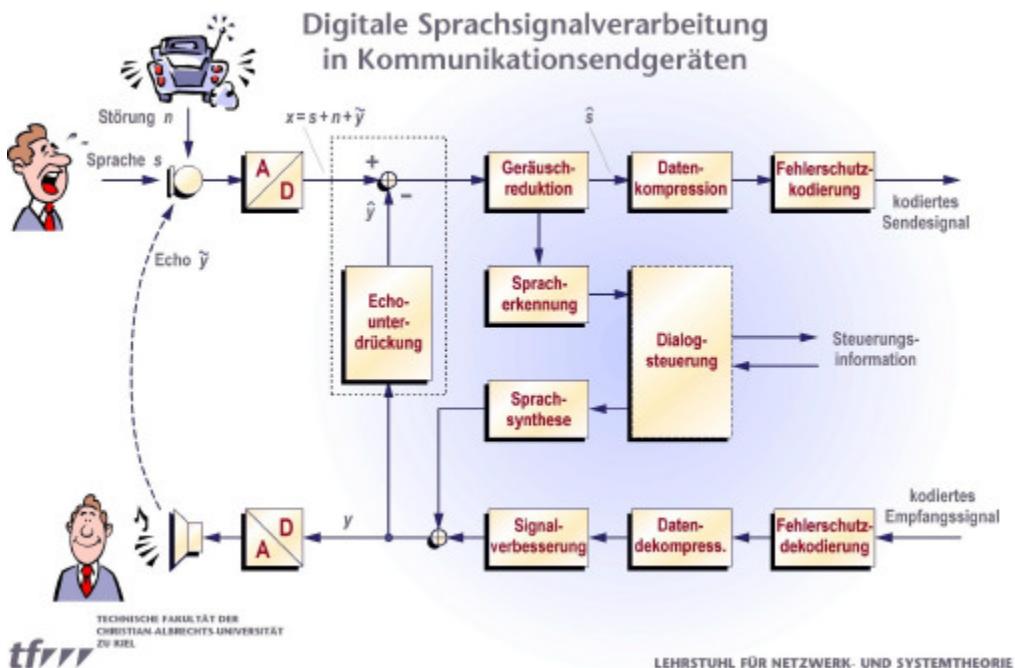


Abb. 1: Sprachsignalverarbeitung

### Gemeinsame Quellen- und Kanalkodierung

Die nach SHANNON theoretisch optimale Trennung der Signalkompression und der Fehlerschutz-Kodierung wird bei praktisch arbeitenden Systemen suboptimal. Eine gemeinsame Betrachtung für Kodierung und/oder Dekodierung ist sinnvoll und bringt erhebliche Verbesserungen (siehe Bild 2). Für Bildsignale und insbesondere die damit oft einhergehende Kodierung mit variablen Kodewortlängen (z.B. bei einer HUFFMAN-Kodierung) wird die Aufgabe erheblich komplexer. Erste ermutigende Ergebnisse führten bereits zu fünf erschienenen Papieren, davon drei im Jahre 2002 (IEEE ICASSP, IEEE ISIT, IEEE DCC). Daneben wurde ein Zeitschriftenartikel zur Veröffentlichung in der EURASIP Signal Processing angenommen. Vier weitere Beiträge zu diesem Themengebiet wurden 2002 eingereicht, darunter zwei Zeitschriftenartikel (IEEE SPAWC, IEEE GLOBECOM, IEEE Transactions on Wireless Communications, IEEE Communication Letters).

### Filterbanksysteme

Auf dem „klassischen“ LNS-Gebiet der „Frequenzanalyse und Frequenzsynthese“ mit digitalen Transformationen und darauf aufbauenden (Polyphasen-) Filterbänken wurde, von Dr. Kliewer wesentlich mitbetreut, die Dissertationsschrift von Frau *Dr. Galijasevic* 2002 fertiggestellt. Nichtäquidistante Frequenzaufösungen (etwa in Anlehnung an die Innenohr-Funktion) sind am

LNS mehrfach realisiert und eingesetzt worden. Eine klassische, sehr effiziente Form nutzt eine Allpaßtransformation. Sie ist jedoch hinsichtlich der Synthese problematisch, da sie u.U. auf nicht kausale oder instabile Filter führt. In der Dissertation gelang eine elegante Näherungslösung mit skalierbarem Fehler und Aufwand auf der Grundlage eines geschlossen berechenbaren FIR-Filters. Der Ansatz erwies sich darüber hinaus als nutzbar für zwei weitere Filterbankstrukturen. Teile der Schrift wurden international publiziert, zweimal davon im Jahre 2002 (IEEE ICASSP, EURASIP Signal Processing). Die Arbeit beruhte auf einem DFG-Stipendium im Rahmen des Graduiertenkollegs „Effiziente Algorithmen und Mehrskalensysteme“ (GEAM; dazu Industriemittel).

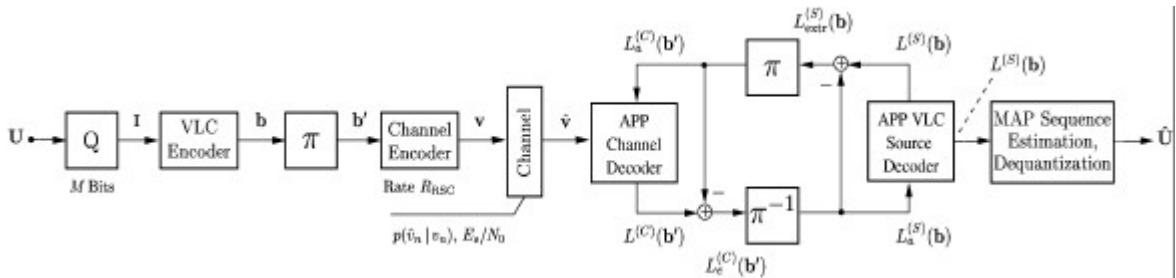


Abb. 2: Modell eines allgemeinen Übertragungssystems

Ein ebenfalls „klassisches LNS-Thema“ ist die meßtechnische Beschreibung der Qualität (z.B. über verschiedene Kodierer) übertragener Sprache. Speziell kann man versuchen, aus den Signalen eines Netzes ohne Eingriff in den laufenden Betrieb durch geeignete Meß- und Klassifikationstechniken Aussagen über die „Dienste-Qualität“ (quality of service) zu gewinnen. Hierzu liegt ebenfalls eine 2002 entstandene Dissertation vor:

#### *In-Service Non-Intrusive Measurement Devices (INNMD)*

In der Arbeit von Herrn Dr. Ludwig wurden digitale Meßalgorithmen für nach ITU genormte INNMD-Kenngrößen (Sprachpegel, Echopegel, Echolaufzeit, Rauschen) entwickelt, vor allem aber auch darüber hinaus für eine gültige Aussage unbedingt nötige neue Parameter definiert und meßtechnisch erfaßt (Gegensprechaktivität, „comfort noise“, enthaltene Kodierverfahren, Rahmen- und Paketverluste). Ansätze zur „Umrechnung“ in ein Qualitätsurteil wurden gezeigt. Auch diese Dissertation führte zu etlichen Publikationen (DAGA, ICSLP) im Jahre 2002.

Weitere Resultate anderer Aktivitäten wurden publiziert, die hier nicht im einzelnen anzusprechen sind. Hierzu wird auf die Literaturliste (s.u.) verwiesen.

### Personal

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Heute; Sekretariat: Frau Angelika Kruse

Technisches Personal: Techniker Timo Hildebrandt (3 Monate aushilfsweise)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr.-Ing. Kliewer, Jörg	01.01.-31.12.02	CAU	DSV für Kommunikationsanwendungen
Dr.-Ing. Galijasevic, Enisa	01.01.- 30.11.02	DFG / GEAM+Ind.	Filterbänke
Dr. Ludwig, Thorsten Leutelt, Lutz	01.01.- 30.11.02 01.01.- 31.12.02	CAU CAU	INMD / Sprachqualität Sprachkodierung/Sprachsynthese/ Sprechervariation

M.Sc. Rusc, Thomasz	01.01.- 31.12.02	DFG/GEAM	Filter (Bank-) Entwurf mit Koeffizienten-Quantisierung
Scholz, Kirstin	15.06.- 31.12.02	Industrie	Sprachqualität
Thobaben, Ragnar	01.01.- 31.12.02	Ind. / CAU	Quellen- u. Kanalkodierung

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Systemtheorie 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ R. Thobaben)

Advanced Signals &amp; Systems 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ L. Leutelt)

Sprachverarbeitung 2(+1) Std. Vorlesung(+Übungen)/Woche

U. Heute

Advanced Digital Signal Processing 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

J. Kliewer (+ Th. Ludwig)

Communications Lab 4 Std. Praktikum/Woche

E. Galijasevic

Ausgew. Kap. der DSV 2 Std. Seminar /Woche

U. Heute

*Sommer 2002*

Signale und Systeme 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ Th. Ludwig))

Digitale Signalverarbeitung I 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ L. Leutelt)

Wavelets &amp; Filterbänke 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

J. Kliewer (+ J. Kliewer)

Communications Seminar 2 Std. Seminar /Woche

U. Heute alle Mitarbeiter

Systemtheorie-Praktikum 4 Std. Praktikum /Woche

E. Galijasevic

Ausgew. Kap. der DSV 2 Std. Seminar /Woche

U. Heute

*Winter 2002/2003*

Systemtheorie 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ R. Thobaben)

Advanced Signals &amp; Systems 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ L. Leutelt)

Applied DSP II (Speech Proc.) 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

U. Heute (+ U. Heute)

Advanced Digital Signal Processing 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

J. Kliewer (+ J. Kliewer)

Communications Lab 4Std. Praktikum /Woche

K. Scholz

Advanced Topics Lab & Sem. 4(+2) Std. Praktikum (+Seminar) /Woche

K. Scholz

Ausgew. Kap. der DSV 2 Std. Seminar /Woche

U. Heute

### **Drittmittel**

*Industriemittel für die Projekte „Sprachqualität“ und „Quellen- & Kanalkodierung“ (52,0 kEUR)*

*DFG: Garduiertenkolleg (GEAM) / Stipendium (24,0 kEUR)*

*Industriemittel (8,9 kEUR)*

### **Studien-, Diplom- and Master-Arbeiten**

U. Pongs, *Kombinierte Quellen- und Kanaldecodierung zur robusten Übertragung von MP3-codierten Audiodaten*, DA, Sept. 2002

K. Scholz, *Untersuchungen zur instrumentellen Qualitätsbestimmung von Telefonsprache*, Diplom-Arbeit, April 2002.

### **Dissertationen**

E. Galijasevic, *Allpass-Based Near-Perfect-Reconstruction Filter Banks*, 11.09.2002.

### **Publikationen**

G. Wang, U. Heute, *Time-Varying MMSE Modulated Lapped Transform and its Applications to Transform Coding for Speech and Audio Signals*. Signal Processing, **82**, 1283-1304 (2002)

E. Galijasevic, *Allpass-Based Near-Perfect Reconstruction Filter Banks*. Arbeiten über digitale Signalverarbeitung Nr. 22, Herausgeber U. Heute, LNS/CAU Kiel, Shaker Verlag GmbH, Aachen, ISBN 3-8322-0879-8 (2002)

### **Präsentationen**

A. Hossen, U. Heute, *A Novel Simple Adaptive Spectral Analysis Zoom for Narrow-Band Signals*. XI European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2002), Toulouse, France, 03.-06.09.2002

Th. Gültzow, H. Kolb, U. Heute, *SSB-Carrier Mismatch Detection from Speech Characteristics: Extension beyond the Range of Uniqueness*. XI European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2002), Toulouse, France, 03.-06.09.2002

L. Leutelt, U. Heute, *Voice Conversion: Adaptation of Relative Local Speech Rate by MPEG-4 HVXC*. XI European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2002), Toulouse, France, 03-06.09.2002

T. Ludwig, U. Heute, *Speech Quality Evaluation in Telephone Networks*, Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA e.V. (DAGA 2002), 04.-06.03.02, Bochum

T. Ludwig, U. Heute, *Comfort Noise Detection and GSM-FR-Codec Detection for Speech Quality Evaluations in Telephone Networks*, 7<sup>th</sup> International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 2002), Denver, Colorado, USA, 16.-20.09.2002

E. Galijasevic, J. Kliewer, *Design of Allpass-Based Non-Uniform Oversampled DFT Filter Banks*, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2002), Orlando, Florida, USA, 13.-17.05.2002

- J. Kliewer, R. Thobaben, *Combining FEC and Optimal Soft-Input Source Decoding for the Reliable Transmission of Correlated Variable-Length Encoded Signals*, IEEE Data Compression Conference (DCC 2002), Snowbird, UT ,USA ,02.-04.04.2002
- J. Kliewer, N. Görts, *Iterative Source-Channel Decoding for Robust Image Transmission*, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2002), Orlando, Florida, USA, 13.-17.05.2002
- J. Kliewer, R. Thobaben, *On the Utilization of Residual Source Redundancy for Iterative Joint Source-Channel Decoding of Variable-Length Codes*, IEEE International Symposium On Information Theory (ISIT 2002), Lausanne, Schweiz, 01.-05.07.2002
- U. Heute, Th. Gültzow, A.N. Hossen, H.-J. Kolb, *Detection and Correction of Single-Sideband Carrier Frequency Mismatch by Means of Speech-Signal Characteristics*, 16<sup>th</sup> International EURASIP Conference BIOSIGNAL 2002, Brno, Czech Republic, 26.-28.06.2002
- U. Heute, *Speech and Audio Coding – a Brief Overview*, Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA e.V. (DAGA 2002), 04.-06.03.02, Bochum, EAA-SYMPOSIUM, 04.03.02

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

Mitgliedschaft von U. Heute in folgenden Gremien:

- Wiss. Beirat der Technologiestiftung Schleswig-Holstein  
Wiss. Beirat des Zentrums für angewandte Meeresforschung (ZAM) der CAU  
Stiftungsrat des Forschungsinstituts für Marine Geowissenschaften (GEOMAR)  
Redaktion der Universitätszeitschrift „Christiana Albertina“ der CAU  
Ausschuß für gute wiss. Praxis der CAU  
Advisory Committee European Association for Signal, Speech, and Image Processing (EURASIP)  
Editorial Board “SIGNAL PROCESSING”  
Editorial Board “Journal of Applied Signal Processing”

## Arbeitsgruppe Numerische Feldberechnung

Prof. Dr.-Ing. L. Klinkenbusch

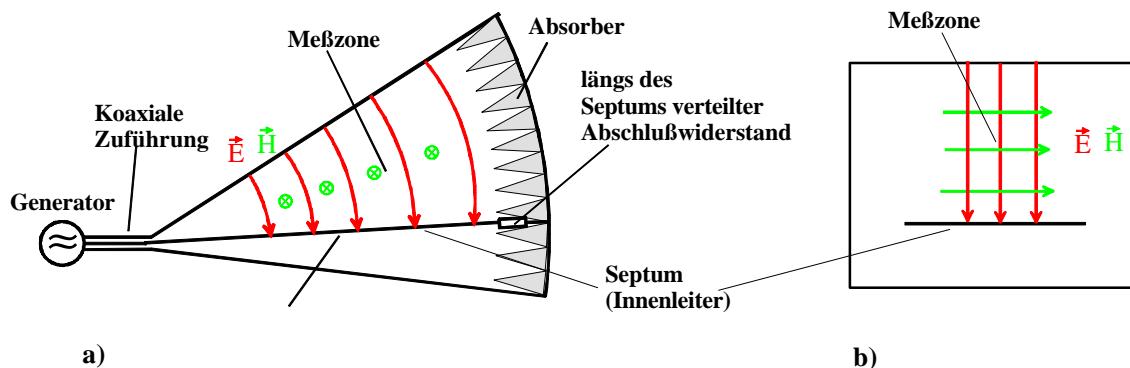
Die Arbeiten in der Arbeitsgruppe umfassen die numerische Berechnung elektromagnetischer Felder und ihre Anwendung auf technisch relevante Problemstellungen. Im Bereich der Forschung geht es dabei um die Entwicklung und Verbesserung von numerischen Verfahren zur Feldberechnung (Finite Differenzen, Finite Elemente, Integralgleichungsverfahren). Schwerpunktmaßig werden Hybridverfahren betrachtet, die aus geeigneten Kombinationen verschiedener numerischer sowie ggf. analytischer Verfahren (mit zueinander komplementären Eigenschaften) entstehen. In der Lehre werden die Grundlagen der wichtigsten numerischen Methoden zur Feldberechnung vermittelt. In direktem inhaltlichen Zusammenhang damit werden zusätzlich Lehrveranstaltungen über „Mathematische Methoden in der Feldtheorie“ sowie über „Elektromagnetische Verträglichkeit“ angeboten.

## Ergebnisse

### Kanonische GTEM-Zelle

Das Projekt wurde von der DFG im Normalverfahren gefördert (Kl815-4/1&2) und konnte inhaltlich in 2002 weitgehend abgeschlossen werden.

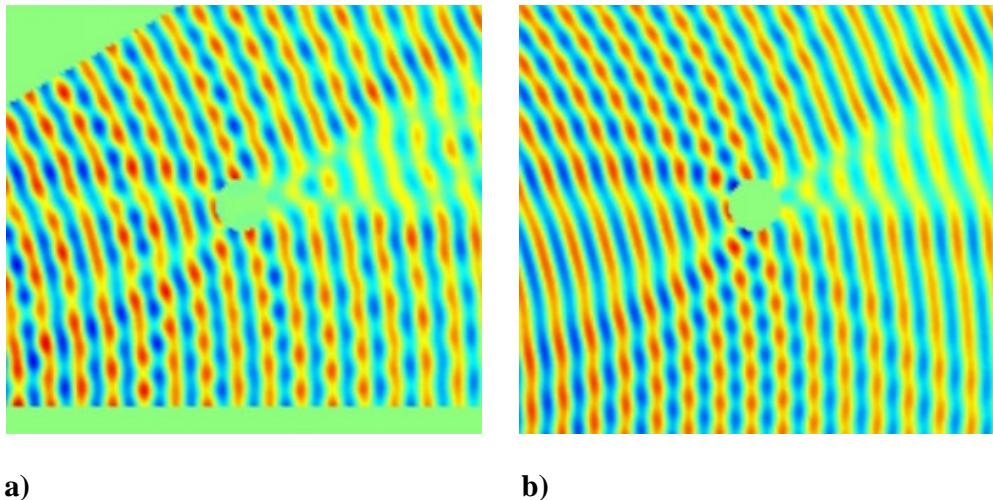
Eine GTEM-Zelle kann im Prinzip als konisch aufgeweiteter koaxialer Wellenleiter aufgefasst werden. Der Innenleiter besteht allerdings aus einem Sektor und der Außenleiter besitzt einen rechteckförmigen Querschnitt (Abb. 1). In dem (leeren) Zwischenraum zwischen Innen- und Außenleiter besteht ein elektromagnetisches Feld, dessen Struktur demjenigen im freien Raum ähnlich ist. Eine GTEM-Zelle wird daher als Ersatz für Freiraum-Emissionsmesseinrichtungen verwendet. Wird der Zwischenraum jedoch gefüllt (mit einem zu testenden Objekt, *device under test, DUT*), ist eine Wechselwirkung zwischen DUT und Zelle vorhanden, die im freien Raum nicht vorhanden wäre. Ziel des Forschungsvorhabens ist eine qualitative Untersuchung dieser Wechselwirkung. Dazu wurde ein zweidimensionales Modell der GTEM-Zelle mittels eines neuartigen hybriden Verfahren (Kombination der Integralgleichungsmethode mit Modalentwicklungen) untersucht.



**Abb. 1:** GTEM-Zelle im Längsschnitt (a) und im Querschnitt (b).

Abb. 2 zeigt ein Ergebnis für einen zylinderförmiges DUT innerhalb der GTEM-Zelle (a) und zum Vergleich im freien Raum. Man erkennt deutlich stehende Wellen, die auf eine Wechselwirkung zwischen DUT und Zellenwand hindeuten.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen u.a. herangezogen werden, um zu einer feldtheoretisch basierten und messtechnisch umsetzbaren Definition der Feldqualität von GTEM-Zellen zu kommen.



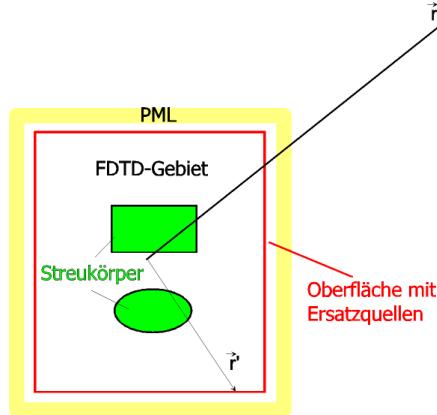
**Abb. 2:** Feldverteilung (Momentaufnahme) des magnetischen Feldes (enkrecht zur Zeichenrichtung polarisiert) innerhalb der GTEM-Zelle **a)** und im freien Raum **b)** bei zylinderförmigem DUT.

#### Nahfeld-Fernfeld-Transformation für die FDTD-Methode

Die Multipolanalyse ist eine klassische Technik zur analytischen Darstellung elektromagnetischer (und akustischer) Felder in Form von Reihenentwicklungen. Es handelt sich dabei um eine lineare Zerlegung eines allgemeinen Feldes in die kanonischen Felder von Dipolen, Quadrupolen, Oktopolen, usw., die alle im Ursprung der Multipolentwicklung, d.h. im Koordinatenursprung lokalisiert sind. Sie wurde erfolgreich eingesetzt zur exakten Lösung einiger klassischer Randwertprobleme im Frequenzbereich. Im Zusammenhang mit Problemstellungen mit sphärischer Symmetrie ist neben der Beugung an der Kugel (Mie'sche Lösung) unter anderem die Streuung am ideal leitenden Kegel zu nennen.

Die ausgezeichneten mathematischen Eigenschaften der Multipolanalyse werden im Forschungsprojekt für Zwecke der Darstellung und Weiterverarbeitung von numerisch bestimmten Feldern gewinnbringend eingesetzt. Bei einer Nahfeld-Fernfeld Transformation im Zeitbereich im Rahmen der FDTD- (*Finite-Difference Time-Domain*) Methode werden üblicherweise zunächst unter Anwendung des Äquivalenzprinzips die Quellen durch Ersatzströme, welche auf einer geschlossenen, die tatsächlichen Quellen vollständig umschließenden Oberfläche lokalisiert sind, ersetzt (vgl. Abb. 3). Nachteilig bei der üblichen Methode ist, dass eine numerische Integration über alle Punkte  $\vec{r}$  der Oberfläche mit den Ersatzquellen prinzipiell für jeden neuen Aufpunkt  $\vec{r}$  neu durchzuführen ist. Mit dem neuen Ansatz wird dieser Nachteil vermieden, wie zunächst für den Frequenzbereich vorgeschlagen und später für den Zeitbereich gezeigt wurde. Daneben ermöglicht die Multipolentwicklung des Fernfeldes eine nachträgliche Verbesserung der numerisch erzielten Resultate durch Anwendung einer Raumfrequenz-Tiefpassfilterung. Diese vielversprechende

*Multipolschnittstelle* für numerische Feldberechnungsverfahren soll weiter untersucht und ausgebaut werden.



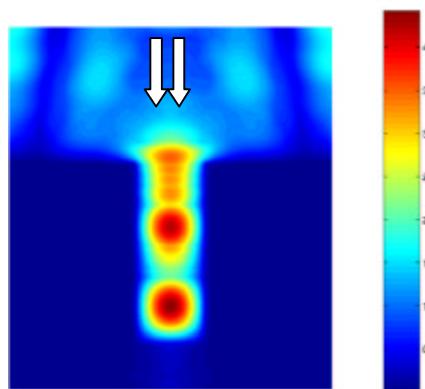
**Abb. 3:** Geometrie für die Nahfeld-Fernfeld-Transformation bei der FDTD-Methode

#### *Mehrgitterverfahren bei Wellenausbreitungsproblemen*

Seit Dezember 2001 wird innerhalb des DFG-Graduiertenkollegs 357 „Effiziente Algorithmen und Mehrskalenmethoden“ ein Forschungsvorhaben durchgeführt, bei dem das strukturierte, teils dicht, teils dünn besetzte Gleichungssystem, welches bei einer hybriden Finite-Elemente und Randelementeformulierung entsteht, unter Verwendung eines dafür geeigneten Mehrgitterverfahrens effizient gelöst werden soll. Zur Anwendung kommen soll der Algorithmus bei der Untersuchung der niederfrequenten elektromagnetischen Beeinflussung von biologischem Gewebe. Aufgrund der bei niedrigen Frequenzen relativ kleinen Wellenzahl ( $k < 1$ ) lassen sich die bei der numerischen Lösung der Helmholtzgleichung mit Mehrgitterverfahren bekannten Konvergenceschwierigkeiten hier überwinden. Das Forschungsprojekt wird im Rahmen des Graduiertenkollegs in enger Abstimmung zwischen den Ingenieurwissenschaften und der Mathematik (Prof. Hackbusch) durchgeführt.

#### *Elektromagnetische Felder bei Digital Versatile Discs (DVDs)*

Im Rahmen einer Kooperation mit Philips Research, Eindhoven (NL) wird das elektromagnetische (optische) Feld einer DVD berechnet und systematisch analysiert. Untersuchungen hierzu wurden auch innerhalb einer Diplomarbeit durchgeführt mit dem Ziel, das optische Feld (und die Verluste) in der DVD Oberfläche (Aluminium+ Polycarbonat) mit dem FDTD-Verfahren im Zeitbereich zu berechnen. Die vielversprechenden ersten Ergebnisse (Abb. 4) bilden die Basis für weitere Untersuchungen, geplant ist ein gemeinsamer Antrag auf Forschungsförderung.



**Abb. 4:** Amplitude der elektrischen Feldstärke (senkrecht zur Zeichenebene polarisiert) an einer DVD Oberfläche im Resonanzfall bei von oben einfallendem Licht (ebene Welle).

### Personal:

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Ludger Klinkenbusch; Sekretariat: Frau Sigrid Thielbörger

Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Jülf Buschmann

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Hannemann, Jens      01.01.–30.04. CAU ( $\frac{3}{4}$ ) Simulation GTEM-Zelle  
(Ankopplung)

Dipl.-Ing. Zellerhoff, Michael      01.01.–30.11. DFG ( $\frac{1}{2}$ ) Simulation GTEM-Zelle  
(Wechselwirkung)  
  CAU ( $\frac{1}{4}$ ) (DFG Projekt KL 815-4)  
  01.12.–31.12. CAU ( $\frac{3}{4}$ )

Dipl.-Ing. Oetting, Claus Christian 01.01.–31.12. CAU ( $\frac{3}{4}$ ) Multipolschnittstelle  
M.Sc. Gheorghe, Simona        01.01.–31.12. DFG      Mehrgitterverfahren bei Wellen-  
ausbreitungsproblemen  
(im DFG Graduiertenkolleg)

### Vorlesungen und Seminare

#### Winter 2001/2002

Grundgebiete der Elektrotechnik I, 3(1) Std. Vorlesung (Übungen) /Woche,  
L. Klinkenbusch (C.C. Oetting, M. Zellerhoff, S. Schenke)

Numerische Feldberechnung, 2(1) Std. Vorlesung. (Übungen)/Woche,  
L. Klinkenbusch (C.C. Oetting)

Seminar Feldtheorie, 1 Std./Woche  
L. Klinkenbusch + Mitarbeiter

#### Sommer 2002

Grundgebiete der Elektrotechnik II, 3(1) Std. Vorlesung (Übungen) /Woche,  
L. Klinkenbusch (C.C. Oetting, A. Dochhan, S. Schenke)

Elektromagnetische Verträglichkeit, 2(1) Std. Vorlesung (Übungen) /Woche,  
L. Klinkenbusch (M. Zellerhoff)

Seminar Feldtheorie, 1 Std./Woche  
L. Klinkenbusch + Mitarbeiter

**Winter 2002/2003**

Grundgebiete der Elektrotechnik I, 3(1) Std. Vorlesung (Übungen) /Woche,

L. Klinkenbusch (C.C. Oetting, A. Dochhan, A. Gülck)

Numerische Feldberechnung, 2(1) Std. Vorlesung (Übung) /Woche,

L. Klinkenbusch (C.C. Oetting)

Seminar Feldtheorie, 1 Std. /Woche

L. Klinkenbusch + Mitarbeiter

**Drittmittel:**

DFG, KL 815-4/1+2: *Analytische und numerische Untersuchung des elektromagnetischen Verhaltens einer GTEM-Zelle*, 1.11.1997– 30.11.02

DFG, Graduiertenkolleg 357: *Anwendung von Mehrgitterverfahren bei der Lösung von Wellenausbreitungsproblemen*, seit 1.12.2001

**Weitere Zusammenarbeiten:**

Kooperation mit Philips Research, Eindhoven: Untersuchungen zum elektromagnetischen Feld bei DVDs („optical recording“), Partner: Prof. Dr. P. Urbach (Philips Research & Delft University)

**Diplomarbeit:**

M. Isemann, *Anwendung der FDTD-Methode zur Berechnung des elektromagnetischen Feldes in Aluminium bei optischen Frequenzen*, 05.12.2002

**Veröffentlichungen:**

Zellerhoff, M., Klinkenbusch, L.: *Hybrid Modal and Methods-of Moments Analysis of The Interaction between a GTEM-cell and a Device-Under-Test*. Proc. (CD) of the 2002 URSI General Assembly, Maastricht (Netherlands), 2002

Oetting, C.-C., Klinkenbusch, L.: *A Spatial-Frequency Filter For Time-Domain Far Fields*. Proc. (CD) of the 2002 URSI General Assembly, Maastricht (Netherlands), 2002

Denecker, B., Olyslager, F., De Zutter, D, Klinkenbusch, L., Knockart, L.: *Efficient Analysis of Photonic Crystal Structures Using a Novel FDTD Technique*. Proc. of the 2002 IEEE Antennas and Propagation International Symposium and URSI North American Radio Science Meeting, San Antonio (Texas), 2002, 344-347

Zellerhoff, M., Klinkenbusch, L.: *Electromagnetic Coupling of a GTEM-cell and a Device Under Test: A Hybrid Modal-Analysis and Method-of-Moments Approach*. Proc. of the 2002 IEEE Antennas and Propagation International Symposium and URSI North American Radio Science Meeting, San Antonio (Texas), 2002, 286-289

Oetting, C.C., Klinkenbusch, L.: *Improving the Accuracy of Numerical Results By a Spherical-Multipole Based Post-Processing*. Proc. of the 2002 IEEE Antennas and Propagation International Symposium and URSI North American Radio Science Meeting, San Antonio (Texas), 2002, 44-47

**Präsentationen:**

L. Klinkenbusch: *Multipole Analysis in Electromagnetics*, Philips Research Lab., Eindhoven, 24.05.2002

L. Klinkenbusch: *Some Applications of Multipole Analysis in Electromagnetics*, European Consortium on Mathematics in Industry (ECMI 2002), Riga, 12.09.2002

**Andere Aktivitäten:**

Mitarbeit (Wiss. Beratung) im DIN-Ausschuss NPS (Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung), DIN 32780-100: Schutz gegen hochfrequente elektromagnetische Felder im Frequenzbereich 80 MHz - 1 GHz – Anforderung und Prüfung

## Professur für Diskrete Optimierung

Prof. Dr. Anand Srivastav

Die Diskrete oder Kombinatorische Optimierung ist ein Teilgebiet der mathematischen Optimierung. Ihr Anliegen ist die effiziente Lösung diskreter, endlicher Optimierungsprobleme.

Methoden und Resultate der modernen diskreten Optimierung berühren verschiedene Gebiete der Mathematik und Informatik wie z. B. Kombinatorik, Graphentheorie, Stochastik und Komplexitätstheorie.

Ein zentrales Thema der diskreten Optimierung ist der Entwurf effizienter Algorithmen für NP-harte, diskrete Optimierungsprobleme unter suboptimalen Paradigmen wie Randomisierung und Approximation.

Die Arbeitsbereiche in Kiel sind die Theorie der approximativen, randomisierten und derandomisierten Algorithmen, Algorithmen für Multicast-Netzwerke, die kombinatorische und analytische Diskrepanztheorie und Aspekte der kombinatorischen Spieltheorie.

### Ergebnisse

Die Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf den Entwurf von Algorithmen in der Kombinatorischen Optimierung und ihre Anwendung u.a. im Entwurf von Filtern/Filterbänken in Partitions und Färbungsproblemen in der Numerik. Die Themen sind:

- a) Färbung von Hypergraphen und kombinatorische Diskrepanztheorie
- b) Routingalgorithmen für Multicastnetzwerke, Netzwerkdesign und TSP-artige Probleme
- c) Schedulingalgorithmen und mehrdimensionale Packungsprobleme
- d) Multikriterielle Optimierung
- e) Anwendungen in der Numerik: Graphpartitionierung, Hypergraphenfärbung
- f) Anwendungen in der Elektrotechnik: Filter- und Filterbankentwurf

Zur Zeit werden zwei Dissertationen und fünf Postdoc-Projekte bearbeitet.

### Personal

Leiter: Prof. Dr. Anand Srivastav; Sekretariat: Gudrun Thiel

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Baltz, Andreas	1.1.01.-31.8.03	DFG	Entwurf effizienter Architekturen für Multicast-ATM-Netzwerke
Dr. Doerr, Benjamin	Seit 1.4.01	CAU	Kombinatorische Diskrepanztheorie
Dr. Gnewuch, Michael	1.10.02-31.3.03 ab 1.4.03	CAU DFG	Fourier-Analysis in der Diskreten Mathematik
Dr. Jäger, Gerold	1.10.01-30.9.02 1.10.-31.12.02	CAU DFG	Partitionsprobleme in Netzwerken
PD Dr. Schön, Tomasz	1.4.98-28.2.02	CAU	Kombinatorische Zahlentheorie
Dr. Ahuja, Nitin	1.9.99-31.8.02	DFG	Efficient Derandomization and Parallelization
Dipl. Math. Hebbinghaus, Nils	1.5.02-31.12.02	DFG	Diskrepanzen und lineare Codes
Dipl. Math. Werth, Sören	1.5.02-31.12.02	DFG	Multikriterielle Optimierung

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Graphentheorie, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche,

T. Schön, A. Srivastav (+B. Doerr)

Kombinatorische Optimierung I, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche,

A. Srivastav

Forschungsseminar Diskrete Mathematik, 2 Std. /Woche,

T. Schön, A. Srivastav

Seminar: Diskrete Optimierung, 2 Std. /Woche,

T. Schön, A. Srivastav

Oberseminar: Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. /Woche,

K. Jansen, A. Srivastav

*Sommer 2002*

Kombinatorische Optimierung II, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche,

A. Srivastav

Probabilistische Kombinatorik, 4(+2) Std. Vorlesung (+ Übungen) /Woche,

A. Srivastav, B. Doerr

Forschungsseminar Diskrete Mathematik, 2 Std. /Woche,

A. Srivastav, B. Doerr

Seminar: Algorithmen auf zufälligen Graphen und Quantencomputern, 2 Std. /Woche,

A. Srivastav

Oberseminar: Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. /Woche,

K. Jansen, A. Srivastav

*Winter 2002/2003*

Harmonische Analysis in der Diskreten Mathematik, 4(+2) Std. Vorlesung (+ Übungen) /Woche,

A. Srivastav

Kombinatorische Optimierung I, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche,

A. Srivastav (+M. Gnewuch und N. Hebbinghaus)

Spieltheorie, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche,

A. Srivastav, B. Doerr (+S. Werth)

Oberseminar: Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. /Woche,

K. Jansen, A. Srivastav

**Drittmittel**

DFG, Graduiertenkolleg *Effiziente Algorithmen und Mehrskalenmethoden.*, 01.04.1998-31.03.2004;  
in 2002: 3 Dissertationsprojekte und ein Postdoc-Projekt (148,7 kEUR)

DFG, *Projekt Entwurf effizienter Architekturen und Algorithmen für Multicast-ATM-Netzwerke* im  
Rahmen des *DFG-Schwerpunktes Algorithmik großer und komplexer Netzwerke*, 01.09.2001-  
31.08.2003 (122,9 kEUR)

DFG, Projekt *Struktur und Algorithmik kombinatorischer Diskrepanzen* bewilligt am 1.4.2002

**Diplom- und Master-Arbeiten**

M. Hahn, *Algorithmen für Datamining*, Diplomarbeit Informatik, 5/2001

- C. Richter, *Algorithmen für den Entwurf von FIR-Filtern bei kurzen Wortlängen*, Diplomarbeit Mathematik, 10/2002
- V. Sauerland, *Mathematische Optimierung im Design von Filterbänken*, Diplomarbeit Mathematik, 2/2003
- H. Schnieder, *Digital Halftoning through Non-Independent Randomized Roundingy*, Staatsexamen Gymnasium, 12/2002

### Veröffentlichungen

- N. Ahuja and A. Srivastav, *On constrained hypergraph coloring and scheduling*; in Proceedings of the fifth international workshop on approximation algorithms and combinatorial optimization, APPROX 2002, Lecture Notes in Computer Science **2462**, 14 - 25 (2002)
- N. Alon, B. Doerr, T. Luczak, and T. Schoen, *On the discrepancy of combinatorial rectangles*, Random Structures & Algorithms **21**, 205 - 215 (2002)
- A. Baltz, A. Srivastav, *Fast approximation of multicast congestion-implementation versus theory*, Berichtsreihe des Math. Seminars, Univ. Kiel, **10**, 12 Seiten, (2002)
- B. Doerr, *Antirandomizing the wrong game*, In P. Widmayer, F. Triguero, R. Moral es, M. Hennessy, S. Eidenbenz, and R. Conej o, editors, Proceedings of ICALP 2002, Lecture Notes in Computer Science **2380**, 876-887 (2002)
- B. Doerr, *Balanced coloring: Equally easy for all numbers of colors?* In H. Alt and A. Ferreira, editors, STACS 2002, Lecture Notes in Computer Science **2285**) 112-120 (2002)
- B. Doerr, *Discrepancy in different numbers of colors*, Discrete Mathematics **250**, 63-70 (2002)
- B. Doerr, *Typical rounding problems*, In K. Jansen, S. Leonardi, and V. Vazirani, editors, Proceedings of APPROX 2002, Lecture Notes in Computer Science **2462**, 81-93 (2002)
- B. Doerr and H. Schnieder, *Non-independent randomized rounding and an application to digital halftoning*, In R. Möhring and R. Raman, editors, Proceedings of ESA 2002, Lecture Notes in Computer Science **2461**, 399-410 (2002)
- C. Michel, H. Schroeter, A. Srivastav, *Approximation algorithms for pick-and-place robots*, Annals of Operation Research **107**, 321-333, (2002)
- N. Hebbinghaus, T. Schoen, A. Srivastav, *Tight discrepancy of hyperplanes in vector spaces*, Berichtsreihe des Math. Seminars, Univ. Kiel, **11**, 12 Seiten, (2002)

### Präsentationen

- N. Ahuja, *Hypergraph Färbungen ; Motivation und Resultate*, GEAM Workshop, Leck, Juni 2002
- N. Ahuja, *On Constrained Hypergraph Coloring and Scheduling*, APPROX, Rom, 21. September 2002
- A. Baltz, *Design of sparse communication networks*, GEAM Blockseminar, Leck, 19. Oktober 2002
- A. Baltz, *Multicast communication: Network design*, ZiF Workshop, Bielefeld, 30. Oktober 2002
- B. Doerr, *Tenure Games*, Dagstuhl-Seminar No. 02081 on Algorithmic Combinatorial Game Theory, Dagstuhl, 19.02.2002
- B. Doerr, *Discrepancy Theory*, Mini Symposium on Theoretical Computer Science, ETH Zuerich, 1.3.2002
- B. Doerr, *Balanced Coloring: Equally Easy for all Numbers of Colors?*, STACS '02, Antibes, France, 15.3.2002
- B. Doerr, *Discrepancy Theory and Digital Halftoningy*, Oberseminar Gruppe Monin, Paderborn, 27.5.2002

- B. Doerr, *Antirandomizing the Wrong Game*, ICALP '02, Malaga, Spanien, 10.7.2002  
B. Doerr, *Discrepancy Theory and Digital Halftoning*, MPI Saarbrücken, 19.8.2002  
B. Doerr, *Non-independent Randomized Rounding and an Application to Digital Halftoning*, ESA '02, Rom, Italien, 19.9.2002  
B. Doerr, *Typical Rounding Problems*, APPROX '02, Rom, Italien, 20.9.2002  
B. Doerr, *Multi-Colour Discrepancy*, Diskrete Mathematik '02, Dresden, 3.10.2002  
G. Jäger, *Graphenpartitionierung bei der Generierung von Clusterbäumen*, GEAM Workshop, Leck, 15.6.2002  
A. Srivastav, *Positive Discrepancy of Vector Spaces*, ETH Zürich, Switzerland, 29.1.2002  
A. Srivastav, *Randomized Algorithms*, DE I Universität Agra, Indien, Science Faculty, 22.2.2002  
A. Srivastav, *Linear Codes and Discrepancy*, Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften, Leipzig, 3.4.2002  
A. Srivastav, *Approximation Algorithms for Minimum Multicast Congestion*, Dagstuhl Seminar "Approximation and Randomization Algorithms in Communication Networks", Dagstuhl, 18.6.2002  
A. Srivastav, *Design and Analysis of Multicast Networks*, Workshop of the DFG-Research Cluster "Large and Complex Networks", Konstanz, 23.7.2002  
A. Srivastav, *Approximation Algorithms for Coloring Problems*, DE I Universität Agra, Indien, Science Faculty, 5.9.2002  
A. Srivastav, *Approximation Algorithms for Multicast Networks*, ZiF, University of Bielefeld, Bielefeld, 19.10.2002  
A. Srivastav, Multicast Networks – Algorithms and Design, Appol II-Workshop, Kath. Universität Leuven, Belgien, 9.11.2002

### **Organisation von Tagungen**

Prof. Dr. A. Srivastav:

Workshops des Graduiertenkollegs 357 "Efficient Algorithms and Multiscale Methods", Juni 2002, Leck.

Blockseminar "Optimization in Hypergraphs", Oktober 2002, Leck.

Dr. B. Doerr:

Programmkomitee "Symposium on Discrete Algorithms", SODA 2002, Januar 2002, San Francisco.

## Lehrstuhl/Professur für Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme

Prof. Dr. Reinhard von Hanxleden

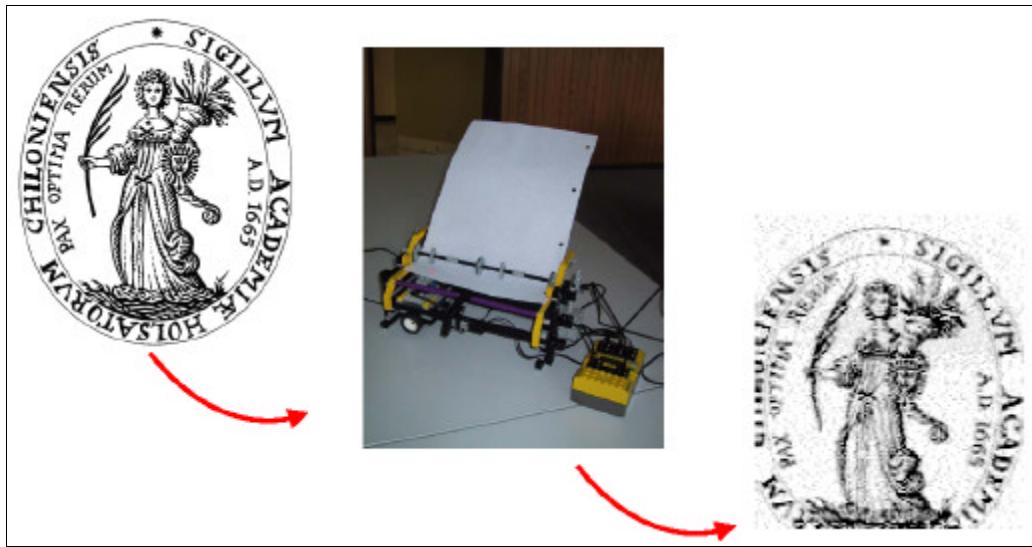
Unser Forschungsinteresse ist der systematische Entwurf und die Analyse von Computern, welche nicht in erster Linie als Computer wahrgenommen werden. Dies ist eine Definition für *eingebettete Systeme* – welche uns auf vielfältigste Art und Weise begegnen, von miniaturisierten Hörgeräten über Röntgengeräte, Handys, Airbag-Controller, ABS-Bremsen bis zu Fly-by-Wire Flugzeugen. Solche Systeme müssen typischerweise nicht nur die richtigen Ausgaben an die Umwelt liefern, sondern dies auch rechtzeitig tun – es handelt sich hierbei also um *Echtzeitsysteme*.

Auch wenn die Anzahl eingebetteter Echtzeitsysteme inzwischen deutlich die der "klassischen" Computer übersteigt, ist dies aus Sicht der Informatik ein noch relativ junges Themengebiet. In der Vergangenheit wurden solche Systeme weitgehend von Anwendungsexperten ohne ausgeprägte Informatikgrundlagen entwickelt, welches sich aber aufgrund der ansteigenden Komplexität der zu entwickelnden Systeme als immer weniger praktikabel erweist. An der Christian-Albrechts-Universität wurde der Lehrstuhl für Echtzeitsysteme und Eingebettete Systeme 2001 erstmalig besetzt; der Stelleninhaber war vorher in der Industrie (DaimlerChrysler/Airbus) tätig. Das Jahr 2002 war noch stark vom Aufbau des Lehrstuhls und des Lehrangebots geprägt.

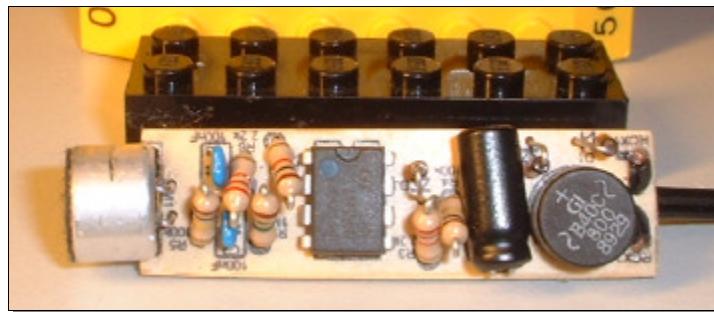
### Ergebnisse

Das Gebiet der Echtzeitsysteme umfasst ein weites Spektrum von theoretischen zu sehr praktischen Fragestellungen. Um auch letzteres für die Studenten nachvollziehbar und erlebbar zu machen, wurde eine Reihe von vorlesungsbegleitenden Aufgabenstellungen entwickelt, in denen ein Echtzeitsystem nicht nur analysiert und simuliert, sondern auch konkret implementiert werden soll. Eine Plattform, welche sehr vielfältig einsetzbar ist und generell auch bei den Studenten auf gute Resonanz trifft, ist das Lego Mindstorms Robotersystem, welches auf einem Hitachi H8 Microcontroller basiert (siehe Abb. 1 und 2). Für dieses System gibt es inzwischen eine Vielzahl von Programmierplattformen; wir setzen hier die Programmiersprachen C und Java sowie die Modellierungswerzeuge Matlab/Simulink und Esterel Studio ein. So werden anhand konkreter Systeme nicht nur die Grundlagen der Echtzeitprogrammierung und des Cross-Developments eingebetteter Systeme vermittelt, sondern auch die modellbasierte, durchgängige Systementwicklung (incl. Grundlagen modellbasierter Code-Synthese) und die synchrone Programmierung reaktiver Systeme vermittelt.

Laufende Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die modellbasierte Entwicklung eingebetteter Echtzeitsysteme. Ein Schwerpunkt dabei ist die Codesynthese, in welcher aus einem funktionalem Modell des System-under-Development (SUD) sowie möglicherweise auch seiner Umgebung automatisch Code für das SUD erzeugt werden soll. So möchte man zum Beispiel aus einem Matlab/Simulink-Modell ein C-Programm erzeugen, welches dann schließlich in Maschinensprache übersetzt wird. Prinzipiell ist die Codesynthese unproblematisch, und wird auch bereits für kommerzielle Werkzeuge unterstützt; jedoch ist der resultierende Code hierbei typischerweise deutlich langsamer und auch größer als ein vergleichbares, handgeschriebenes Programm. Weitere Aspekte sind die Analysierbarkeit in Bezug auf Korrektheit und Ausführungszeit des synthetisierten Codes oder auch die Zertifizierbarkeit, z.B. für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt oder im medizinischen Bereich.



**Abb. 1:** Dieser Scanner (Auflösung ca. 18dpi) entstand im Rahmen der Übungen zur Vorlesung Echtzeitsysteme. Die Zuordnung der vom Lichtsensor gelieferten Hell-Dunkel-Werte zu den Koordinaten auf dem Papier anhand des zeitlichen Verlaufs stellt ein typisches Echtzeitproblem dar.



**Abb. 2:** Eine Schaltung, welche im Rahmen einer Studienarbeit zur Ultraschall/Infrarot-basierten Positionsbestimmung für den Mindstorms RCX entstand (Stephan Höhrmann)

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt, welcher auf die Unterstützung des modellbasierten Entwurfs an sich abzielt, ist die Entwicklung intelligenter Modelleeditoren, welche vorgegebene Entwurfsrichtlinien automatisch überprüfen und beim graphischen Layout unterstützen. Im Gegensatz zu den typischerweise textuellen Programmiersprachen sind Modellierungssprachen häufig graphisch; graphische Systemmodelle sind erfahrungsgemäß schnell zu erfassen, aber mit den gängigen Editoren mühsam zu erstellen. Insbesondere wenn Modelle komplexer werden oder bestehende Modelle modifiziert werden sollen ist der Entwickler zunehmend mit reiner Eingabe- und Layout-Tätigkeit beschäftigt, soll der Vorteil der Lesbarkeit nicht gänzlich verloren gehen. Die Definition von gut lesbaren „graphischen Normalformen“ für Systemmodelle und deren automatisierte Umsetzung für gegebene Modelle verspricht hier für die Entwicklung realer, komplexer Systeme einen erheblichen Gewinn an Entwicklungszeit und Qualität.

**Personal**

Leiter: Prof. Dr. Reinhard von Hanxleden; Sekretariat: Ruth Gerti Rosenfeld

**Technisches Personal: Isabella Cembrowski**

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Lukoschus, Jan 1.1.-31.12.02 CAU Modellierung eingebetteter Systeme

Dipl.-Phys. Stengel, 1.1.-31.12.02 CAU Simulation eines Magnet-Resonanz-Tomographen zur Validierung von MRT-Sequenzen  
Alwin

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Verteilte Echtzeitsysteme, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. v. Hanxleden

Compilerbau für eingebettete Systeme, 2 Std. Seminar/Woche

R. v. Hanxleden

Entwurf eingebetteter Echzeitsysteme, 4 Std. Praktikum/Woche

J. Lukoschus (+ M. Steffen (Lehrstuhl für Softwaretechnologie))

*Sommer 2002*

Programmierung von Echtzeitsystemen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. v. Hanxleden (+ A. Stengel)

Synchrone Sprachen und Modellierungswerkzeuge, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. v. Hanxleden + W.-P. de Roever (Lehrstuhl für Softwaretechnologie) (+ J. Lukoschus, M. Steffen (Lehrstuhl für Softwaretechnologie))

Modelleisenbahnpraktikum, 4 Std. Praktikum/Woche

J. Lukoschus (+ A. Stengel)

Programmiersprachen für eingebettete Systeme und Echtzeitsysteme, 2 Std. Seminar/Woche,

R. v. Hanxleden, M. Hanus, K. Höppner (Lehrstuhl für Programmiersprachen und Übersetzerkonstruktion)

*Winter 2002/2003*

Informatik für Ingenieure I mit Rechnerübungen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

R. v. Hanxleden (+ J. Lukoschus + A. Stengel)

Echtzeitsysteme I, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

R. v. Hanxleden (+ A. Stengel)

Analyse von Programmausführungszeiten, 2 Std. Seminar/Woche

R. v. Hanxleden

Entwurf eingebetteter Echzeitsysteme, 4 Std. Praktikum/Woche

J. Lukoschus + (M. Steffen (Lehrstuhl für Softwaretechnologie))

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche

R. v. Hanxleden

**Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Zusammenarbeit mit der Charité Berlin, Campus Virchow Klinikum, Institut für Radiologie (Prof.

Felix/Dr. Venz), zum Thema Magnetresonanz-Tomographie

Konsultationen mit der Philips Medical Systems GmbH, Hamburg

## Präsentationen

R. v. Hanxleden, *Eingebettete Systeme – Risiken, Nebenwirkungen, und Hoffnungsschimmer*, sd&m  
Workshop zu Embedded Systems/.net und WebServices, Bitburg, 6.9.2002

## Andere Aktivitäten und Ereignisse

Exkursion zur Airbus Deutschland GmbH, Hamburg (15.2.2002, siehe Abb. 3)

Exkursion zur Philips Medical Systems GmbH, Hamburg (11.7.2002)

Tätigkeit als Vertrauensdozent für das DaimlerChrysler Stipendiatenprogramm (2002:

Neuaufnahme von zwei Stipendiaten der CAU)



**Abb 3:** Auf dem Airbus-Werksgelände in Hamburg/Finkenwerder

## Lehrstuhl für Kognitive Systeme

Prof. Dr. Gerald Sommer

Die Schwerpunkte der Forschung der Arbeitsgruppe Kognitive Systeme werden durch den Entwurf lernfähiger Systemarchitekturen für visuelle Wahrnehmung und Handlung sowie durch die Einbettung des Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus in die geometrische oder Clifford-Algebra gebildet. In der Arbeitsgruppe wurden im Jahre 2001 zwei Projektvorschläge zur Förderung durch die EU ausgearbeitet. Das von einem Konsortium von sechs europäischen Arbeitsgruppen entworfene Projekt ROBUST wurde leider abgelehnt. Glücklicherweise waren wir mit dem Projekt VISATEC erfolgreich. Dieses von Kiel koordinierte Projekt bildet den Rahmen für eine wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der Universität Linköping, Schweden. Diese Zusammenarbeit wird unterstützt durch M. Felsberg, der nach seiner sehr erfolgreichen Dissertation eine von der DFG geförderte Postdoc-Stelle in Linköping antrat. Die Arbeiten zur algebraischen Einbettung des Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus wurden gefördert durch das Graduiertenkolleg GEAM, die Studienstiftung des deutschen Volkes und durch Landesmittel. Im Verlaufe des Forschungsfreisemesters von Prof. Sommer wurde ein Fortsetzungsantrag bei der DFG zur Förderung beantragt. Bedauerlicherweise mußte der Doktorant Yiwen Zhang, dessen Förderung durch GEAM zum Jahresende auslief, sein Dissertationsvorhaben wegen Krankheit beenden und in die Heimat zurückkehren. Wir sind hingegen sehr glücklich über die Fortsetzung der wissenschaftlichen Kooperation mit W. Yu, der nach seiner sehr erfolgreichen Dissertation an die Yale University wechselte.

### Ergebnisse

Die Arbeitsgruppe Kognitive Systeme blickt auf ein erfolgreiches Jahr zurück. Es konnten zwei Promotionen und acht Diplomarbeiten abgeschlossen werden. Die von K. Neckels eingereichte Dissertation konnte wegen Erkrankung nicht im Berichtszeitraum verteidigt werden. Es wurde im Rahmen des Graduiertenkollegs GEAM ein sehr erfolgreiches Seminar gemeinsam mit Prof. Betten, Math. Seminar, durchgeführt. Hierfür wurden eine Reihe interessanter Referenten aus dem Ausland und aus Deutschland eingeladen. Außerdem organisierten wir einen einwöchigen Track einer großen internationalen Tagung in Tennessee.

Die Forschungsarbeiten zum Entwurf einer lernfähigen Architektur für visuelle Wahrnehmung und Handlung innerhalb des Projektes VISATEC konzentrierten sich auf Abstimmungsprobleme innerhalb des Konsortiums und auf das Bereitstellen einer geeigneten Struktur für Softwareschnittstellen. Hierzu wurde ein Bibliothekssystem mit dem Namen PACLib entwickelt. Das Kürzel "PACLib" steht für Perception-Action-Components Library, was zum Ausdruck bringen soll, dass diese Bibliothek aus Komponenten zum Programmieren eines Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklusses besteht. Ähnlich wie in CORBA oder COM ist hier die Funktionalität von Objekten abstrakt beschrieben, so dass ein Programm implementationsunabhängig auf Funktionalitäten zugreifen kann. Dies soll es insbesondere erlauben, adaptive und selbst-adaptierende Systeme im Bereich der kognitiven Systeme zu entwickeln (siehe auch [www.ks.informatik.uni-kiel.de/~paclib](http://www.ks.informatik.uni-kiel.de/~paclib)).

Diese von Ch. Perwass koordinierten Arbeiten wurden durch weitere Entwicklungen auf dem Gebiet des Software-Engineering ergänzt. Unter der Bezeichnung CLU Library wurde ein System zur Visualisierung von Operationen über Entitäten der Clifford-Algebra entwickelt, welches auch auf zwei internationalen Konferenzen über Clifford Algebra mit sehr guter Resonanz vorgestellt

wurde. Die Software steht zum freien Download auf der Webseite [www.perwass.de](http://www.perwass.de) zur Verfügung. Dieses System findet nicht nur Einsatz in der Lehre, sondern erleichtert auch wesentlich die Forschungsarbeiten. In zwei Studentenprojekten wurde die Implementierung von Operationen der Clifford-Algebra bzw. ein Matching-Algorithmus für Stereobilder auf einem FPGA implementiert. Zielstellung dieser Arbeiten ist es, die Eignung der FPGA-Architektur zur Unterstützung echtzeitkritischer Operationen im Robotvision-Labor zu entscheiden. Der Matching-Algorithmus wurde im Berichtszeitraum neu entwickelt. Er ist den stochastischen Relaxationsverfahren zuzuordnen. Interessant ist seine Robustheit bezüglich fehlender Matches. In der von M. Felsberg vorgelegten Dissertationsschrift wurde ein neuer Zugang für die lokale spektrale Analyse von Bildsignalen gelegt, der von weitreichender theoretischer Bedeutung ist und für den Entwurf von Bildverarbeitungsoperatoren von größter Bedeutung sein wird. Wie bei T. Bülow in der 1999 vorgelegten Dissertationsschrift wird auch hier zur Repräsentation von 2D-Signalen eine Clifford-wertige Repräsentation verwendet. Es wurde aber eine Verallgemeinerung der im Rahmen der komplexen Analysis bekannten holomorphen Erweiterung reellwertiger 1D-Signale vorgenommen. Um reellwertige 2D-Signale mit der intrinsischen Dimension eins lokal spektral charakterisieren zu können, ist die komplexe Analysis durch eine geeignete Clifford-Analysis zu ersetzen. Anstelle der holomorphen Erweiterung erfolgt hier eine monogene Erweiterung in eine Clifford-wertige Repräsentation. Die in der Signaltheorie bekannte Hilberttransformation, welche die holomorphe Erweiterung realisiert, wird durch die Riesztransformation ersetzt. Das monogene Signal besteht aus der reellwertigen und zwei imaginären Komponenten des Signals. Im Vergleich zu einem komplexwertigen lokalen Signal (analytisches Signal) liefert das monogene Signal nicht nur die lokale Amplitude und die lokale Phase, sondern auch die lokale Orientierung eines intrinsischen 1D-Signals. Das heißt, daß die in der Arbeitsgruppe in den letzten Jahren durchgeführten Arbeiten zur effizienten Steuerung der Orientierung (Entwurf steuerbarer Filter) durch diese adäquate Einbettung ersetzt wurden und damit das Problem der Orientierungssteuerung theoretisch sauber gelöst ist. Gleichzeitig ist damit der Entwurf isotroper ungerader Filter erstmalig gelöst. Durch Superposition der monogenen Repräsentation lassen sich modelbasiert intrinsisch zweidimensionale Signaldetektoren entwerfen. So wurde ein Paar senkrecht zueinander orientierter 1D-Signale als Prototyp für 2D-Signale untersucht. Der Filtersatz dieser Struktur liefert sieben Merkmale, die lokale Eigenschaften von intrinsisch 1D- und 2D-Signalen beschreiben. Weil seine Komponenten Multivektoren vom Grade 0, 1 und 2 sind, wird dieser Merkmalsvektor Strukturmultivektor genannt. Ein weiteres, theoretisch sehr wichtiges Resultat ist der Nachweis, daß der Poisson-Skalenraum eine echte Alternative zum bisher bekannten Gauß-Skalenraum ist. Die 1956 von Iijima aufgestellten Skalenraumtheoreme sind insofern fehlerhaft, als auch der Poisson-Skalenraum gewisse für die Bildanalyse günstige Eigenschaften aufweist. Der Poisson-Skalenraum wird natürlicherweise sowohl in der analytischen als auch in der monogenen Signalrepräsentation erhalten. Er erweist sich als der für phasenbasierte Bildanalyse adäquate Skalenraum.

Die von S. Buchholz begonnenen Arbeiten zur algebraischen Einbettung neuroinformatischer Berechnungen wurden von V. Banarer fortgesetzt. Es gelang ihm, das Perzeptron in die konforme geometrische Algebra einzubetten und ein Neuron zu entwickeln, dessen lineare Entscheidungsgrenzen im euklidischen Raum Hypersphären sind. Da die Hyperebene des klassischen Perzeptrons ein Spezialfall der Hypersphäre ist, generalisiert das neuartige Neuron das Perzeptron.

Im Rahmen seines Dissertationsprojektes knüpfte Y. Kassahun an die Arbeiten von G. Hailu an. In einer Studie untersuchte Herr Kassahun das Lernen der Navigation eines Agenten in einem Labyrinth und die Adaption des Gelernten an neue Situationen. Dabei verglich er verschiedene

neuronale Netze, Reinforcementlernen und evolutionäre Algorithmen erwiesen sich einschließlich ihrer Kombinationen. Hybride von Lernen und evolutionären Algorithmen am effizientesten. Außerdem konnte gezeigt werden, daß es einfacher ist, eine optimale Politik zu lernen als ein Model der Umgebung.

Schließlich setzte B. Rosenhahn sein Dissertationsprojekt zur Poseschätzung sehr erfolgreich fort. Die Poseschätzung eines 2D-Objektmodells durch Beobachtung von 2D-Bilddaten wird in die Algebra der konformen Geometrie eingebettet. Dies hat folgende Vorteile gegenüber der von uns in der Vergangenheit verwendeten Motoralgebra. Erstens kann eine Stratifikation von euklidischer, projektiver und affiner Geometrie genutzt werden, um die beobachteten Merkmale wahlweise unter den Aspekten dieser Geometrien zu behandeln. Dies hat seine Ursache darin, daß zur Modellierung der konformen Geometrie eine homogen erweiterte Zentralprojektion verwendet wird. Der dem euklidischen 3D-Raum entsprechende konforme Vektorraum ist fünfdimensional. Zweitens kann die Menge geometrischer Objektmerkmale in einfacher Weise auf Kugeln, Kreise und Ebenen erweitert werden, weil sich alle Merkmale als Spezialfälle von Kugeln, den Basisentitäten der konformen Geometrie, darstellen. Die Elemente der euklidischen Transformationsgruppe beschreiben, wie auch in der Motoralgebra, Schraubenbewegungen und werden auch hier als Motoren bezeichnet. Sie bilden eine Untergruppe der konformen Gruppe. Wir repräsentieren die Motoren als Exponentialformen der Lie-Generatoren dieser Gruppe. Diese Generatoren werden Twists genannt. Sie repräsentieren eine Achse im Raum, um die eine allgemeine Rotation stattfindet. Tatsächlich werden die Parameter der Twists geschätzt. Die hiermit verbundene Linearisierung der Schätzaufgabe führt zu sehr effizienten Algorithmen, die Video-Echtzeit erlauben. In einfacher Weise lässt sich diese Motorrepräsentation auf verkoppelte Motoren kinematischer Ketten ausweiten. Darauf hinaus wurden verkoppelte Twists als Generatoren algebraischer Kurven eingesetzt. In der konformen Geometrie werden die Schätzungen der Bewegung dieser Merkmale in gleicher einfacher Weise realisiert wie die Schätzung der Bewegung von Punkten im homogen erweiterten euklidischen Raum.

Schließlich konnte die Poseschätzung auf den Fall deformierbarer 3D-Freiformkurven erweitert werden. Dies wird dadurch möglich, daß Freiformkurven als Orbits der Bewegung eines Punktes unter der Wirkung einer Menge verkoppelter Twists und seiner Fourierrepräsentation interpretiert wurden. Das heißt, hier wird eine Brücke geschlagen zwischen der operationalen Definition von Gestalt mittels verkoppelter Generatoren der Lie-Algebra und der signaltheoretischen Repräsentation von Gestalt mittels Fourierkoeffizienten. Dieser völlig neuartige Zugang für die Grafik von Freiformkurven wird wegen seiner Effizienz und Modellierungskraft Auswirkungen auch auf computergraphische Animationen haben.

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Gerald Sommer; Sekretariat: Francoise Maillard

Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Gerd Diesner, Dipl.-Ing. (FH) Henrik Schmidt

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Banarer, Vladimir	1.1.-31.3.02 15.4.-31.12.02	GEAM CAU	CLNEUR CLNEUR
Dipl.-Inf. Granert, Oliver	15.4.-31.12.02	EU	VISATEC
Dr. Hailu, Getachew	1.1.-31.3.02	CAU	LERNROB
M.Sc. Kassahun, Yohannes	1.4.-31.12.02	DAAD	LERNROB
Dipl.-Phys. Kukulenz, Dirk	1.1.-31.3.02	CAU	WAGENT

Dipl.-Phys. Krause, Martin	1.5.02-31.12.02	EU	VISATEC
Dipl.-Math. Neckels, Kai	1.1.-31.03.02	GEAM	WAVELET
PD Dr. Pauli, Josef	1.1.-31.8.02	CAU	LERNMAN
Dr. Perwass, Christian	1.1.-31.12.02	CAU	CGAFPGA
Dipl.-Inf. Rosenhahn, Bodo	1.1.-31.12.02	CAU	CGAPOSE

### **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

#### *Winter 2001/2002*

Agenten- und komponentenbasierte Systementwicklung, 4(+4) Std. Vorlesung  
 (+Praktikum)/Woche,

J. Pauli

Geometrische Algebra und ihre Anwendung in Computer Vision, 2(+2) Std. Vorlesung  
 (+Übungen)/Woche,

C. Perwass

Neuroinformatik, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 G. Sommer (+ G. Hailu)

Signaltheoretische Grundlagen der Bildverarbeitung, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 G. Sommer (+ V. Banarer)

Übungen zu Computer Vision II, 4 Std. Fortgeschrittenen-Praktikum/Woche  
 G. Sommer (+ B. Rosenhahn)

Kognitive Systeme, 2 Std. Oberseminar/Woche  
 G. Sommer

#### *Sommer 2002*

Computer Vision II, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
 G. Sommer (+ V. Banarer)

Geometrie und Algebra in Computer Vision, 2 Std. Seminar/Woche,  
 G. Sommer und D. Betten

Autonome Robotersysteme, 4(+2) Std. (+Übungen)/Woche,  
 J. Pauli

Computer Vision I, 4 Std. Praktikum/Woche  
 C. Perwass

Fortgeschrittenenpraktikum C++, 4 Std. Praktikum/Woche  
 C. Perwass

Übungen zu Computer Vision II (Fortgeschrittenen-Praktikum), 4 Std./Woche  
 G. Sommer (+ B. Rosenhahn)

Kognitive Vision Systeme, 2 Std. Seminar/Woche  
 G. Sommer (+ B. Rosenhahn)

Kognitive Systeme, 2 Std. Oberseminar/Woche  
 G. Sommer

#### *Winter 2002/2003*

Grundlagen der Bildverarbeitung in Computer Vision, 4(+ 2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche  
 C. Perwass (+ V. Banarer)

Übungen zu Computer Vision und Robotik (Fortgeschrittenen-Praktikum), 4 Std./Woche

C. Perwass  
 Kognitive Systeme, 2 Std. Oberseminar/Woche  
 B. Rosenhahn

### **Drittmittel**

EU-Projekt VISATEC (989,7 kEUR, davon für Kiel 486,0 kEUR)  
 DAAD-Projekt LERNROB (6,8 kEUR)  
 GEAM-Projekt CLNEUR (3,6 kEUR)  
 GEAM-Projekt WAVELET (3,1 kEUR)

### **Diplom- und Master-Arbeiten**

Kord Ehmcke, *Exploration von Objekten mittels eines haptischen Sensors*, 10.10.02  
 Thomas Jaeger, *Interaktion verschiedener visueller Modalitäten zur stabilen Extraktion von Objektrepräsentationen*, 10.10.02  
 Martin Poerkens, *3D Objektrepräsentation basierend auf dem Strukturvektor*, 9.10.02  
 Walter Loeser, *Ein Beitrag zum Vergleich von Radialen-Basisfunktions-Netzen und Support-Vektor-Maschinen*, 12.03.02  
 Oliver Granert, *Poseschätzung kinematischer Ketten*, 10.06.02  
 Andreas Bunten, *Ein autonomes Robotersystem zum Folgen einer Person*, 15.05.02  
 Lars Kitzer, *Object Recognition using Invariant Pixel-Set*, 19.04.02  
 Daniel Grest, *Ein System zur visuellen landmarkenbasierten Roboternavigation*, 06.02.02

### **Dissertationen**

Dipl.-Phys. Dirk Kukulenz, *A Software Agent for Adaptive Navigation Support in a Restricted Internet Area*, 2002  
 Dipl.-Ing. Michael Felsberg, *Low-Level Image Processing with the Structure Multivector*, 2002

### **Veröffentlichungen**

E. Bayro-Corrochano and B. Rosenhahn, *A geometric approach for the analysis and computation of the intrinsic camera parameters*, Pattern Recognition, **35**, 169-186 (2002)  
 M. Felsberg and G. Sommer, *Image features based on a new approach to 2D rotation invariant quadrature filters*, ECCV02, Copenhagen, LNCS, **2350**, 369-383, (2002)  
 M. Felsberg and G. Sommer, *The Poisson Scale-Space: A Unified Approach to Phase-Based Image Processing in Scale-Space*, Technical Report TR LitH-ISY-R-2453, Linköping University, Computer Vision Laboratory, Dept. of Electrical Engineering, (2002)  
 M. Felsberg, *Low-Level Image Processing with the Structure Multivector*, Doktorarbeit, Technical Report TR 0203, Inst. f. Informatik u. Prakt. Math. der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, (2002)  
 M. Felsberg and G. Sommer, *The Poisson Scale-Space: A Unified Approach to Phase-Based Image Processing in Scale-Space*, Technical Report TR 0208, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Informatik und Praktische Mathematik, (2002)  
 M. Felsberg and G. Sommer, *The structure multivector*, Proc. AGACSE 2001, Cambridge, UK, 437-446, (2002)  
 N. Krueger, M. Ackermann and G. Sommer, *Accumulation of object representations utilising interaction of robot action and perception*, Knowledge-Based Systems, **15**, 111-118 (2002)

- V. Krueger and G. Sommer, *Gabor wavelet networks for efficient head pose estimation*, Image and Vision Computing, **20**, 665-672 (2002)
- V. Krueger and G. Sommer, *Gabor wavelet networks for object representation*, Journal of the Optical Society of America (JOSA), accepted (2002)
- D. Kukulenz, *Prediction of Navigation Profiles in a Distributed Internet Environment through Learning of Graph Distributions*, LNCS **2347**, 233-241, (2002)
- D. Kukulenz and J. Pauli, *Prediction of navigation profiles in a distributed Internet environment through learning of graph distributions*, Int. Journal of Computational Intelligence and Applications, **2**, no. 3, 303-312, (2002)
- D. Kukulenz, *A Software Agent for Adaptive Navigation Support in a Restricted Internet Area*, Doktorarbeit, Technical Report TR 0211, Inst. f. Informatik u. Prakt. Math. der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, (2002)
- D. Kukulenz and J. Pauli, *A software agent for adaptive visualization of hyperspace based on clustering of navigation graphs*, Proc. IASTED Int. Conf. Applied Informatics, Innsbruck, Austria, 248-253, (2002)
- J. Pauli and G. Sommer, *Perceptual organization with image formation compatibilities*, Pattern Recognition Letters, **23**, 803-817 (2002)
- C. Perwass, C. Gebken and G. Sommer, *Implementation of a Clifford algebra co-processor design on a field programmable gate array*, The 6th International Conference on Clifford Algebras, Cookeville, Tennessee, to appear, (2002)
- C. Perwass and G. Sommer, *Dense Image Point Matching through Propagation of Local Constraints*, Technical Report TR 0205, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Informatik und Praktische Mathematik, (2002)
- C. Perwass and G. Sommer, *Numerical evaluation of versors with Clifford algebra*, Proc. AGACSE 2001, Cambridge, UK, 341-349, (2002)
- B. Rosenhahn, C. Perwass and G. Sommer, *Pose estimation of 3D free-form contours in conformal geometry*, Proc. of Image and Vision Computing, IVCNZ, Auckland, 29-34, (2002)
- B. Rosenhahn, C. Perwass and G. Sommer, *Free-form pose estimation by using twist representations*, Algorithmica, to appear, (2002)
- B. Rosenhahn and G. Sommer, *Adaptive pose estimation for different corresponding entities*. 24. Symposium für Mustererkennung, Zürich, LNCS, **2449**, 265-273, (2002)
- B. Rosenhahn and G. Sommer, *Pose estimation of cycloidal curves by using twist representations*. Proc. 6th Int. Conf. on Clifford Algebras and Applications, Cookeville, TN, to appear, (2002)
- B. Rosenhahn and G. Sommer, *Pose Estimation in Conformal Geometric Algebra, Part I: The Stratification of Mathematical Spaces, PartII: Real-time Pose Estimation using Extended Feature Concepts*, Technical Report TR 0206, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Informatik und Praktische Mathematik, (2002)
- B. Rosenhahn, C. Perwass and G. Sommer, *Pose Estimation of 3D Free-form Contours*, Technical Report TR 0207, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Informatik und Praktische Mathematik, (2002)
- B. Rosenhahn, O. Granert and G. Sommer, *Monocular pose estimation of kinematic chains*. Proc. AGACSE 2001, Cambridge, UK, 373-375, (2002)
- W. Yu, G. Sommer and S. Beauchemin and K. Daniilidis, *Oriented Structure of the Occlusion Distortion: Is It Reliable?*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **24** (9), 1286-1290 (2002)

## Präsentationen

- M. Felsberg und G. Sommer, *Image Features Based on a New Approach to 2D Rotation Invariant Quadrature Filters*, ECCV Kopenhagen, 28. - 31.05.2002
- C. Perwass und G. Sommer, *Implementation of a Clifford Algebra Co-Processor*, The 6th International Conference on Clifford Algebras, Cookeville, Tennessee, 20.-25.05.2002
- C. Perwass und G. Sommer, *The CLU-Project*, The 6th International Conference on Clifford Algebra, Cookeville, Tennessee, 20. - 25.05.2002
- C. Perwass, *Introduction to Conformal Clifford Algebra*, Workshop Image and Vision Sciences, Schloss Dagstuhl, 07. - 10.10.2002
- C. Perwass, *Visualization of Clifford Algebra*, IMA: Applications of Geometric Algebra, Cambridge, UK, 05. - 06.09.2002
- C. Perwass. *An iterative Bayesian technique for dense image point matching*, Workshop Dynamic Perception, Bochum, 13. - 15.11.2002
- B. Rosenhahn, C. Perwass und G. Sommer, *Pose estimation of cycloidal curves by using twist representations*, The 6th Int. Conference on Clifford Algebras and Applications, Cookeville, TN, 20. - 25.05. 2002
- B. Rosenhahn, C. Perwass und G. Sommer, *Contour based free-form pose estimation*, IMA: Applications of Geometric Algebra, Cambridge, UK, 05. - 06.09.2002
- B. Rosenhahn und G. Sommer, *Adaptive Pose Estimation for Different Corresponding Entities*. 24th DAGM Symposium, Zuerich, 16. - 18.09.2002,
- B. Rosenhahn and G. Sommer, *Pose estimation of 3D free-form contours in conformal geometry*, Image and Vision Computing, Auckland, New Zealand, 26. - 28.11.2002
- G. Sommer, *Generalizations in Computer Vision*, Int. Workshop Theoretical Foundations of Computer Vision - Geometry, Morphology, and Computational Imaging, Schloß Dagstuhl, 08. - 12.04.2002
- G. Sommer, *Clifford-Algebra als Modellierungssprache für den Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus*, Kolloquium, Institut für Informatik, Universität Bonn, 22.04.2002
- M. Felsberg and G. Sommer, *Phase estimation in 2D signals with the structure multivector*, The 6th International Conference on Clifford Algebras, Cookeville, Tennessee, 20. - 25.05.2002
- G. Sommer, *State Report - The Embedding of the Perception-Action Cycle into Geometric Algebra*, IMA: Applications of Geometric Algebra, Cambridge, UK, 05. - 06.09.2002
- G. Sommer, *Pose Estimation of 3D Free-form Contours in Conformal-Geometry*, PRISM Seminar, Computer Science Institute, State University of Arizona, Tempe, AZ, 07.11.2002
- G. Sommer, *Embedding the Perception-Action Cycle into Geometric Algebra*, Center for Image Technologies and Robotics, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 09.12.2002

## Andere Aktivitäten und Ereignisse

Die Arbeitsgruppe Kognitive Systeme ist seit April 2002 Mitglied des europäischen Konsortiums ECVision, das sich der Beförderung von Aktivitäten zur Entwicklung kognitiver Visionssysteme widmet. Es wurde ein HBFG-Antrag zur Ersatzbeschaffung für das Robotiklabor gestellt. Die Beschaffung umfaßt Rechentechnik, Robotertechnik und Kameras.

Es wurde ein Antrag bei der DFG zur Förderung des Nachfolgeprojektes "Clifford-Algebra als Einbettungsrahmen des Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus" gestellt. Außerdem arbeitete Prof.

Sommer mit an der Ausarbeitung eines Antrages zur Förderung eines Schwerpunktprogrammes bei der DFG mit dem Titel "Digitale Ebenbilder".

Prof. Sommer ist als stellvertretender Sprecher des Technischen Kommittees der DAGM tätig. Er organisierte als Co-Chair den Application-Track der 6th Int. Conf. on Clifford Algebras and Applications in Cookeville, Tennessee.

Prof. Sommer ist als Mitglied des Editorial Boards des Int. Journals of Image and Graphics und als Mitglied des Advisory Boards von Machine Graphics & Vision tätig.

Wir freuen uns, daß PD Dr. J. Pauli im September 2002 die verantwortungsvolle Stelle als Abteilungsleiter für Erkennungssysteme am Fraunhoferinstitut IITB Karlsruhe antrat. Als Koordinator des VISATEC-Projektes hinterläßt er eine spürbare Lücke in der Arbeitsgruppe. Die wissenschaftliche Leitung des Projektes wurde von Prof. Sommer übernommen.

Dr. Ch. Perwass übernahm dankenswerterweise die organisatorische Leitung des Projektes.

Der Beitrag B. Rosenhahn und G. Sommer: "Adaptive Pose Estimation for Different Corresponding Entities" wurde auf der Jahrestagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung (DAGM) in Zürich mit dem DAGM-Preis ausgezeichnet.

Die von O. Granert vorgelegte Diplomarbeit wurde als die beste Diplomarbeit des Jahres 2002 am Institut für Informatik und Praktische Mathematik ausgezeichnet.

Prof. Sommer hatte im Wintersemester 2002/2003 ein Forschungsfreisemester. Er folgte einer Einladung der University of Auckland, Neuseeland, als Foundation Visitor und stellte an dieser Universität sowie an der Arizona State University, Tempe, AZ, die Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe vor.

## Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme

Prof. Dr.-Ing. Norbert Luttenberger

Die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme wurde im Okt. 2000 im Institut für Informatik u. Praktische Mathematik der CAU Kiel eingerichtet und wird seit diesem Zeitpunkt von Prof. Dr.-Ing. Norbert Luttenberger geleitet. In drei Arbeitsbereichen setzt sich die AG COMSYS intensiv mit Themen aus dem Bereich „Sichere Kommunikation“ auseinander.

1. Der erste Arbeitsbereich heißt *Nomadic Computing*. Es geht dabei um ein neuartiges Konzept für Serversoftware, mit deren Hilfe mobilen Benutzern ein sicherer Zugang zu schützenswerten Daten gewährt werden kann. Die entwickelte Technik ermöglicht einen fallweisen Ausgleich zwischen den Interessen des zugriffswilligen mobilen Benutzers auf der einen Seite und des Besitzers der jeweiligen Datenbestände auf der anderen Seite. In den Jahren 2000–2001 wurden die entsprechenden Arbeiten von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen ihres Schwerpunktprogramms „Sicherheit in der Informations- und Kommunikationstechnik“ gefördert.

2. Der zweite Arbeitsbereich beschäftigt sich mit einem datenzentrierten Paradigma für die Kommunikation zwischen kleinen und kleinsten Geräten. In diesem Arbeitsbereich erfolgt seit Mai 2002 eine Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die das gemeinsam mit der TU Braunschweig (Prof. Dr. S. Fischer) durchgeführte SWARMS-Projekt im Rahmen ihres Schwerpunktprogramms „Basissoftware für selbstorganisierende Infrastrukturen für vernetzte mobile Systeme“ (DFG-SPP 1140) unterstützt.

3. Der dritte Arbeitsbereich heißt „Innovativer Datenschutz für medizinische, insbesondere genetische Daten“. Dieses Gebiet wird in Kooperation mit der Rechtswissenschaftlichen Fakultät der CAU Kiel (Prof. Dr. Trunk) und dem Forschungsschwerpunkt Technikfolgenabschätzung der Universität Hamburg (Fr. Prof. Dr. Regine Kollek) bearbeitet. Es ist das Ziel, den Datenschutz durch den Einsatz von kryptographischen Techniken und Pseudonymisierungstechniken zu unterstützen und die entsprechenden Verfahren in rechtlich-organisatorische Zusammenhänge einzubetten.

## Ergebnisse

1. Der Terminus *Nomadic Computing* bezeichnet eine Nutzungsform von vernetzten Rechensystemen, die dadurch charakterisiert ist, daß Nutzer mit wechselnden Aufenthaltsorten („Nomaden“) von verschiedenen Netzzugangspunkten (*points-of-attachment*) aus Zugang zu Netzwerkdiensten (z.B. e-Mail, ftp- und http-Server, Remote Login usw.) und den darüber zugänglichen Daten bekommen möchten. Diese Netzwerkdienste werden in privaten und öffentlichen Netzwerken angeboten, wobei unter dem Aspekt der Netzwerksicherheit diejenigen Daten und Dienste, die in privaten Netzen (Intranets) angeboten werden, die größere Aufmerksamkeit beanspruchen. Die erarbeiteten Sicherheitsinfrastrukturen, in der sowohl die nomadischen Benutzer als auch die Anbieter von Netzwerkdiensten ihre Sicherheitsinteressen wahrnehmen können, gestatten dem Nomaden einen Zugang zu Netzwerkdiensten, ohne daß dabei die Sicherheit der anbietenden Netze kompromittiert wird. Konzeptuell basieren sie auf einer strikten Trennung von Authentifizierung und Autorisierung und beziehen in die Entscheidung, für welche Dienste und Daten ein Nomade autorisiert werden und unter welchen Sicherheitsvorkehrungen die Nutzung stattfinden soll, die Situation des Nomaden (gespiegelt durch seinen jeweiligen Aufenthaltsort) mit ein: Wir sprechen von situations- oder kontextbezogener Autorisierung. Dahinter steht die nicht unbegründete Annahme, daß mit unterschiedlichen

Situationen/Kontexten/Aufenthaltsorten unterschiedliche Potentiale für die Gefährdung der Vertraulichkeit, Integrität, Authentizität und Verfügbarkeit von Daten und Dienste verbunden sind. Die Machbarkeit der entwickelten Konzepte wurde durch zwei prototypische Realisierungen abgesichert, und in einer begleitenden Untersuchung wurde eine systematische Bedrohungsanalyse für das dargestellte Szenario durchgeführt. Im Jahre 2002 konnte auf der CeBIT in Hannover der Öffentlichkeit ein Server-Prototyp für das sichere *Nomadic Computing* erfolgreich präsentiert werden.

2. In mobilen selbstorganisierenden Funk-Umgebungen stößt das Client/Server-Kooperationsparadigma erkennbar an seine Grenzen, da es de facto von der Erreichbarkeit bestimmter Dienste in einer mehr oder weniger statischen Infrastruktur ausgeht. Diese ist jedoch unter den Bedingungen der Mobilität nicht dauerhaft oder nur um den Preis hoher Kommunikationskosten gegeben. Es wurde deshalb in einer simulativen Studie untersucht, welche Konsequenzen sich für die Kommunikation in mobilen selbstorganisierenden Umgebungen ergeben, wenn Anwendungssysteme für gemeinsam operierende „Schwärme“ von mobilen funkvernetzten Systemen nicht auf das Client/Server-Paradigma, sondern auf ein datenzentriertes Kooperationsparadigma aufgebaut werden. Dieses Paradigma stellt dem verteilten Anwendungssystem einen *virtual shared information space* zur Verfügung. Die Einzelsysteme kooperieren durch lesende und schreibende Operationen auf den *virtual shared information space*, wobei bewußt davon ausgegangen wird, dass nicht immer alle Mitglieder des Schwarms vollständig funktionsfähig und funktechnisch erreichbar sind. Aus diesem Grund kann der *virtual shared information space* durch den Einsatz von Filterfunktionen beliebig angepasst, d.h. programmiert, werden. Die durchgeführte simulative Analyse ergab, dass die Anzahl der benötigten Pakete unter anderem linear von einem „Dokumentengrenzwert“ abhängt, der direkt mit der Informationsrepräsentation zusammenhängt. Auf der Basis dieser Ergebnisse können nun gezielt leistungsfähigere Algorithmen für mobile Ad-Hoc Netze entwickelt werden. Zukünftige Arbeiten werden den Zusammenhang zwischen der XML-Kodierung und deren Dokumentengrenzwert untersuchen. Die erste Version eines in diesem Zusammenhang erstellten Softwaresystems für die automatische Generierung von hocheffizienten XML-Parsern kann auf der Internet-Seite [www.swarms.de](http://www.swarms.de) praktisch erprobt werden.

3. Im Bereich „Innovativer Datenschutz für medizinische, insbesondere genetische Daten“ erfolgen praktische Arbeiten in Zusammenhang mit dem Aufbau einer Datenschutzinfrastruktur für die pharmakogenomische Forschung für die Schering AG. Die Schering AG (Berlin) hat sich in ihrem Forschungsbereich Pharmakogenetik zur Entwicklung eines umfassenden und nachprüfbaren Datenschutzkonzepts entschlossen. Dieses Konzept wird von der AG COMSYS gemeinsam mit der Schering AG entwickelt und vom Unabhängigen Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein in Kiel (ULD) nach den ULD-Regeln für das „Datenschutz-Behördenaudit“ überprüft werden. Wenn das ULD Kiel zu einer positiven Bewertung kommt, sieht man das bei Schering als eine gute Basis dafür, die Patienten, die um die Teilnahme an pharmakogenomischen Untersuchungen gebeten werden, vom sachgerechten und geschützten Umgang mit ihren Daten überzeugen zu können. In der Pharmakogenetik geht es um genetische Daten, die zur Verbesserung von Therapien ermittelt werden; dabei geht es einerseits um das Auffinden statistischer Zusammenhänge zwischen genetischer Information und Behandlungserfolg, andererseits ist es das Ziel, auf Grund genetischer Muster auf das Individuum abgestimmte Entscheidungshilfen für die Therapieauswahl zu geben bzw. Therapieerfolg oder -verträglichkeit vorherzusagen. Die Pharmakogenetik zielt also nicht auf die Diagnose von genetisch bedingten Erkrankungen, sondern auf die genetischen Grundlagen von optimierter Therapie einer bereits vorliegenden Erkrankung. Der

Schutz personenbezogener genetischer Daten hat selbstverständlich in der Pharmakogenetik einen hohen Stellenwert. Die gewonnenen genetischen Daten erlauben in gewisser Weise einen Blick in die Zukunft; so können sie die Prognose einer Erkrankung betreffen, und auch die Frage, ob mit den vorhandenen Behandlungsansätzen eine erfolgreiche Therapie möglich ist, kann von entscheidender Bedeutung für den Patienten sein. Die damit entstehende Verantwortung für den Schutz genetischer Daten wird bei Schering sehr ernst genommen.

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Norbert Luttenberger; Sekretariat: Maren Lutz

Technisches Personal: Isabella Cembrowski (1/3)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. (FH) Link, Carsten seit 1.10.2000 DFG+CAU Nomadic Computing

Dipl.-Inf. Reuter, Florian seit 1.11.2001 CAU XML/Swarms

Dipl.-Inf. Gruschka, Nils seit 1.4.2002 WIS Innovativer Datenschutz

(WIS bedeutet Förderprogramm zur Weiterentwicklung des Informatikstudiums an den Hochschulen")

### **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

#### *Winter 2001/2002*

Kommunikationssysteme 1, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ F. Reuter)

Netzwerksicherheit 2(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger

#### *Sommer 2002*

Kommunikationssysteme 2, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ F. Reuter)

Kommunikationssysteme (Zertifikatsstudium, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ N. Gruschka)

Computer Networks and Internetworking, 2(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ C. Link)

#### *Winter 2002/2003*

Kommunikationssysteme 1, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ F. Reuter)

Digitale Systeme, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

N. Luttenberger (+ C. Link, N. Gruschka, A. Banarer, M. Grest)

### **Drittmittel**

DFG, *Sichere Dienstmobilität für den sicheren, flexiblen, mobilen Zugang zu Netzwerk-Diensten in Intranet/Internet-Umgebungen*. Kennwort: SECCO, 01.04.2000 – 31.03.2002 (83,1 kEUR)

DFG, *Software Architecture for Radio-Based Mobile Self-Organizing Systems*. Kennwort: SWARMS, ab 1.5.2002 (138,5 kEUR)

**Veröffentlichungen und Präsentationen**

- Link, C., Luttenberger, N., *Polymorphic Services for Secure and Context-dependent VHES*, In: Büker, U., Eikerling, H.-J., Müller, W. (Ed.): Proc. International ITEA Workshop on Virtual Home Environments, Febr. 20 – 21, 2002 in Paderborn, ISBN 3-8265-9884-9, 130-138.
- Luttenberger, N., *Nomadic Computing mit bestätigten Aufenthaltsorten*, In: Workshop „Credential-basierte Zugriffskontrolle in offenen, interoperablen IT-Systemen“ auf der 32. Jahrestagung der GI, Dortmund, 2. Okt. 2002.
- Friberg, Chr., Gerhardt, C., Luttenberger, N., *Die Integration von Schutzbedarfsanalyse und IT-Grundschutz nach BSI*, In: Gora, W., Krampert, Th. (Hrsg.): Handbuch IT-Sicherheit – Strategien, Grundlagen und Projekte. München (Addison-Wesley) 2002, ISBN 3-8273-2063-1. 65-80

**Andere Aktivitäten**

Prof. Dr.-Ing. N. Luttenberger ist gewähltes Mitglied des Leitungsgremiums der gemeinsamen Fachgruppe „Kommunikation und Verteilte Systeme“ der Ges. f. Informatik und der Informationstechnischen Gesellschaft.

Prof. Dr.-Ing. N. Luttenberger ist Mitglied im Fachbeirat der Zeitschrift „Praxis der Information und Kommunikation“.

## Professur für Multimediale Systeme zur Informationsverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Koch

Die Arbeitsgruppe Multimediale Informationsverarbeitung befasst sich mit der automatischen Analyse, der Darstellung von und der Interaktion mit dreidimensionalen Szenen. Ein Schwerpunkt bildet die automatische geometrische und visuelle 3D-Rekonstruktion von Szenen aus freihandbewegten Kamerasystemen. Im Jahr 2001 wurde hierzu das EU-Forschungsprojekt IST-ORIGAMI gestartet, an dem die Arbeitsgruppe im Bereich der Bildanalyse und der Visualisierung beteiligt ist. Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Bereich der kamerabasierten Fahrerassistenzsysteme. Hier wurde zusammen mit der DaimlerChrysler Forschungsabteilung, Esslingen, ein Teilprojekt im BMBF-Vorhaben INVENT initiiert, in dem eine kamerabasierte Analyse von Rechts-vor-Links-Situationen im Kreuzungsbereich untersucht wird. Im März 2002 wurde außerdem das Multimedia-Interaktionslabor eingeweiht, in dem neuartige Mensch-Computer-Interaktionstechniken untersucht werden sollen.

### Ergebnisse

#### *3D-Rekonstruktion und Visualisierung von dreidimensionalen Szenen*

Im Rahmen des EU-Projektes IST-ORIGAMI (2001-2003) wurde die automatische Kamera-Kalibrierung und die 3D-Rekonstruktion von komplexen Szenen aus Bildfolgen erfolgreich weitergeführt. Die Kameratrajektorie wird durch Verfolgung von Bildmerkmalen in der Bildsequenz bestimmt. Stereoskopische Bildanalyse erlaubt die Vermessung von dichten und zuverlässigen Tiefenkarten. Ein portables 4-Kamera-Aufnahmesystem erlaubt die Modellierung von sehr komplexen Szenen und ermöglicht es, auch 3D-Szenen mit Objektbewegungen zu analysieren. Ein neuartiges Visualisierungssystem zur interaktiven tiefenkompensierten Bildinterpolation erlaubt die Darstellung komplexer Szenen mit geometrisch unscharfen Objekten wie Bäumen und Sträuchern. Das Verfahren wurde erfolgreich bei der Mischung von realen und virtuellen Szenen eingesetzt.



Abb. 1: Originalbild aus dem Natural History Museum, London

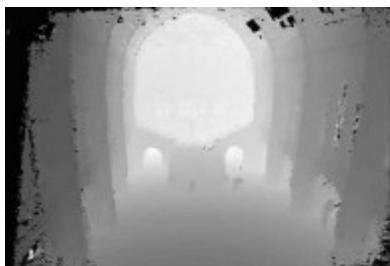


Abb. 2: Tiefenkarte, weit entfernte Punkte sind hell dargestellt.



Abb. 3: Virtuelle Ansicht der rekonstruierten 3D Modelle mit Textur.

Die Abb. 1-3 zeigen Rekonstruktionsergebnisse des Verfahrens

#### *Rekonstruktion der Fahrzeugumgebung mit einer monokularen Schwenk-Neigekamera*

Im Rahmen des BMBF-Projektes INVENT (2002-2004) soll untersucht werden, inwieweit die 3D-Umgebung eines Fahrzeugs mittels einer monokularen Schwenk-Neige-Kamera analysiert und Gefahrensituationen in Vorfahrtssituationen (Rechts-vor-Links) erkannt werden können. Dazu wurde im ersten Projektjahr 2002 die Analyse des unbewegten Außenraums untersucht. Hierzu wurde eine Schätzung der Kameraposition sowie der Fahrzeugbewegung aus vorgegebenen

Fahrzeugdaten und gemessenen Bilddaten vorgenommen. Diese Daten erlauben eine Vorhersage der unbewegten Fahrumgebung und eine Detektion von bewegten Objekten, insbesondere eine Kollisionserkennung.



**Abb. 4:** System zur Rekonstruktion des Fahrzeugaussenraumes mit Schwenk-Neige Kamera

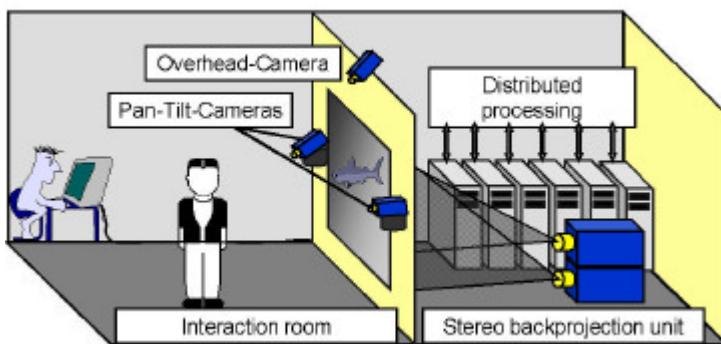


**Abb. 5:** Simulator zur Kollisionserkennung

Die Abb. 4 und 5 zeigen Systemkomponenten und Simulatorergebnisse des Projekts.

#### Aufbau des Multimedia-Interaktionslabor

Im März 2002 wurde das Multimedia-Interaktionslabor der Arbeitsgruppe eingeweiht. Das Labor besteht aus einem stereoskopischen Großprojektionssystem mit 2x3 m Rückprojektionswand, mehreren Kameras zur Personenverfolgung, einem 3D-Audiosystem sowie einem verteilten Rechnerverbund mit signalverarbeitenden Linux-PCs zur Bildanalyse und Visualisierung. Die beobachtenden Kameras erlauben eine automatische Verfolgung der Kopfposition des Betrachters, wodurch eine ansichtskorrigierte Visualisierung von 3D-Szenen möglich wird. Betrachter können sich so durch eine rekonstruierte virtuelle 3D-Szene bewegen. 3D-animierte Objekte können außer der visuellen Erscheinung auch Audioobjekte mitführen und ermöglichen so auch eine 3D-Klanglokalisierung. Das Labor wird laufend durch studentische Projekte erweitert und erlaubt eine intuitive Interaktion zwischen dem Benutzer und den virtuellen 3D-Szenen im Computer.



Die **Abb. 6** zeigt den schematischen Aufbau des Labors, sowie Abbildungen des Interaktionsraumes.



## **Personal**

Leiter: Prof. Dr. Reinhard Koch; Sekretariat: Renate Staecker

Technisches Personal: Torge Storm

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Frahm, Jan-Michael	1.1.–31.12.02	CAU	Fusion von Rotationssensorik und Kamerabildern zur Selbstkalibrierung
Dipl.-Ing. Evers-Senne, Jan-Friso	1.1.–31.12.02	EU	Interaktive Visualisierung komplexer realer 3D-Szenen aus Kameraansichten
Dipl.-Phys. Woelk, Jan- Felix	1.1.–31.12.02	CAU / Sofortprogramm zur Weiterentwicklung der Informatik (WIS)	3D- Personenverfolgung für multimodale Benutzerschnittstellen
Dipl.-Ing Woetzel, Jan	1.1.–31.12.02	EU	Multikamera - Stereorekonstruktion
Dipl.-Ing Grest, Daniel	15.04.–15.12.02 15.12–31.12.02	CAU / Daimler (je ½) CAU	3D-Fahrzeugumgebungserfassung mit Kameras 3D-Personenmodelle in Computer Vision und Computer Graphik

## **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

### *Winter 2001/2002*

Informatik für Ingenieure I 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Koch (B. Rosenhahn, N. Krüger)

Multimediale Informationsverarbeitung, 4(+2) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,

R. Koch (+J.-M. Frahm)

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche,

R. Koch, (+J.-M. Frahm)

### *Sommer 2002*

Informatik für Ingenieure II 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Koch (B. Rosenhahn, A. Salski)

Computer Graphik, 4(+2) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,

R. Koch (+J.-M. Frahm)

Multimedia-Technologie (Zertifikatsstudium) 2(+4) Vorlesung(+Übungen)/Woche,

R. Koch (+ F. Woelk)

Virtual Reality, 8 Std. Fortgeschrittenenpraktikum/Woche,

R. Koch (+J.-M. Frahm, D. Grest)

Multimediale Informationsverarbeitung, 2 Std. Oberseminar/Woche

R. Koch, J.-M. Frahm

### Winter 2002/2003

Multimediale Informationsverarbeitung, 4(+2) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,

R. Koch (+J.-M. Frahm)

Multimedia Communications, 2(+1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,

R. Koch (+J.-M. Frahm)

Multimedia-Communications, 4 Std Rechnerübungen/Woche

(J.-M. Frahm)

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche,

R. Koch, F. Woelk

Seminar Visuelle Modellierung , 2 Std. Seminar/Woche,

R. Koch, F. Woelk

### Drittmittel

EU, *A new paradigm for high-quality mixing of real and virtual – ORIGAMI* – im Rahmen des EU-Programms Information Society Technologies (154,3 kEUR) 1.1.-31.12.02

DaimlerChrysler im Rahmen von INVENT – *Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit (FAS)*, Teilprojekt: Fahrumgebungserfassung und Interpretation (FuE) (84,2 kEUR) 1.1.-31.12.02

### Diplom- und Master-Arbeiten

A. Watkowski, *Aufbau von Panoramabildern mit globaler Registrierung* (5.4.02)

F. Wippermüller, *Nichtlineare Textprojektion mit Java3D und OpenGL* (6.06.02)

O. Kraus, *Entzerrung von Bildpaaren in Epipolargeometrie* (15.07.02)

D. Wippermüller, *OpenGL-basierte interaktive Visualisierung von generalisierten Lichtfeldern* (13.08.02)

K. Petersen, *3D-Orienterungsschätzung und Selbstkalibrierung mit einem Kamera-Rotationssensor* (31.11.02)

### Veröffentlichungen

J.-F. Evers Senne, J.-M. Frahm, F. Woelk, J. Woetzel and R. Koch, *Distributed Realtime Interaction and Visualization System*, 7th International Workshop on Vision, Modeling and Visualization (VMV 2002), 93-100, Erlangen, Germany, Nov. 2002

J.-M. Frahm, J.-F. Evers-Senne and R. Koch, *Network protocol for interaction and scalable distributed visualization*, In Proceedings international Conference 3DPVT, 44-47, Padua, Italy, June 2002

R. Koch, J.-M. Frahm, J.-F. Evers-Senne and J. Woetzel, *Plenoptic modeling of 3D scenes with a sensor-augmented multi-camera rig*. In Tyrrhenian International Workshop on Digital Communication (IWDC): proceedings, Capri, Italy, Sept. 2002

R. Koch, *Photorealistic 3D-Modellierung einer Teilansicht des Kieler Wasserturms*, in T. Luhmann (Hrsg.) Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis, 95-98, Wichmann Verlag, 2002.

### Präsentationen

Das virtuelle Aquarium: Laborpräsentation zum Tag der offenen Tür, Mai 2002, im Multimedia-Interaktionslabor, Herman-Rodewaldstr. 3

## Lehrstuhl für Praktische Mathematik

**Prof. Dr. Dr. hc. Wolfgang Hackbusch**

Wegen Beurlaubung an der CAU werden Veranstaltungen nur im Zeitrahmen eines Tages pro Woche in Kiel durchgeführt. Die Haupttätigkeit findet am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften in Leipzig statt.

### Ergebnisse

Hauptarbeitsbereich im Jahr 2002 war die Technik der hierarchischen Matrizen. Daneben gab es in der Arbeitsgruppe noch Arbeiten zu eher traditionellen Themen wie *BEM* (*Boundary Element Method*), *degenerierte Gitter*, *Gebietszerlegung*, *inverse Abschätzungen für nicht-quasiuniforme Gitter*, *Mehrgitter*, *Mortar-Technik*, *Paneel-Clusterung* und *Schrödinger-Gleichung*. Die hierarchische Matrixtechnik (*H-Matrixtechnik*) ist eine Verallgemeinerung der Paneel-Clusterungsmethode, die 1983 in Kiel begonnen wurde. Ziel der Methode ist es, vollbesetzte Matrizen so zu behandeln, dass der Speicheraufwand und die arithmetischen Kosten bis auf einen logarithmischen Faktor  $O(n)$  beträgt ( $n$  bezeichnet die Dimension der Matrix). Die hierdurch erzeugten Approximationen dürfen den Diskretisierungsfehler nicht übersteigen. Während die Paneel-Clusterungsmethode benutzt wird, um die Matrix-Vektor-Multiplikation mit der Randelementmatrix schnell durchzuführen, werden jetzt auch Matrixoperationen wie die Addition, Multiplikation und Inversion unterstützt. Die hierarchische Matrixtechnik ist wesentlich allgemeiner als die Multipolmethode, deren Anwendung auf die Fälle beschränkt ist, in denen explizit bekannte Kerne mit wohlbekannten Entwicklungsformeln gegeben sind.

Die Kandidaten für die vollbesetzten Matrizen sind nicht nur Diskretisierungen der Integraloperatoren (insbesondere der Randelementmethode (BEM)), sondern auch inverse Finite-Element-Matrizen oder Schur-Komplemente in der FEM.

Die Wichtigkeit schneller Techniken wie dieser begründet sich darin, dass nur Algorithmen optimaler Ordnung für großskalige Anwendungen überleben können. Je größer die Computer werden, um so stärker ist die Notwendigkeit einer (fast) optimalen Methode. Ein anderer Aspekt ist, dass die *H-Matrixtechnik* Möglichkeiten für neuartige Algorithmen eröffnet (vgl. zum Beispiel die Riccati-Gleichung, s.u.). Die Anwendung dieser Techniken ist sehr breit, da sie alle Felder betrifft, in denen z.B. Randelementmethoden benutzt werden. Ein besonderer Aspekt ist, dass wegen ihres 'black-box'-Charakters die *H-Matrixtechnik* eine Alternative zu iterativen Verfahren darstellt. Wichtig ist die Tatsache, dass die Methode neben der Matrix-Vektor-Multiplikation die Matrixoperationen wie Matrixaddition, Matrixmultiplikation und sogar die Matrixinversion unterstützt.

Bei der Approximation von Integraloperatoren, wie sie in der Randelementmethode (BEM) vorkommen, wird traditionell der Kern mittels Taylor entwickelt. Eine einfachere Implementierungsmethode basiert auf Interpolationstechniken.

Die Kosten der Matrixoperationen sind im Detail von Dr. Grasedyck untersucht. Es stellt sich heraus, dass neben der Tiefe des Clusterbaumes zwei Konstanten  $C_s$  ('sparsity') und  $C_{id}$  ('idempotency') die Schlüsselgrößen sind, die den Rechenaufwand der Addition, Multiplikation und der Inversion beschreiben. Unter natürlichen Annahmen an das Finite-Element-/Randelement-Gitter kann man Schranken  $C_s$ ,  $C_{id}$  nachweisen, die unabhängig von der Gitterweite sind. Dies schließt lokal verfeinerte Gitter ein.

Die Techniken beschränken sich nicht auf BEM-Anwendungen, sondern sind auch auf FEM-Matrizen anwendbar. Jede (schwachbesetzte) FEM-Matrix  $A$  gehört zu der Klasse der hierarchischen Matrizen. Daher kann man sofort den Inversionsalgorithmus anwenden, der zu einer approximativen Inversen  $B = A^{-1}$  führt. Numerische Experimente zeigten, dass der Fehler  $B - A^{-1}$  exponentiell abfällt, wenn der lokale Rang  $k$  anwächst. Zudem weicht der Fehler nur wenig vom besten Approximationsfehler ab. Der mathematische Beweis, dass  $A^{-1}$  eine derart gute Approximation durch hierarchische Matrizen besitzt, war eine Zeit lang offen. Da  $A^{-1}$  eine diskrete Greensche Funktion ist, kann man  $A^{-1}$  mit der Galerkin-Diskretisierung des Integraloperators mit dem Kern  $s = G$  (Green-Funktion) vergleichen. Wenn z.B.  $A$  die Laplace-Gleichung diskretisiert, ist  $G$  nicht sehr verschieden von der Fundamentallösung, die bei Randelementmethoden auftritt (man beachte aber, dass Eckensingularitäten zu einem nichtglatten Verhalten von  $G$  führen). Es gab eine numerische Evidenz, dass die Qualität des Fehlers  $B - A^{-1}$  nicht von der Präsenz der Ecken und nicht einmal von der Glattheit der Differentialgleichungskoeffizienten abhängt (Randwertaufgaben mit springenden Koeffizienten führen zu ähnlichen Approximationsfehlern wie die Poisson-Gleichung). Ein Resultat von Bebendorf-Hackbusch konnte die Situation klären. Sei

$$Lu = -\sum_{i,j=1}^d \partial_j(c_{ij}\partial_i u), c_{ij} = c_{ji} \in L^\infty(\Omega),$$

ein elliptischer Operator in einem beschränkten Lipschitz-Gebiet  $\Omega \subset \mathbb{R}^d$ . Weiter seien homogene Dirichlet-Randbedingungen angenommen. Die uniforme Elliptizität erfordert  $0 < I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$  für jeden Eigenwert  $\lambda$  der  $d \times d$ -Matrixfunktion  $C(x) = (c_{ij})_{ij}$ . Zur Vereinfachung sei die Finite-Element-Diskretisierung als quasi-uniform angenommen. Unter diesen Bedingungen konnte gezeigt werden, dass der Fehler mit dem lokalen Rang  $k$  exponentiell fällt. Ein Nebenresultat betrifft die  $H$ -Matrix-Inverse der Massematrice, die die gleiche Approximierbarkeit besitzt.

### $H^2$ -Matrizen

Bei  $H$ -Matrizen besitzt jeder Block eine allgemeine Rang- $k$ -Untermatrix. Die  $H^2$ -Matrizen erlauben nur Untermatrizen aus einem bestimmten Tensorraum. Die Unterräume sind wieder hierarchisch strukturiert. Hieraus ergibt sich, dass nur  $k^2$  Koeffizienten pro Block abzuspeichern sind, aber nicht die Basisvektoren. Stattdessen benutzt man die Transformationen zwischen den Hierarchiestufen. Die Situation ist in etwa zum Wavelet-Fall ähnlich, wo auch die Basisvektoren nie direkt verwandt werden und statt dessen die Maskenkoeffizienten benutzt werden. Dank der zusätzlichen Struktur gewinnt man log-Faktoren beim arithmetischen und Speicheraufwand. Die Anwendung des  $H^2$ -Matrix-Konzeptes auf Diskretisierungen von Integralgleichungen ist offensichtlich, da die Wahl der Räume  $V_r$  bekannt ist. Für allgemeine Matrizen ist es möglich, eine (fast) optimale Basis adaptiv zu konstruieren. Die entsprechenden Resultate stammen von Börm-Hackbusch.

### Matrixwertige Funktionen

Sei  $f(x)$  eine holomorphe Funktion. Da die Resolvente  $(A - zI)^{-1}$  mit der  $H$ -Matrixarithmetik berechenbar ist, kann man Darstellungen von  $f(A)$  durch Cauchy-Integrale mittels Quadraturen approximieren. Diese Technik ist auf  $\exp(A)$  und weitere Funktionen angewandt worden.

Eine wichtige weitere Anwendung betrifft die Lösung der Matrix-Riccati-Gleichung. In optimalen Kontrollproblemen treten Matrix-Gleichungen wie die (algebraische Matrix-) Riccati-Gleichung

$$A^T X + X A - X F X + G = 0 \quad (1)$$

auf ( $A, G, F \in R^{nxn}$  gegeben,  $X \in R^{nxn}$  gesucht). Für  $F = 0$  vereinfacht sich die Gleichung zur *Ljapunov-Gleichung*. Das Standardverfahren zur Lösung der Riccati-Gleichung ist das Newton-Verfahren, das zu einer Folge von Ljapunov-Gleichungen führt. Traditionell wird  $X$  als vollbesetzte Matrix behandelt, d.h. eine quadratische Gleichung mit  $n^2$  Unbekannten ist zu lösen. Unter diesen Umständen führen selbst optimale Methoden wie Mehrgitterverfahren zu Kosten  $O(n^2)$ . Die unbekannte Matrix wird durch eine hierarchische Matrix approximiert. Es ist bekannt, dass die Lösung von (I) mittels der sign-Funktion (Vorzeichen des Realteils) angewandt auf Matrizen formuliert werden kann. Die Matrix-sign-Funktion ist das Resultat einer quadratisch konvergenten Iteration der Form  $M \rightarrow \frac{1}{2}(M+M^{-1})$ . Dank der *H-Matrixarithmetik* erfordert die Lösung von (I)  $O(n \log^q n)$  Operationen. Numerische Beispiele wurden bis zu  $n = 65536$  durchgeführt.

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Dr. hc. Wolfgang Hackbusch; Sekretariat: Anne Jöhnk

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Math. Burmeister, Jens	1.1.-31.12.02	CAU	Funktionsstelle Mathematik Bereich II
Dr. Grasedyck, Lars	1.1.-30.06.02	DFG	Hierarchische Matrizen
Dipl.-Math. Kramer, Alpar-Vajk	1.1.-31.12.02	DFG	Graduiertenkolleg GEAM

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

*Winter 2001/2002*

Mathematisches Praktikum: Wavelets, 4 Std., Vorlesung (+Übungen),

W. Hackbusch, J. Burmeister.

Oberseminar zur Praktischen Mathematik, 2 Std.,

W. Hackbusch.

*Sommer 2002*

Numerik großer Gleichungssysteme, 6 Std., Vorlesung(+Übungen),

W. Hackbusch, J. Burmeister.

Oberseminar zur Praktischen Mathematik, 2 Std.,

W. Hackbusch.

*Winter 2002/2003*

Mathematisches Praktikum: Mehrgitterverfahren für lineare und nichtlineare Probleme, 4 Std.,

W. Hackbusch, J. Burmeister.

Oberseminar zur Praktischen Mathematik, 2 Std.,

W. Hackbusch.

## Drittmittel

BMBF-Projekt: Kooperation with E.D. Gilles (Univ. Stuttgart) and G. Wittum (Univ. Heidelberg); industrieller Partner ist die BASF.

Im DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1095 zu *Mehrskalenproblemen* gibt es zwei Projekte. Das erste wird geleitet von Dr. H-J. Flad and W. Hackbusch seitens des MPI Leipzig und Prof. D. Kolb vom Institut der Physik an der Universität of Kassel.

Ein zweites Projekt im SPP 1095 startete mit Dr. S. Le Borne in Kiel (Leiter: W. Hackbusch).

Nachdem sie eine Assistenzprofessur in den USA angenommen hat, gab es eine längere Pause. Seit Herbst 2002 führt Herr A. Litvinenko das Projekt am MPI weiter.

Im SFB 393 an der Universität Chemnitz wird das Projekt "Rand-konzentrierte FEM" unter der Leitung von Hackbusch, Melenk (MPI Leipzig) and Schneider (University Chemnitz) durchgeführt.

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie-Transfers und Konsultationen

Zusammenarbeit mit Dahmen (RWTH Aachen), Bornemann, Brokate (TU München), Rjasanow (Saarbrücken), Schwab (ETH Zürich), Sauter (Univ. Zürich), Graham (Univ. Bath; UK) u.a.

### Diplomarbeiten

Volker Wiggers, *Invertierung von Hierarchischen Matrizen mit Hilfe von Gebietszerlegungsmethoden*. Diplomarbeit im Fach Mathematik, Universität Kiel, Jun. 2002.

Rainer Gutsch, *Untersuchungen zur Greenschen Funktion bei elliptischen Problemen mit Ecken*. Diplomarbeit im Fach Mathematik, Universität Kiel, Jul. 2002.

Carsten Müller, *Bindungsanalyse korrelierter Wellenfunktionen*. Diplomarbeit im Fach Chemie, Universität Leipzig, Dez. 2002.

### Veröffentlichungen

Steffen Börm, Lars Grasedyck und Wolfgang Hackbusch. *Introduction to hierarchical matrices with applications*, Report 18, Max-Planck-Institut für Mathematik, Leipzig, 2002.

Heinz-Jürgen Flad, Wolfgang Hackbusch, Dietmar Kolb und Reinhold Schneider. *Wavelet approximation of correlated wavefunctions. I. Basics*. J. Chemical Physics, **116**, 9641-9657, 2002.

Ivan P. Gavrilyuk, Wolfgang Hackbusch und Boris Khoromskij. *H-matrix approximation for the operator exponential with applications*. Numer. Math., **92**, 83-111, 2002.

Ivan P. Gavrilyuk, Wolfgang Hackbusch und Boris Khoromskij. *Data-sparse approximation to a hierarchy of operator-valued functions*, In Griebel und Hackbusch [16], pages 31-51. (Leipzig, Jan. 2002).

Ivan G. Graham, Wolfgang Hackbusch und Stefan A. Sauter. *Finite elements on degenerate meshes: inverse-type inequalities and applications*, Report 102, Max-Planck-Institut für Mathematik, Leipzig, 2002. (Submitted to IMA J. Numer. Anal.)

Michael Griebel und Wolfgang Hackbusch (Hrsg.). *Proceedings of the 18th GAMM Seminar on Multigrid and Related Methods for Optimisation Problems*, 2002. (Leipzig, Jan. 2002) ISBN 3-00-009258-7, <http://www.mis.mpg.de/conferences/gamm/2002>.

Wolfgang Hackbusch. *Direct Integration of the Newton potential over cubes*, Computing, **68**, 193-216, 2002.

Wolfgang Hackbusch und Steffen Börm.  *$H^2$ -matrix approximation of integral operators by interpolation*, Appl. Numer. Math., **43**, 129-143, 2002.

Wolfgang Hackbusch und Steffen Börm. *Data-sparse approximation by adaptive  $H^2$ -matrices*, Computing, **69**, 1-35, 2002.

Wolfgang Hackbusch, Lars Grasedyck und Steffen Börm. *An introduction to hierarchical matrices*, Math. Bohem., **127**, 229-241, 2002.

Wolfgang Hackbusch und Boris Khoromskij. *Blended kernel approximation in the H-matrix techniques*, Numer. Linear Algebra Appl., **9**, 281-304, 2002.

Hongjun Luo, Dietmar Kolb, Heinz-Jürgen Flad, Wolfgang Hackbusch und Thomas Koprucki.  
*Wavelet approximation of correlated wavefunctions, II. Hyperbolic wavelets and adaptive approximation schemes.* J. Chemical Physics, **117**, 3625-3638, 2002.

### Präsentationen (Auswahl)

Unter anderem die Hauptvorträge

W. Hackbusch, *Direct domain decomposition using the hierarchical matrix technique.* 14<sup>th</sup> International Conference on Domain Decomposition, Hauptvortrag, Mexico City, 5-12. Januar 2002.

W. Hackbusch, *Hierarchical matrices.* Conference FoCM (Foundations of Computational Mathematics), Minneapolis, USA, 10.-15. August 2002

W. Hackbusch, *Hierarchical matrices.* Invited Lecture, MIT, Cambridge, Mass., USA, 8.-12.April 2002

### Andere Aktivitäten und Ereignisse

#### *Selbst- und mitorganisierte Konferenzen*

24.01.-26.01.2002: 18th GAMM-Seminar Leipzig on "Multigrid and related methods for optimisation problems"

07.10.-10.10.2002: Seventh European Multigrid Conference in Pforzheim

13.11.-15.11.2002: Workshop "Numerical methods for multiscale problems" (Leipzig)

#### *Tätigkeit in der akademischen Selbstverwaltung:*

DFG (German Research Foundation): Mitglied des "Senats", "Hauptausschusses", "Bewilligungsausschusses" und der "Perspektivkommission".

BMBF (Federal Ministry of Education and Research): bis 2002 vertretender Vorsitzender des Gutachtergremiums "Mathematics"

MPG: Vertreter der MPG-Sektion CPTS im Gremium "Research Schools" FFG: Beiratsmitglied des Instituts für Industrielle Mathematik in Kaiserslautern Oberwolfach: Beiratsmitglied des Forschungsinstituts Oberwolfach IPAM: Mitglied des Scientific Advisory Board of the Institute for Pure and Applied Mathematics in Los Angeles, USA

#### *Mitglied der Herausgebergremien der folgenden Zeitschriften:*

Applied and Computational Harmonic Analysis (ACHA), Calcolo , Computing (managing editor), Documenta Mathematica, Journal of Numerical Mathematics (früher "East-West Journal of Numer. Math."), IMA Journal of Numerical Analysis, Journal of the European Mathematical Society (JEMS), Modélisation Mathématique et Analyse Numérique, Multiscale Modeling and Simulation, Numerical Linear Algebra with Application, Numerische Mathematik und Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM).

## Lehrstuhl für Programmiersprachen und Übersetzerkonstruktion

Prof. Dr. Michael Hanus

Die Arbeiten des Lehrstuhls für Programmiersprachen und Übersetzerkonstruktion konzentrieren sich auf den Bereich des Entwurfs, Realisierung und Anwendung von Programmiersprachen zur zuverlässigen Programmierung komplexer Systeme. Die Untersuchungen reichen dabei von objektorientierten Entwurfsmethoden über die Analyse verteilter Systeme bis zur Implementierung und Anwendung deklarativer Programmiersprachen. Unterstützt wurden die wissenschaftlichen Arbeiten durch die DFG und den DAAD, der die Zusammenarbeit mit Partnern in den USA und Spanien ermöglichte. Darüber hinaus begann im Berichtszeitraum ein von der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung gefördertes Projekt zur Entwicklung eines Leistungspunktsystems in Fachbereichen Elektrotechnik und Informatik.

### Ergebnisse

Im Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten im Bereich der deklarativen Programmiersprachen, was auch durch entsprechende Drittmittel unterstützt wird. So begann eine neue Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Valencia, die vom DAAD durch Bereitstellung von Reisemitteln unterstützt wird. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung neuer Techniken zum Debugging deklarativer Programmiersprachen.

Deklarative Programmiersprachen abstrahieren stärker von konkreten Rechnerarchitekturen und bieten daher ein höheres Programmierniveau als herkömmliche Programmiersprachen. Insbesondere liegt ihnen ein anderes Ausführungsmodell zugrunde, welches sich aus Gründen der Optimierung der Ausführungsreihenfolge nicht am sequentiellen Programmtext orientiert. In vielen Fällen führt dies zu einer effizienteren Programmentwicklung. Falls jedoch Programmierfehler auftreten, sind herkömmliche Debugging-Methoden durch Verfolgung des konkreten Berechnungsablaufs unzureichend. Aus diesem Grund sollen in diesem Projekt neue Debugging-Methoden entwickelt werden, die auf die Besonderheiten deklarativer Programmiersprachen zugeschnitten sind. Hierzu gehören auch Profiling-Methoden zum Auffinden von Effizienzproblemen, die durch das besondere Ausführungsmodell in der Regel besonders schwierig zu analysieren sind.

Initiiert durch gegenseitige Besuche wurde im Berichtszeitraum zunächst ein adäquates Modell zur formalen Beschreibung der operationalen Semantik deklarativer Programmiersprachen entwickelt. Dieses Modell ist einerseits abstrakt genug, um wünschenswerte Eigenschaften, wie Äquivalenz zu einer intuitiven denotationellen Semantik, zu zeigen. Andererseits ist es so konkret, dass es leicht erweitert werden kann, um realistische Effizienzeigenschaften abzuleiten. Dieses Modell wurde auch prototypisch implementiert, um eine Grundlage für weitere Sprachwerkzeuge bereitzustellen. In mehreren Arbeiten wurde dieses Modell so erweitert, dass es fast alle wichtigen Eigenschaften einer konkreten Programmiersprache (Curry) umfasst, die als Ziel dieser Untersuchung dient. In Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen wurden weitere Arbeiten zum Debugging nebenläufiger funktionaler Programme fortgeführt. Als Ergebnis dieser Arbeiten entstand ein Debugger für Concurrent Haskell, der einfach benutzbar ist und die nebenläufigen Berechnungsabläufe adäquat visualisiert.

In einer weiteren vom DAAD geförderten Zusammenarbeit mit der Portland State University in Oregon wurden Arbeiten zur Anwendung und Implementierung deklarativer Programmiersprachen fortgeführt. Im Bereich der Anwendung wurden im Berichtszeitraum verschiedene Entwurfsmuster

für logisch-funktionale Sprachen untersucht. Entwurfsmuster wurden im Bereich der objektorientierten Programmierung in den letzten Jahren eingehend studiert. Durch die unterschiedlichen Sprachmechanismen erlauben logisch-funktionale Sprachen neuartige Entwurfstechniken, die aber bisher kaum systematisch untersucht worden sind. Aus diesem Grund wurden zusammen mit Prof. Antoy von der Portland State University eine Reihe logisch-funktionaler Entwurfsmuster studiert, die insbesondere auch die neuen Möglichkeiten zeigen, die logisch-funktionale Programmiersprachen bieten, um verschiedene Probleme effizient und wartbar zu lösen.

Weiterhin wurde im Rahmen dieser Zusammenarbeit an neuartigen Implementierungstechniken für logisch-funktionale Sprachen gearbeitet. Im Bereich der praktischen Anwendung dieser Sprachen wurde gemeinsam ein Tutorial für die logisch-funktionale Sprache Curry entwickelt, welches den Einstieg in dieses Programmierparadigma erleichtern soll. Zur Unterstützung der Anwendung von Curry zur Entwicklung größerer Systeme wurde auch ein Werkzeug (CurryDoc) entwickelt, mit dem die Dokumentation von Anwendungsprogrammen und Bibliotheken in Form von Web-Dokumenten weitgehend automatisch generiert wird.

Zur praktischen Evaluierung dieser Entwicklung wurde im Wintersemester 2002/2003 ein studentisches Projekt durchgeführt, bei dem ein offenes, Internet-basiertes System zur Unterstützung selbstorganisierter Lernformen realisiert worden ist.

Ein weiterer Anwendungsbereich deklarativer Programmiersprachen, der im Berichtszeitraum untersucht worden ist, ist die Programmierung eingebetteter Systeme. Üblicherweise werden solche Systeme im imperativen Stil programmiert, da deklarative Sprachen von zeitlichen Aspekten abstrahieren, welche aber gerade für diesen Anwendungsbereich relevant sind. Um die Vorteile deklarativer Sprachen auch in diesem Anwendungsbereich auszunutzen, wurde eine allgemeine Erweiterung deklarativer Sprachen um Zeitaspekte entwickelt und speziell im Bereich der Programmierung eingebetteter Systeme am Beispiel der LEGO-Mindstorm-Roboter untersucht (s. Abb. 1).

Diese Arbeiten wurden auch am Tag der offenen Tür der CAU Kiel präsentiert. Die Programmierung dieser Kleinroboter mittels deklarativer Sprachen ist schwierig zu realisieren, da diese Roboter, wie auch typische eingebettete Systeme, äußerst wenig Speicher und Rechenkapazität besitzen. Hierdurch werden neue Übersetzungstechniken notwendig, die speziell auf diese Ressourcenbeschränkungen zugeschnitten sind. Erste Ergebnisse konnten hierzu im Berichtszeitraum erzielt werden, allerdings müssen diese noch erweitert werden.

Da deklarative Programmiersprachen eine effiziente Programmierung ermöglichen und für Curry mittels der oben beschriebenen Entwurfsmuster eine leicht zu benutzende Schnittstelle zur Programmierung von Web-Anwendungen realisiert wurde, setzen wir Curry gerade in diesem Bereich verstärkt ein. So wurde im Berichtszeitraum in dem von der BLK geförderten Projekt zur Entwicklung eines Leistungspunktsystems mit Hilfe von Curry in kurzer Zeit ein Web-basiertes Modulinformationssystem entwickelt, das die Modularisierung der Informatik-Studiengänge technisch unterstützen soll.

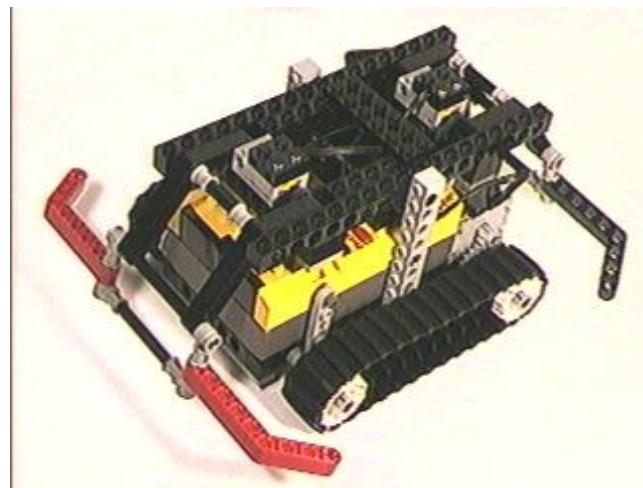


Abb. 1: "Ein LEGO-Mindstorm-Roboter"

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Michael Hanus; Sekretariat: Ulrike Pollakowski-Geuther

Technisches Personal: Dipl.-Inf. Frank Steiner

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Bennemann, Barbara	15.6.-31.12.02	BLK	Leistungspunktsystem
Dipl.-Inf. Höppner, Klaus	1.1.-31.12.02	CAU	Programmierung eingebetteter Systeme
Dr. Huch, Frank	1.1.-31.12.02	CAU	Programmierung verteilter Systeme
Dipl.-Inf. Steiner, Frank	1.1.-31.1.02	DFG	Analyse deklarativer Programmiersprachen
Dr. Simon, Friedemann	1.1.-31.12.02	CAU	Objektorientierte Softwareentwicklung

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

Winter 2001/2002

Informatik I (Programmierung), 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

M. Hanus (+ K. Höppner, Th. Wilke)

Programmierpraktikum P1, 3 Std. praktische Übung/Woche,

M. Hanus, K. Höppner, F. Huch

Übersetzerkonstruktion, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

M. Hanus (+ F. Huch)

Objektorientierte Entwurfstechniken und Programmiersprachen, 2 Std. Seminar/Woche,

M. Hanus, F. Simon

Programmiertechniken für die Künstliche Intelligenz, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

F. Simon

Softwaretechnik zum Zertifizieren von Systemen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Goerigk

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche,

M. Hanus

Arbeitsgemeinschaft "Informatik, Logik und Mathematik", 2 Std. Seminar/Woche,

R. Berghammer, M. Hanus

*Sommer 2002*

Deklarative Programmiersprachen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

M. Hanus (+ K. Höppner)

Fortgeschrittenen-Praktikum Verifikation von Webseiten, 4 Std. praktische Übung/Woche,

F. Huch

Programmiersprachen für eingebettete Systeme und Echtzeitsysteme, 2 Std. Seminar/Woche,

M. Hanus, R. von Hanxleden, K. Höppner

Systematisches Programmieren, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

F. Simon

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche,

M. Hanus

Arbeitsgemeinschaft "Informatik, Logik und Mathematik", 2 Std. Seminar/Woche,

R. Berghammer, M. Hanus

*Winter 2002/2003*

Prinzipien von Programmiersprachen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

M. Hanus (+ K. Höppner)

Fortgeschrittenen-Praktikum Internet-Programmierung, 4 Std. praktische Übung/Woche,

M. Hanus, F. Huch

Nebenläufige und verteilte Programmierung, 2(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

M. Hanus, F. Huch

Objektorientierte Programmierung, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

F. Simon

Diplomandenseminar, 2 Std. Seminar/Woche,

M. Hanus

Arbeitsgemeinschaft "Informatik, Logik und Mathematik", 2 Std. Seminar/Woche,

R. Berghammer, M. Hanus

**Drittmittel**

DAAD, *Projektbezogener Personenaustausch mit Spanien*, 2002-2003 (5,1 kEUR)

Projektbezogener Personenaustausch mit den USA (in Zusammenarbeit mit der NSF), 2002 (5,1 kEUR)

DFG, *Eine Analyse- und Programmierumgebung für Deklarative Sprachen*, 01.02.2002-31.01.2004 (117,1 kEUR)

BLK-Projekt *Modellversuch "Entwicklung eines Leistungspunktesystems an Hochschulen"*,

01.10.2001 – 30.09.2004 (123,5 kEUR)

**Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Kooperation mit schiff GmbH, Datenzentrale Schleswig-Holstein, eCONNEX AG, fraufranz konzept & Design und IPN im Bereich "Selbstorganisiertes Lernen im Bereich der IT-Nutzung in der KERN-Region"

**Diplomarbeiten**

Thomas Schneider, *Anpassung und Einführung des Rational Unified Process (RUP) in einem e-business Unternehmen*, April 2002.

Torge Husfeldt, *Sicheres Skripting mit Smalltalk für Programme aus nicht vertrauenswürdiger Quelle*, April 2002.

Frank Neumann: *Spezifische evolutionäre Algorithmen für Permutationsprobleme*, die Diplomarbeit von Herrn Neumann wurde mit dem Prof. Dr. Werner Petersen Preis 2002 ausgezeichnet, verliehen von der Prof. Dr. Werner Petersen Stiftung zusammen mit dem VDE Region Nord und dem VDI Schleswig-Holstein, August 2002.

Carsten Kruse: *Entwicklung einer Beschreibungssprache für Programmierrichtlinien*, November 2002.

## Veröffentlichungen

- E. Albert, M. Hanus, G. Vidal, *A Practical Partial Evaluation Scheme for Multi-Paradigm Declarative Languages*, Journal of Functional and Logic Programming, Vol. 2002, No. 1, (2002)
- E. Albert, M. Hanus, F. Huch, J. Oliver, G. Vidal, *An Operational Semantics for Declarative Multi-Paradigm Language*, Proc. 11th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming, WFLP 2002, Grado, Research Report UDMI/18/2002/RR, Universität Udine, 7-20, (2002)
- E. Albert, M. Hanus, F. Huch, J. Oliver, G. Vidal, *Operational Semantics for Lazy Functional Logic Programs*, Proc. Second International Workshop on Reduction Strategies in Rewriting and Programming, WRS 2002, Copenhagen, Technical Report E1852-2002-02, TU Wien, 97-112, (2002)
- E. Albert, M. Hanus, F. Huch, J. Oliver, G. Vidal, *A Deterministic Operational Semantics for Functional Logic Languages*, Proc. of the 2002 Joint Conf. on Declarative Programming (AGP'02), Madrid, 207-222, 2002
- E. Albert, M. Hanus, F. Huch, J. Oliver, G. Vidal, *An Operational Semantics for Declarative Multi-Paradigm Languages*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, **70** (6), Elsevier Science Publishers, 2002
- E. Albert, M. Hanus, F. Huch, J. Oliver, G. Vidal, *An Operational Semantics for Functional Logic Languages*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, **76**, Elsevier Science Publishers, 2002
- A. Ankolekar, F. Huch, K. Sycara, *Concurrent Semantics for the Web Services Specification Language DAML-S*, Proceedings of the 5th International Conference, COORDINATION 2002, Lecture Notes in Computer Science, **2315**, 14-21, 2002.
- A. Ankolekar, F. Huch, K. Sycara: *Concurrent Execution Semantics of DAML-S with Subtypes*, Proceedings of the First International Semantic Web Conference - ISWC 2002, Lecture Notes in Computer Science, **2342**, 318-332, 2002.
- S. Antoy, M. Hanus: *Functional Logic Design Patterns*, Proc. of the 6th International Symposium on Functional and Logic Programming, FLOPS 2002, Aizu (Japan), Springer Lecture Notes in Computer Science **2441**, 67-87, 2002
- T. Böttcher, F. Huch, *A Debugger for Concurrent Haskell*, Proceedings of the 14th International Workshop on the Implementation of Functional Languages - IFL 2002, Madrid, Technical Report 127-02, Department of Computer Science, Universidad Complutense de Madrid, p. 129-142, 2002.
- W. Goerigk, *Towards Acceptability of Optimizations: An Extended View of Compiler Correctness*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, **65** (2), Elsevier Science Publishers, 2002

- W. Goerigk, *Towards Reuse of Thought: UML-based Architecture of Domain Specific Generator Frameworks*, Electronic Proceedings of OOP 2002 International Conference on Object Oriented Programming, 2002
- M. Hanus, K. Höppner, *Programming Autonomous Robots in Curry*, Proc. 11th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming, WFLP 2002, Grado, Research Report UDMI/18/2002/RR, Universität Udine, 89-102, 2002
- M. Hanus, K. Höppner, *Programming Autonomous Robots in Curry*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, **76**, Elsevier Science Publishers, 2002
- M. Hanus, *CurryDoc: A Documentation Tool for Declarative Programs*, Proc. 11th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming, WFLP 2002, Grado, Research Report UDMI/18/2002/RR, Universität Udine, 225-228, 2002
- M. Hanus, S. Krishnamurthi, S. Thompson, *Proceedings of the International Workshop on Functional and Declarative Programming in Education*, Forschungsbericht 0210, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2002
- M. Hanus, *Special Issue on Selected Papers of the International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 64, Elsevier Science Publishers, 2002
- F. Huch, *Verification of Erlang Programs using Abstract Interpretation and Model Checking*, Dissertation, RWTH Aachen, 2002.
- F. Huch, V. Stolz, *Concurrency Abstractions for Concurrent Haskell*, Proceedings of the 14th International Workshop on the Implementation of Functional Languages - IFL 2002, Madrid, Technical Report 127-02, Department of Computer Science, Universidad Complutense de Madrid, p. 269-282, 2002.

## Präsentationen

- W. Goerigk, *Zur Verifikation softwarebasierter Systeme*, eingeladener Vortrag bei der IBM Deutschland, Böblingen, 2002
- W. Goerigk, *Implementation Verification for a ComLisp Compiler*, Verifix-Workshop on Correct Compilers, Karlsruhe, 2002
- W. Goerigk, *Über den Bau korrekter Übersetzer: Probleme und Lösungen*, Workshop Programmiersprachen und Rechenkonzepte, Bad Honnef, 2002
- W. Goerigk, *Towards Acceptability of Optimizations: An Extended View of Compiler Correctness*, COCV 2002 International Workshop on Compiler Verification Meets Compiler Verification, Grenoble, France, 2002
- W. Goerigk, *Towards Reuse of Thought: UML-based Architecture of Domain Specific Generator Frameworks*, OOP 2002 International Conference on Object Oriented Programming, München, 2002.
- M. Hanus, *Embedding Processes in a Declarative Programming Language*, Kolloquium, Laboratoire Leibniz, IMAG, Grenoble, Februar 2002
- M. Hanus, *Functional Logic Design Patterns*, GI-Workshop "Programmiersprachen und Rechenkonzepte", Bad Honnef, Mai 2002.
- M. Hanus, *Programmierung von Kleinrobotern am Beispiel von LEGO-Mindstorms*, Tag der offenen Tür, CAU Kiel, Mai 2002
- M. Hanus, *Embedding Processes in a Declarative Programming Language*, Kolloquium, Univ. Politecnica de Madrid, Mai 2002

- M. Hanus, *An Operational Semantics for Declarative Multi-Paradigm Languages*, International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2002), Grado, Juni 2002.
- M. Hanus, *CurryDoc: A Documentation Tool for Declarative Programs*, International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2002), Grado, Juni 2002.
- M. Hanus, *Embedding Processes in a Declarative Programming Language*, Kolloquium, Univ. Politecnica de Valencia, September 2002
- M. Hanus, *Functional Logic Design Patterns*, 6th International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2002), Aizu (Japan), September 2002
- F. Huch, *A Debugger for Concurrent Haskell*, 14th International Workshop on the Implementation of Functional Languages, Madrid, September 2002
- F. Huch, *A Debugger for Concurrent Haskell*, GI-Workshop "Programmiersprachen und Rechenkonzepte", Bad Honnef, Mai 2002.
- F. Huch, *A Debugger for Concurrent Haskell*, Kolloquium, Univ. Politecnica de Valencia, September 2002
- K. Höppner, *Programmierung von autonomen Robotern in Curry*, GI-Workshop "Programmiersprachen und Rechenkonzepte", Bad Honnef, Mai 2002.
- K. Höppner, *Programming Autonomous Robots in Curry*, International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2002), Grado, Juni 2002.

**Andere Aktivitäten und Ereignisse:**

W. Goerigk:

- Organisation des Workshops Programmiersprachen und Rechenkonzepte Bad Honnef, 2002
- Mitglied im Programmkomitee von ACL2 2002 (3rd International Workshop on the ACL2 Theorem Prover and its Applications) Grenoble (France), 2002
- Mitglied im Fachbereich 2 (Softwaretechnik) der Gesellschaft für Informatik
- Sprecher der Fachgruppe Programmiersprachen und Rechenkonzepte der Gesellschaft für Informatik
- Stellv. Sprecher der Fachgruppe Deklarative Sprachen der Gesellschaft für Informatik

M. Hanus:

- Mitglied im Programmkomitee von PEPM'02 (2002 ACM SIGPLAN Workshop on Partial Evaluation and Semantics-Based Program Manipulation), Portland (Oregon), 2002
- Mitglied im Programmkomitee von WFLP 2002 (11th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming), Grado, 2002
- Mitglied im Programmkomitee von WRS 2002 (Second International Workshop on Reduction Strategies in Rewriting and Programming), Kopenhagen, 2002
- Mitglied im Programmkomitee der FLOPS 2002 (6th International Symposium on Functional and Logic Programming), Aizu (Japan), 2002
- Mitglied im Programmkomitee von LOPSTR 2002 (12th International Workshop on Logic-based Program Synthesis and Transformation), Madrid, 2002
- Organisation des Workshops "Multiparadigm Constraint Programming Languages" im Rahmen der CP 2002 (International Conference on Constraint Programming), Cornell, 2002 (zusammen mit Slim Abdennadher, Universität München, und Petra Hofstedt, Technische Universität Berlin)
- Organisation des Workshops "Functional and Declarative Programming in Education 2002" im Rahmen der PLI'02 (Colloquium on Principles, Logics, and Implementations of High-Level

Programming Languages), Pittsburgh, 2002 (zusammen mit Shriram Krishnamurthi, Brown University, und Simon Thompson, University of Kent)

Mitglied im Programmkomitee von WAAAPL'02 (ACM SIGPLAN Workshop on Algorithmic Aspects of Advanced Programming Languages), Pittsburgh, 2002

Mitglied im Editorial Board des Journal of Functional and Logic Programming

## Professur für Rechnergestützte Programmentwicklung

Prof. Dr. Rudolf Berghammer

Aus vielfältigen Gründen gewinnen formale Methoden zur Erstellung umfangreicher korrekter Software immer stärkere Bedeutung. So ist etwa der Einsatz von Programmsystemen in sehr sicherheitskritischen Bereichen nur dann noch zu verantworten, wenn eine weitgehende Funktionsgarantie gegeben werden kann. Auch Wirtschaftlichkeit ist mittlerweile ein Grund für Korrektheit, denn Fehler im Softwareentwurf und die Folgekosten für ihre nachträgliche Beseitigung erhöhen die Gesamtkosten eines Produkts oft unangemessen.

Durch die Anwendung von formalen Methoden wird das Spezifizieren, Verifizieren und Entwickeln von Software zu einer streng mathematischen Beschäftigung, in deren Verlauf die Korrektheit durch das Führen von Beweisen sichergestellt wird. Jedoch sind die Korrektheitsbeweise für einigermaßen realistische Programme von solch großer Komplexität, dass sie ohne den Einsatz geeigneter Programmiersprachen (mit insbesondere mathematisch formalisierter Semantik) und Rechnerunterstützung für Menschen im allgemeinen nicht beherrschbar sind. Aus dieser Einsicht entstanden, zunächst im universitären Umfeld, kleinere Ad-hoc-Programme für diesen Aufgabenbereich, denen dann, nun auch unter Industriebeteiligung, größere und mittlerweile auch ausgereiferte Werkzeuge mit breiteren Einsatzmöglichkeiten folgten.

Damit fand und findet das Gebiet "Rechnergestützte Programmentwicklung" immer breitere Anwendungen. Es ist seit 1993 auch an der Technischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität Kiel durch eine spezielle Arbeitsgruppe vertreten. Waren anfangs noch die Untersuchungen der theoretischen Grundlagen dominierend, so gewannen in den letzten Jahren, auch bedingt durch die Entwicklung eigener Werkzeuge, Überlegungen zur Methodik, zu praktischen Anwendungen und auch zum Einsatz von Werkzeugen in der universitären Ausbildung immer stärkere Bedeutung.

### Ergebnisse

Ein erster Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe im Jahr 2002 war die Untersuchung der semantischen und methodischen Grundlagen von Programmiersprachen und Programmentwicklung unter zusätzliche Berücksichtigung von logischen Aspekten und unterstützenden Programmsystemen. Dies betrifft insbesondere den Einsatz von nichtdeterministischen und höheren funktionalen Konstrukten und deren Auswirkung auf die formale Semantikdefinition, Untersuchungen zu Spezifikationsmechanismen (beispielsweise algebraische oder relationale Spezifikationen) und die Anwendung von formalen Methoden zur Verifikation bzw. (transformationellen) Entwicklung von Programmen.

Weiterhin befassten wir uns im abgelaufenen Jahr 2002 als zweiten Forschungsschwerpunkt mit der Anwendung von relationalen Methoden in der Informatik. Beispiele hierzu sind die eben schon erwähnten relationalen Problemspezifikationen; hierzu kommen etwa noch Methoden zu deren schnellen Erprobung (Rapid Prototyping) und die Deduktion von relationalen Programmen aus ihnen durch Kombination des relationalen Kalküls mit formalen Methoden der Programmentwicklung. Die Konstruktion von Programmsystemen zur Unterstützung dieser Prozesse wird seit einigen Jahren nicht nur theoretisch untersucht, sondern im Rahmen des Werkzeugs RELVIEW auch praktisch betrieben. RELVIEW ist ein auf binäre Entscheidungsdiagramme (sogenannte BDDs) aufbauendes Computersystem zur Manipulation und Visualisierung von relationalalgebraischen Berechnungen.

Als dritte Haupttätigkeit im Jahr 2002 ist die Anwendung von graphentheoretischen Konzepten in der Informatik und die formale Entwicklung von graphentheoretischen Algorithmen zu nennen. Dies beinhaltete beispielsweise die Verwendung von Graphen zur Modellbildung und bei Softwarevisualisierung und Programmanimation. Zwei weitere Beispiele sind die Entwicklung von generischen Programmen auf Mengen und deren Instantiierung zur Lösung von graphentheoretischen Problemen bzw. die Parametrisierung von Algorithmen der Graphentheorie unter Verwendung eines sich am Übersetzerbau orientierenden Vererbung/Synthese-Durchlaufs in Verbindung mit den Konzepten "Signatur", "Struktur" und "Funktor" der Programmiersprache SML. Auch die Implementierung der Algebra der Relationen mittels binärer Entscheidungsdiagramme entspricht der Anwendung eines graphentheoretischen Konzepts in der Informatik. Bei den Anwendungen konzentrierten wir uns sowohl auf funktionale als auch imperative Programmierung. Mit Hilfe des zweiten Paradigmas gelang es uns beispielsweise, einen neuen Approximationsalgorithmus für das bekannte Bin-Packing-Problem zu entwickeln, der - vorausgesetzt P ist ungleich NP - sowohl in der Laufzeit als auch in der absoluten Approximationsgüte optimal ist. Dieses Resultat wurde bei der Zeitschrift "Science of Computer Programming" eingereicht und noch im Jahr 2002 zur Publikation angenommen.

Im Jahr 2002 konnte die BDD-Implementierung von RELVIEW erfolgreich beendet werden. Die neue Systemversion wurde dann mehrfach mit Erfolg vorgeführt und ist mittlerweile, wie auch die bisherige Version, weltweit in Gebrauch. Beispielsweise wird das System an der McMaster University (Hamilton, Kanada) sogar in der Lehre eingesetzt. Selbstverständlich ist dies auch an der Universität Kiel der Fall. Spezielle Einzelheiten der BDD-Implementierung und einige Anwendungen von RELVIEW wurden im Tagungsband des 6. Internationalen Workshop "Relational Methods in Computer Science" sowie in einer Dissertation (T. Hoffmann) publiziert. Neuere Arbeiten, die noch im Jahr 2001 begonnen wurden, befassen sich mit der Anwendung von Relationenalgebra und, darauf aufbauend, dem Einsatz von RELVIEW, bei der Architektur von Software-Systemen. Insbesondere wird das System derzeit dazu verwendet, die Etablierung und Aufrechterhaltung von Invarianten zu überprüfen, die bei der 3D-Darstellung und der darauf aufbauenden Manipulation von JAVA-Programmen auftreten. Diese Arbeiten werden zusammen mit der Gruppe von E.-E. Doberkat an der Universität Dortmund durchgeführt; erste Resultate wurden zur Publikation beim 7. Internationalen Workshop "Relational Methods in Computer Science" eingereicht und angenommen.

Bei der formalen Entwicklung von relationalen Programmen wurden viele Bereiche der diskreten Mathematik abgedeckt. Wir waren beispielsweise in der Lage, mit Hilfe von solchen Programmen ordnungs- und verbandstheoretische Probleme zu lösen, sowie Probleme auf Petri-Netzen, graphentheoretische Probleme und sogar das Problem, die Permanente einer 0/1-Matrix exakt zu bestimmen. Viele der Programmwicklungen findet man, zusammen mit Anwendungen, in der Dissertation von T. Hoffmann; weitere werden u.a. in dem Artikel "Prototyping and programming with relations" der Zeitschrift "Electronic Notes on Theoretical Computer Science" erscheinen.

Der Einsatz von RELVIEW an der Universität Kiel in der Lehre erfolgt im Hauptstudium. Speziell für das Grundstudium wurde in den letzten Jahren das Werkzeug KIEL entwickelt. Mit KIEL kann die Auswertung von funktionalen Programmen, geschrieben in einer für Anfänger geeigneten Teilsprache der Programmiersprache SML, interaktiv visualisiert werden. So eine Möglichkeit erleichtert in der Regel dem Anfänger den Einstieg in diese Art von Programmierung und kann auch dem fortgeschrittenen Programmierer zur Fehlersuche dienen. Um KIEL nicht nur

an den Rechnern des Instituts für Informatik und Praktische Mathematik nutzen zu können, wurde im Jahr 2002 sowohl eine Version für das PC-Betriebssystem Linux als auch eine über das World-Wide-Web aufrufbare Online-Version in Form eines JAVA-Applets erstellt.

Die letzte Systementwicklung unserer Gruppe im Jahr 2002 betrifft das bekannte Werkzeug RAP, welches in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts an der Universität Passau zum prototypischen Rechnen mit und zur Validierung von algebraischen Spezifikationen entwickelt wurde. Wegen seiner einfach gehaltenen Spezifikationssprache und Kontrollmöglichkeiten ist das System insbesondere für die Lehre sehr geeignet. Leider besitzt es keine graphische Benutzeroberfläche und entspricht damit in dieser Beziehung nicht mehr den modernen Anforderungen. Unter Ausnutzung spezieller Gegebenheiten von sowohl RAP als auch der Programmiersprache JAVA gelang es uns, durch ein JAVA-Programm das RAP-System mit einer modernen Benutzeroberfläche zu versehen und damit die Attraktivität des Systems im Unterricht wesentlich zu steigern. Aufbauend auf die bei der Erstellung von JAVA-RAP gewonnenen Erkenntnisse wird derzeit im Rahmen einer Diplomarbeit eine moderne Benutzeroberfläche für das SML/NJ-System erstellt.

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Rudolf Berghammer; Sekretariat: Ulrike Pollakowski-Geuther

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Hoffmann, Thorsten 1.1.-14.7.02 CAU Formale Entwicklung relationaler Programme

Dipl.-Inf. Milanese, Ulf 1.1.-31.12.02 CAU Implementierung von Relationenalgebra mittels geordneter binärer Entscheidungsdiagramm

Dipl.-Inf. Neumann, Frank 15.9.-31.12.02 CAU Untersuchungen zu generischen und evolutionären Algorithmen.

Dr. Halfpap, Martin (¼) 1.10-31.12.02 CAU Didaktik der Informatik und Lehrerfortbildung

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

*Winter 2001/02*

Semantik von Programmiersprachen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Berghammer (+ U. Milanese).

Verbands- und Relationentheorie mit Anwendungen in der Informatik, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

R. Berghammer (+ T. Hoffmann).

Programmierung graphischer Benutzeroberflächen in JAVA, 2 Std. Praktikum/Woche,

R. Berghammer (+ U. Milanese).

Informatik, Logik und Mathematik, 2 Std. Arbeitsgemeinschaft/Woche

R. Berghammer, M. Hanus, H. Langmaack, A. Srivastav.

*Sommer 2002*

Formale Methoden der Programmierung und unterstützende Werkzeuge, 4(+2) Std. Vorlesung

(+Übungen)/Woche,

R. Berghammer (+ T. Hoffmann).

Ausgewählte Themen aus der Semantik von Programmiersprachen, 2 Std. Seminar/Woche,

R. Berghammer (+ T. Hoffmann, U. Milanese).

Implementierung von Algorithmen zum schönen Zeichnen von Graphen, 2 Std. Praktikum/Woche,  
R. Berghammer (+ U. Milanese).

Informatik, Logik und Mathematik, 2 Std. Arbeitsgemeinschaft/Woche  
R. Berghammer, M. Hanus, H. Langmaack, A. Srivastav.

#### *Winter 2002/03*

Informatik I, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
R. Berghammer (+ U. Milanese, F. Neumann).

Programmierpraktikum zu Informatik I, 2 Std. Praktikum/Woche,  
R. Berghammer (+ U. Milanese, F. Neumann).

Rechnergestützte Programmentwicklung, 2 Std. Seminar/Woche,  
R. Berghammer (+ U. Milanese, F. Neumann).

Informatik, Logik und Mathematik, 2 Std. Arbeitsgemeinschaft/Woche  
R. Berghammer, M. Hanus, H. Langmaack, A. Srivastav.

#### **Drittmittel**

DAAD, *Projektbezogener Personenaustausch mit Argentinien (PROALAR)*, 1.1.2001 - 31.12. 2002

Partner sind die Universitäten Augsburg, Buenos Aires, Cordoba und Kiel. Sowohl für 2001 als auch für 2002 wurden jeweils 7,3 kEUR bewilligt. Ein Weiterförderungsantrag wurde noch 2002 gestellt.

#### **Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Mit der Arbeitsgruppe von W. Dosch an der Universität Lübeck besteht eine enge Zusammenarbeit im Rahmen des Projekts "Teachware". Ziel ist es, die gemeinsamen Bemühungen bei der Erstellung von Software zur Unterstützung der Lehre zu bündeln. Die bisher erstellten Systeme werden auf dem World-Wide-Web kostenlos zur Verfügung gestellt; siehe URL [http://www.isp.mu-luebeck.de/html/software/klp/index\\_d.shtml](http://www.isp.mu-luebeck.de/html/software/klp/index_d.shtml).

Im Bereich der formalen Programmentwicklung durch Transformationen wird insbesondere mit den Gruppen von W. Dosch (Universität Lübeck), B. Möller (Universität Augsburg) und G. Schmidt (Universität der Bundeswehr München) eng zusammengearbeitet.

Bei den Anwendungen von relationalen Methoden in der Informatik besteht seit langem ein enger Kontakt mit den Gruppen von B. Möller und G. Schmidt. Insbesondere wurde die Entwicklung von RELVIEW in Abstimmung mit der Gruppe von G. Schmidt betrieben. Aufbauend auf Vorarbeiten mit der Gruppe von C. Lewerentz an der Universität Cottbus wurde im Jahr 2002 ein gemeinsames Projekt mit der Arbeitsgruppe von E.-E. Doberkat (Universität Dortmund) gestartet, welches sich mit dem Einsatz von Relationenalgebra und RELVIEW bei der Architektur von Software-Systemen beschäftigt (vergleiche mit oben).

R. Berghammer ist Mitglied der internationalen Initiative RelMiCS (Relational Methods in Computer Science) und der COST Aktion 274 TARKI (Theory and Applications of Relational Structures as Knowledge Instruments) der EU. Einzelheiten findet man im Word-Wide-Web unter den URLs <http://www.relmics.org> bzw. <http://www.tarski.org>. Von der Arbeitsgruppe "Rechnergestützte Programmentwicklung" wird derzeit die nächste RelMiCS/TARKI-Konferenz organisiert, die im Mai 2003 in Malente stattfinden wird.

R. Berghammer und U. Milanese sind an der Initiative "Softwarevisualisierung" beteiligt. Diese Initiative versucht, die Bemühungen von deutschen Wissenschaftlern bei der Visualisierung von

Software und der Animation von Algorithmen zu koordinieren. Einzelheiten findet man im World-Wide-Web unter der URL <http://www.softwarevisualisierung.de> im World Wide Web.

### Diplom- and Master-Arbeiten

T. Bache: *Vergleich zweier Verfahren zur Berechnung von Permanenten*, 22. April 2002

H. Marzguioui: Zur Darstellbarkeit von Relationenalgebren, 6. August 2002

### Dissertation

T. Hoffmann, *Fallstudien relationaler Programmierung am Beispiel ausgewählter Graphdurchlaufstrategien*, 29. Mai 2002

### Veröffentlichungen

R. Berghammer, B. Leoniuk, U. Milanese, *Implementation of relational algebra using binary decision diagrams*, Proc. 6th International Workshop on Relational Methods in Computer Science, LNCS **2561**, Springer, 241 - 257 (2002)

R. Berghammer, T. Hoffmann, *Calculating a relational program for transitive reductions of strongly connected graphs*, Proc. 6th International Workshop on Relational Methods in Computer Science, LNCS **2561**, Springer, 258 - 275 (2002)

R. Berghammer, U. Milanese, *JAVA-RAP - A modern user interface for RAP*, Proc. 16th International Workshop on Algebraic Development Techniques (WADT 2002), Institut für Informatik, Universität München, 85 - 86 (2002)

R. Berghammer, *A generic program for minimal subsets with applications*, Proc. 12th International Workshop on Logic Based Program Development and Transformation (LOPSTR '02), Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, 142 - 155 (2002)

T. Hoffmann, *Fallstudien relationaler Programmierung am Beispiel ausgewählter Graphdurchlaufstrategien*, Logos-Verlag (2002)

### Präsentationen

R. Berghammer, *Elimination von Hilfsvariablen durch Transformation von Beweisskizzen*, Kolloquiumsvortrag, Fakultät für Informatik, Universität der Bundeswehr München, 7.1. 2002

R. Berghammer, *Ein linearer Approximationsalgorithmus für das Bin-Packing-Problem mit einer absoluten Approximationsgüte 3/2*, Kolloquiumsvortrag, Fakultät für Informatik, Universität der Bundeswehr München, 7.4. 2002

R. Berghammer, *Prototyping and programming with relations*, COST 274/TARSKI Workshop, L'Aquila, Italien, 11. - 13.4. 2002

R. Berghammer, *Rechnergestützte Entwicklung relationaler Programme*, Kolloquiumsvortrag, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund, 23.5. 2002

R. Berghammer, *Computer-aided development of relational programs*, Symposium on Relational Reasoning, TU Eindhoven, Niederlande, 5.7. 2002

R. Berghammer, *A generic program for minimal subsets with applications*, 12th International Workshop on Logic Based Program Development and Transformation (LOPSTR '02), Universidad Politécnica de Madrid, 17.9. - 20.9. 2002

R. Berghammer, *JAVA-RAP - A modern user interface for RAP*, 16th International Workshop on Algebraic Development Techniques (WADT 2002), Frauenchiemsee, 24.9. - 27.9. 2002

R. Berghammer, *Multimedia Campus Kiel - A concept for the future?* Education Quality Forum: Wirkungen und Wirksamkeit Neuer Medien in der Bildung, Kongresszentrum Dortmund, 21.11. - 22.11. 2002

R. Berghammer, *Elimination von Hilfsvariablen durch Transformation von Beweisskizzen*, Gastvortrag, Institut für Softwaretechnik und Programmiersprachen, Universität Lübeck, 20.12. 2002

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

R. Berghammer war externer Gutachter bei einer Habilitation an der Universität der Bundeswehr München (Birgit Elbl) und einer Promotion an der Universität Lübeck (Sönke Magnussen). R. Berghammer war zusammen mit W. Reif von der Universität Augsburg, Leiter des 5. Internationalen Workshops "Tools for System Design and Verification", der vom 15. bis 17. Juli 2002 auf der Reisensburg bei Günzburg stattfand.

R. Berghammer ist derzeit einer der Herausgeber der elektronischen Zeitschrift "Journal on Relational Methods in Computer Science".

R. Berghammer ist derzeit stellvertretender Vorsitzender des Aufsichtsrats der Firma Ariva.de, einer Gründung von ehemaligen und derzeitigen Kieler Informatikstudenten.

## Lehrstuhl für Rechnerorganisation

### Prof. Dr. Werner Kluge

Die wissenschaftlichen Arbeiten konzentrierten sich im wesentlichen auf zwei Projekte:

SAC (Single Assignment C): befasst sich mit der Entwicklung und Implementierung einer funktionalen, auf C basierenden Programmiersprache mit besonderer Unterstützung eines ausgefeilten Array Konzeptes für numerische Anwendungen. Am Beginn des Jahres lagen eine erste vollständige Implementierung von SAC (Compiler, Laufzeitsystem) inklusive einer auf einem shared memory Multiprozessorsystem ausführbaren Version vor, für die Leistungsdaten, die z.B. denen von entsprechenden FORTRAN Implementierungen mindestens ebenbürtig sind und deutlich besser skalieren.

Diese Arbeiten haben in der funktionalen Community sehr viel Anerkennung gefunden. Allerdings haben intensive Tests mit Anwendungsprogrammen einige potentielle Verbesserungsansätze offenbart. So wird beispielsweise bereits seit einiger Zeit an einem weniger restriktiven Typsystem sowie einer vollkommenen Überarbeitung des Backend des Compiler gearbeitet. Abstrakte Lambda-Kalkül Maschine: betrifft weiterführende Entwicklungen zur maschinellen Unterstützung eines vollständigen Lambda Kalküls, der u.a. symbolische Berechnungen, wie z.B. die Vereinfachung variablenbehafteter Ausdrücke oder die Berechnung neuer aus gegebenen Funktionen, ohne Zwischenschaltung einer Metasprachebene erlaubt. Hierzu lag am Beginn des Jahres die unvollständige Beschreibung eines sog. headorder Reduktionskonzeptes vor, das nach Umsetzung in eine code-ausführende abstrakte Maschine verlangte, um es praktisch zu erproben.

## Ergebnisse

### SAC (*Single Assignment C*)

Das Typinferenzsystem der bisherigen Compiler-Distribution (vergl. <http://wwac-home.org/>) akzeptiert ausschließlich Programme, für die es möglich ist, zur Kompilationszeit die genaue Form aller zur Laufzeit auftretenden Arrays zu bestimmen. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, fanden schon seit einiger Zeit Arbeiten zu einem weniger restriktiven Typsystem statt. Diese konnten 2002 abgeschlossen werden. Das Ergebnis ist ein auf intersection types basierendes Typsystem, das nicht die Formbeschränkung aufhebt, sondern auch bereits Funktionen höherer Ordnung sowie partielle Anwendungen unterstützt. Die Aufhebung der Formbeschränkung hat jedoch nicht unerhebliche Konsequenzen für den Typinferenzalgorithmus, da das gesamte Typsystem auf einer unendlichen Hierarchie von Subtypen basiert und somit prinzipiell unentscheidbar ist. Das wesentliche Ergebnis in bezug auf das Typsystem liegt daher in der Entwicklung eines Typinferenzalgorithmus mit vertretbarer polynominaler Komplexität. Eine Implementierung des Kernes des Algorithmus konnte ebenfalls 2002 erreicht werden. Die Erweiterung des Typsystems von SAC führt zu einer Vielfalt von zur Kompilationszeit über Arrays verfügbaren (Form-)Informationen. Um die Effizienzvorteile der alten Compiler-Version aufrecht erhalten zu können, wurde eine ganz neue Technik der Code-Erzeugung entwickelt, ein sog. generisches Backend. Die Kernidee ist es dabei, für Arrays mit unterschiedlicher statisch verfügbarer Forminformation auch zur Laufzeit verschiedene Array-Repräsentationen zu verwenden. Dazu ist erforderlich, die gesamte Code-Erzeugung über die verschiedenen Niveaus der verfügbaren Forminformation zu parametrisieren. Darüber hinaus müssen Code-Teile zur dynamischen Konvertierung der einzelnen Repräsentationen

sowie Code zum dynamischen dispatch bei der Verwendung bezüglich der Subtyp-Hierarchie überladenen Funktionen erzeugt werden. Neben der Ausarbeitung der dazu erforderlichen Kompilationsschemata konnte ein großer Teil der dazugehörigen Implementierung geschaffen werden.

Unabhängig von den beiden oben genannten Kernerweiterungen wurden noch etliche kleine Erweiterungen geschaffen. So wurde SAC beispielsweise um Infix-Notationen benutzerdefinierter Funktionen ergänzt sowie eine neue, an Tensornotation erinnernde Schreibweise für die Definition von Array Operationen, die so genannte Axis Controlnotation, entwickelt. Sie wurde in Form einer neuen Preprocessor-Phase in den Compiler integriert.

Neben diesen Weiterentwicklungen des Compilers ist vor allem ein 56-seitiger Artikel entstanden, der die wesentlichen Aspekte des Sprachdesigns sowie des SAC Basis-Compilers umfassend beschreibt.

Abstrakte Lambda-Kalkül Maschine: für die Maschine wurden ein Instruktionssatz, dessen Ausführung sowie die dafür erforderliche Laufzeitumgebung spezifiziert. Charakteristisch sind zwei gegenläufig arbeitende Instruktionsströme, von denen der eine durch Übersetzung von Hochsprachenprogrammen erzeugt und in Vorwärtsrichtung ausgeführt wird, dabei dynamisch den anderen erzeugt, der durch Ausführung in Rückwärtsrichtung einen Ergebnisgraphen produziert. Für diese Maschine wurde ein präzises Simulationsmodell entwickelt, das es gestattet, im Rahmen genauer Laufzeitmessungen an ausgesuchten Programmbeispielen den zusätzlichen Aufwand für vollständige beta-Reduktionen im Vergleich zu naiven Substitutionen, wie sie für die Ausführung konventioneller Programme üblich sind, zu bestimmen. Die Ergebnisse dazu sind unter der unten angegebenen Referenz Kluge veröffentlicht. Außerdem ist eine größere Monographie über „Abstract Computing Machines“ als Abschluss unserer langjährigen Forschung auf dem Gebiet funktionaler Rechnersysteme in Vorbereitung, in der u.a. diese Arbeit in einen größeren Kontext eingeordnet wird.

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Werner Kluge

Technisches Personal: Jürgen Noss

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Kreye, Dietmar 1.1.-31.12.02 CAU Entwicklung eines generischen Back-End für SAC

Dr. Scholz, Sven-Bodo 1.1.-31.12.02 CAU Entwicklung eines Typinferenzsystems für SAC

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

*Winter 2001/2002*

Digitale Systeme, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Kluge (+ D. Kreye, S.-B. Scholz)

Abstrakte Maschinen, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Kluge (+ S.-B. Scholz)

Hardware-Praktikum, 4 Std./Woche,

W. Kluge (+ J. Noss)

*Sommer 2002*

Organisation und Architektur von Rechnern, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Kluge (+ D. Kreye, S.-B. Scholz)

Moderne Prozessor- und Systemarchitektur, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Kluge

Quantencomputing, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,

W. Kluge

Hardware-Praktikum, 4 Std./Woche,

W. Kluge (+ J. Noss)

*Winter 2002/2003*

Seminar Quantencomputing,

W. Kluge

Hardware-Praktikum, 4 Std./Woche,

W. Kluge (+ J. Noss)

### Drittmittel

DFG, *Untersuchung des perfekten Managements einer deutschen Technischen Fakultät*

1.7.01 - 30.6.03 (30,7 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen

Prof. A. Shafarenko, University of Hertfordshire, England.

Prof. M. Amamiya, Kyushu University, Japan.

Prof. T. Abdelrahman, University of Toronto, Canada.

R. Bernecky, University of Toronto, Canada.

### Diplom- und Master-Arbeiten

Borg Enders, Lazy Abstract Stack Machine: Ein interaktiver Evaluator für ein vollständiges Lambda-Kalkül, November 2002.

Florian Schulz, Zur Hardwaresimulation einer streng normalisierenden Lambda-Kalkül-Maschine, Prüfungen stehen noch aus.

Jochen Koberstein und Oliver Schmitz, *Realisierung eines geordneten Mehrzugbetriebs auf einer Modellbahnanlage*, Prüfungen stehen noch aus.

### Veröffentlichungen

C. Grelck, *Optimizations on Array Skeletons in a Shared Memory Environment*, Selected Papers of IFL' 01, LNCS **2312**, 36-54, Springer, 2002

D. Kreye, *A Compilation Scheme for a Hierarchy of Array Types*, Selected Papers of IFL' 01, LNCS **2312**, 18-35, Springer, 2002

S.-B. Scholz, *Single Assignment C - efficient support for high-level array options in a functional setting*, 56 pages, Journal of Functional Programming, accepted for publication.

W. Kluge, *An Abstract Lambda Calculus Machine*, Proceedings of IFL'02, Technical Report 127-02, Universidad Complutense de Madrid, 2002

C. Grelck, S.B. Scholz, *Introducing generalized rank conjunctions to SaC or how to write and compile nested array operations*, Proceedings of '02, Technical Report 127-02, Universidad Complutense de Madrid, 2002

S.-B. Scholz, *An algorithm for inferring array types with varying levels of shape information*, Proceedings of IFL'02, Technical Report 127-02, Universidad Complutense de Madrid, 2002

**Präsentationen**

W. Kluge, *Reversible Computing*, Fachausschuss Physik, Informatik, Informationstechnik, Frankfurt am Main, 19.7.02

S.-B. Scholz, *Generic array programming in SaC*, University of Toronto, Canada, 6.11.02.

W. Kluge, *Das Kicking-Horse-Pass Problem*, Universität Lübeck, 27.11.02

S.-B. Scholz, *Functional programming as a basis for high-performance array computations*, University of Rochester, USA, 6.12.02

## Lehrstuhl für Softwaretechnologie

Prof. Dr. Willem-Paul de Roever

Der Lehrstuhl Softwaretechnologie konzentriert seine Forschung auf formale Methoden und werkzeuggestützte Entwicklung und Verifikation von nebenläufigen Programmen in Java (von E. Abraham-Mumm, M. Steffen und W.-P. de Roever) sowie eingebettete Echtzeitsysteme innerhalb einer UML-Umgebung (von M. Kyas). Im allgemeinen erfolgt die Grundlagenforschung in Objekt-Orientierung (O.-O.) in Programmiersprachen; z.B. wird von Martin Steffen ein voll abstraktes Modell für O.-O.-Klassen entwickelt. Neben diesen Themen werden 4 Dissertationen (betreut durch Yassine Laknech, ehemaliges Mitglied des Lehrstuhls und jetzt Professor an der Université Joseph Fourier, Grenoble) abgeschlossen, u.z.: *Abstraction-Based Verification of Parameterized Networks* (K. Baukus), *Exploring the Limits of Parameterized System Verification* (K. Stahl), *Software Verification for Programmable Logic Controllers* (R. Huuck) und *Compositional Verification of Real-time and Hybrid Systems* (wie z.B. chemische Reaktoren - B. Lukoschus).

### Ergebnisse

Die im Jahr 2002 durch die Mitglieder des Lehrstuhls erzielten wichtigsten Forschungsergebnisse sind:

- Eine Beweistheorie für mehrfädige Nebenläufigkeit und Monitore in Java; diese ist die Erste ihrer Art weltweit, da andernorts die Forschung mehr in Richtung einer Formalisierung sequentieller Teilbereiche von Java fokussiert wird. Der im Lehrstuhl berücksichtigte Teilbereich betrifft dagegen einen repräsentativen Teil von nebenläufigen Programmierkonzepten in Java. Diese Ergebnisse wurden in Kooperation mit Dr. F. de Boer, CWI, Amsterdam, durch E. Ábrahám, M. Steffen und W.-P. de Roever erzielt. An der Rechnerunterstützung für die Beweistheorie wird gearbeitet. Wir arbeiten an einer Fallstudie in Zusammenarbeit mit NASA Langley Institute, die die Verifikation eines Algorithmus zur Kollisionsvermeidung beinhaltet.
- Eine Beschreibung der Erweiterung von OCL (ein wichtiger Bestandteil von UML) mit dem Schwerpunkt Spezifikation und Verifikation von O.-O.-Programmierkonzepten und Echtzeit (M. Kyas, betreut durch Dr. F. de Boer, CWI, Amsterdam).
- Die Dissertation von R. Huuck (Mitte Januar 2003 eingereicht) über *Software Verification for Programmable Logic Controllers* enthält Material aus 9 Veröffentlichungen des Autors zu diesem Thema.

In 2002 arbeiteten 7 Mitglieder des Lehrstuhls an ihrer Dissertation und ein Assistent an seiner Habilitation. Die Fertigstellung von fünf dieser Dissertationen wird in 2003 oder 2004 erwartet, während die Habilitationsschrift voraussichtlich 2005 fertiggestellt sein wird.

### Personal

Leiter: Prof. Dr. Willem-Paul de Roever; Sekretariat: Änne Straßner

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Inf.	1.1.-31.12.02	DFG (3/4)	Mobi-J: Assertion Methods for Mobile
Ábrahám, Erika (Doktorandin)	1.1.-31.12.02	EU (1/4)	'Asynchronous Channels in Java', RO1122/9-1 OMEGA: IST-Correct Development of Real-time
Dipl.-Inf. Baukus, Kai (Doktorand)	1.1.-31.12.02	CAU	Embedded Systems in UML', IST-2001-33522 Sicherung der Lehre und wiss. Ausbildung

Dipl.-Inf. Huuck, 1.1.-31.12.02 Ralf (Doktorand)	Integration von Techniken der Software-spezifikation für ingenieurwissenschaftliche Anwendungen', RO 1122/10-2
Dipl.-Inf. Kyas, 1.1.-31.12.02 EU (3/4) Marcel (Doktorand)	OMEGA: IST-Correct Development of Real-time Embedded Systems in UML, IST-2001/33522
DFG (1/4)	Mobi-J: Assertion Methods for Mobile Asynchronous Channels in Java, RO1122/9-1
Dipl.-Inf. Lukoschus , Ben (Doktorand)	Sicherung der Lehre und wiss. Ausbildung
Dipl.-Inf. Rehman, 1.-31.12.02 DFG Shafiq (Doktorand)	Mobi-J: Assertion Methods for Mobile Asynchronous Channels in Java, RO1122/9-1
Dipl.-Inf. Stahl, 1.1.-31.12.02 CAU Karsten (Doktorand)	Sicherung der Lehre und wiss. Ausbildung
Dr. Steffen, Martin 1.1.-31.12.02 CAU (Assistent)	Sicherung der Lehre und wiss. Ausbildung

### **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

#### *Winter 2001/2002*

Algorithmen & Datenstrukturen, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
M. Steffen

Diplomandenseminar, 2 Std./Woche,  
W.-P. de Roever

Informatik III, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W.-P. de Roever (+M. Steffen, K. Baukus)

Modelle und Spezifikation verteilter Systeme, 3(+2) Std. Vorlesung(+Übungen)/Woche,  
W.-P. de Roever (+K. Stahl)

Oberseminar Softwaretechnologie, 2 Std./Woche,  
W.-P. de Roever

Praktikum Algorithmen & Datenstrukturen, 2 Std./Woche,  
M. Steffen

Seminar Softwaretechnologie "Komponentenbasierte Softwareentwicklung", 2 Std./Woche,  
W.-P. de Roever

#### *Sommer 2002*

Fortgeschrittenen-Praktikum "Programming-in-the-many: Java", 8 Std./Woche,  
M. Steffen (+K. Stahl)

Projektpraktikum Software-Systeme, 2 Std./Woche,  
W.-P. de Roever, M. Kyas

Synchrone Sprachen und Modellierungswerkzeuge, 4 Std. Vorlesung(+Übungen)/Woche,  
R. v. Hanxleden, W.-P. de Roever (+J. Lukoschus, K. Baukus)

Verteilte Algorithmen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W.-P. de Roever (+ K. Baukus)

#### *Winter 2002/2003*

Algorithmen & Datenstrukturen, 2 Std. Vorlesung/Woche,

M. Steffen  
Entwurf eingebetteter Echtzeitsysteme, 4 Std./Woche,  
R. v. Hanxleden, W.-P. de Roever, M. Steffen, J. Lukoschus  
Informatik III, 3(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W.-P. de Roever (+K. Baukus)  
Verifikation nebenläufiger Programme, 4(+2) Std. Vorlesung(+Übungen)/Woche,  
W.-P. de Roever (+K. Stahl)  
Praktikum Algorithmen & Datenstrukturen, 2 Std./Woche,  
M. Steffen  
Seminar über Softwaretechnologie: "Verteilte Algorithmen", 2 Std./Woche,  
W.-P. de Roever

### Drittmittel

DFG, *Integrierte algorithmische und deduktive Verifikation verteilter Steuerungssysteme für hybride Prozesse*, 1.2.01 - 30.6.02 (5,0 kEUR)  
DFG, *Integration von Techniken der Softwarespezifikation für ingenieurwissenschaftliche Anwendungen*, 1.1.02 - 31.12.03 (127,8 kEUR)  
DFG, *Integrierte algorithmische und deduktive Verifikation verteilter Steuerungssysteme für hybride Prozesse*, 1.1.02 - 31.12.02 (58,4 kEUR)  
DFG, *Mobi-J: Assertion Methods for Mobile Asynchronous Channels in Java*, 15.9.01 - 14.9.03 (181,5 kEUR)  
EU, *OMEGA: IST-Correct Development of Real-time Embedded Systems in UML*- IST-2001/33522, 1.1.02 - 31.12.04 (258,8 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen

Enge Zusammenarbeit in den Projekten „Mobi-J“ und „Omega“ mit dem Team von Dr. F. de Boer, Centre for Computer Science and Mathematics, CWI, Amsterdam. Vollständige Liste der Partner im IST-Projekt „Omega“: Verimag (Grenoble), EADS Launch Vehicles (Toulouse), Israel Aircraft Industries, National Aerospace Laboratory NLR (Amsterdam), OFFIS (Oldenburg), CAU (Kiel), Weizmann Institute for Sciences (Rehovot/Israel), France Telecom R&D (Paris), CWI (Amsterdam), i-Logix (Boston) und Telelogic.

Enge Zusammenarbeit in den DFG-Projekten „KONDISK“ (Analyse und Synthese kontinuierlich-diskreter Systeme) und „Integration von Techniken der Softwarespezifikation für ingenieurwissenschaftliche Anwendungen“ mit Prof. Sebastian Engell und seinem Team vom Lehrstuhl Anlagensteuerungstechnik, Fachbereich Chemietechnik, Universität Dortmund.

Zu den Arbeiten dieser zwei DFG-Projekte trägt Prof. Y. Lakhnech, Universität von Grenoble, als designierter Doktorvater von vier am Lehrstuhl tätigen Mitarbeitern (Kai Baukus, Ralf Huuck, Ben Lukoschus, Karsten Stahl) bei.

Fortsetzung der langjährigen Kooperation mit der TU Eindhoven und dem CWI Amsterdam über Verifikation asynchroner Systeme. In einer Reihe von Arbeiten wird die automatische Untersuchung speziell von SDL-Protokollen mittels Model Checking, Abstraktion und statischer Analyse formalisiert und untersucht.

### Veröffentlichungen

E. Ábrahám, F.S. de Boer, W.-P. de Roever, and M. Steffen, *Verification for Java's Reentrant Multithreading Concept*, Proc. of FoSSACS 2002, 5-20, LNCS **2303**, Springer

- E. Ábrahám, F.S. de Boer, W.-P. de Roever, and M. Steffen, *Compositional Operational Semantics for JavaMT*, Software Technology technical report TR-ST-02-2
- E. Ábrahám, F.S. de Boer, W.-P. de Roever, and M. Steffen, *Verification for Java's Reentrant Multithreading Concept: Soundness and Completeness*, Software Technology technical report TR-ST-02-1
- N. Bauer and Ralf Huuck, *A Parameterized Semantics for Sequential Function Charts*, Proceedings of SFEDL (Semantic Foundations of Engineering Design Languages) 2002, Satellite Event of ETAPS 2002, April 2002, 69-83
- K. Baukus, Y. Lakhnech and K. Stahl, *Parameterized Verification of a Cache Coherence Protocol: Safety and Liveness*, Proceedings of VMCAI 2002, LNCS **2294**, 317-330, Springer (2002)
- R. Huuck, B. Lukoschus, G. Frehse, S. Engell, *Compositional Verification of Continuous-Discrete Systems*. In: Modelling, Analysis and Design of Hybrid Systems, Lecture Notes in Control and Information Sciences **279**, 225-244, Springer (2002)
- N. Iouustinova, N. Sidorova, and M. Steffen, *Abstraction and Flow Analysis for Model Checking Open Asynchronous Systems*. In: Proceedings of the 9th Asia-Pacific Software Engineering Conference, 227-235 (APSEC 2002), July 2002
- N. Iouustinova, N. Sidorova, and M. Steffen, *Closing open SDL-systems for model checking with DTSpin*, In: Proceedings of Formal Methods Europe FME'02, 531-548, LNCS **2391**, Springer.
- M. Kyas and F. de Boer. *Assertion Languages for Object Structures in UML*, Interner Technischer Bericht IST/33522/WP1.2/D1.2.1
- N. Sidorova and M. Steffen, *Synchronous Closing of Timed SDL Systems for Model Checking*. In: Proceedings of the Third International Workshop on Verification, Model Checking and Abstract Interpretation (VMCAI'02), Venice, 79-93, LNCS **2294**, Springer

## Präsentationen

- E. Ábrahám, F.S. de Boer, W.-P. de Roever, and M. Steffen, *Verification for Java's Monitor Concept*, First International Symposium on Formal Methods for Components and Objects FMCO 2002, Leiden, The Netherlands, 8.11.2002.
- W.-P. de Roever, *Concurrency Verification: Why? And How?*, University of British Columbia at Victoria, Canada, 19.3.02; University of Kent at Canterbury, Great Britain, 7.10.02.
- E. Ábrahám, F.S. de Boer, W.-P. de Roever, and M. Steffen, *Hoare Logic of Multi-threaded Java*, University of British Columbia at Victoria, Canada, 19.3.02; University of Texas at Austin, Texas, USA, 25.3.02; University of Kent at Canterbury, Great Britain, 8.10.02; Oxford University, U.K., 3.10.02; SYNCHRON 2002, La Londe-des-Maures, France, 25.11.02; University of Nijmegen, the Netherlands, 13.12.02.
- W.-P. de Roever, *The Proof Theory of Compositionality and Communication-Closed-Layers*, University of Austin, Texas, USA, 26.3.02
- N. Bauer, R. Huuck, *A Parameterized Semantics for Sequential Function Charts*, SFEDL (Semantic Foundations of Engineering Design Languages) 2002, Satellite Event of ETAPS 2002, Grenoble, France, 6.-14.4.02.
- R. Huuck, *Software Verification for Embedded Systems*, MMAR '02, 8<sup>th</sup> IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Szczecin, Polen, 2.-5. September 2002.
- R. Huuck, *Towards Verification of Embedded Control Software*, The United Nations University (UNU/IIST), Macau, Jan. 7th, 2002, invited talk.

- R. Huuck, *Verifikation von Steuerungssoftware im industriellen Umfeld*, Jahreskolloquium der Informatik, Kiel, 6. Dezember 2002.
- M. Kyas, *Assertion Languages for Object Structures*, Omega-Review, Brüssel, Belgien, 28.6.2002.
- B. Lukoschus, *Kompositionelle Analyse hybrider Systeme*, DFG-Abschlußkolloquium SPP KONDISK, Braunschweig, 19./20. Sept. 2002.
- K. Baukus, Y. Lakhnech, and K. Stahl: *Parameterized Verification of a Cache Coherence Protocol: Safety and Liveness*, VMCAI 2002, Venice, Italy, 21.-22.1.2002.
- M. Steffen, *A Hoare-logic for Java*, Omega project meeting, Oldenburg, 9.11.02.

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

Jahreskolloquium des Instituts für Informatik und Praktische Mathematik, 6.12.2002, ca. 120

Teilnehmer

SYNCHRON 2002, La Londe-des-Maures, Frankreich, 25.-29.11.02, ca. 60 Teilnehmer  
(gemeinsam organisiert von Prof. W.-P. de Roever mit Prof. R. de Simone, Prof. N. Halbwachs, Prof. A. Benveniste)

FMCO 2002, Leiden, Niederlande, 5.-8.11.2002, ca. 100 Teilnehmer (gemeinsam organisiert von Prof. W.-P. de Roever mit Dr. F. de Boer, Dr. M. Bonsangue)

Mobi-J Projekttreffen, Kiel, 14.-18.1.02, ca. 15 Teilnehmer

Martin Steffen ist Mitglied des Programmkommittees von FMOODS'03 (Formal Methods for Open Object-based Distributed Systems).



Ralf Huuck trägt vor während des Jahreskolloquiums Informatik 2003



Preisverleihung für herausragende Studienleistungen während des Jahreskolloquiums des Instituts

## Lehrstuhl für Systeme zur Informationsverwaltung

Prof. Dr. Peter Kandzia, Prof. Dr. Hans-Joachim Klein

Die Forschungsgruppe beschäftigt sich in erster Linie mit theoretischen Grundlagen und dem Einsatz von Datenbank- und Informationssystemen, wobei in letzter Zeit unvollständige Information in Datenbanken sowie Integritätsbedingungen in objektorientierten Datenbanken im Vordergrund standen.

Aus einer langjährigen Mitarbeit im BMBF-Großprojekt „Ökosystemforschung“ und im Graduiertenkolleg „Integrative Umweltbewertung“ resultieren die Untersuchung und die Implementierung von wissensbasierten Systemen, in denen Fuzzy-Methoden eine zentrale Rolle spielen.

Eine ebenfalls langjährige Zusammenarbeit mit Prof. Liebau, Institut für Geowissenschaften, führte zur Entwicklung von Algorithmen zur Analyse, Synthese und graphischen Darstellung von Kristallstrukturen. In jüngster Zeit ist der Einsatz von objektorientierter Programmierung beim Erstellen von bewegten 3D-Szenen als Forschungsgegenstand hinzugekommen.

### Ergebnisse

#### *Unvollständige Information in Datenbanken:*

In der relationalen Standard-Anfragesprache SQL ist die Bedeutung fehlender Attributwerte (sog. Nullwerte) in Datenbankrelationen als 'zum Wert ist keine Information vorhanden' festgelegt. Diese häufig als einfach angesehene Interpretation von Nullwerten erweist sich bei genauerer Betrachtung als problematisch, insbesondere wenn in Antworten auf Anfragen nur gesicherte Information enthalten sein soll. Es konnte eine Form der Anfragesemantik für Datenbanken mit derartigen Nullwerten entwickelt werden, die zu einer modelltheoretischen Definition gesicherter Antworten passt. Auf dieser Grundlage wurde ein zuvor vorgeschlagenes Verfahren zur Transformation von SQL-Anfragen, das gesicherte Antworten im Fall unbekannter Attributwerte garantiert, für die dem Standard entsprechende Interpretation von Nullwerten erweitert.

#### *Objektorientierte Datenbanken:*

Das Gebiet der Integritätsbedingungen, insbesondere der funktionalen Abhängigkeiten und Schlüssel, kann für das relationale Datenmodell als gut erforscht bezeichnet werden. Für objektorientierte Datenmodelle mit ihren reichhaltigeren Modellierungsmöglichkeiten gibt es dagegen noch viele ungenügend gelöste Problemstellungen. Dies gilt insbesondere für die wertebasierte Identifizierung von Objekten in Datenbanken. Hierzu wurden Vorschläge für die Spezifikation funktionaler Abhängigkeiten auf Objektmodellen entwickelt und verschiedene Semantiken derartiger Integritätsbedingungen untersucht. Die Ergebnisse wurden zahlreichen anderen Vorschlägen aus der Literatur gegenübergestellt.

#### *Fuzzy-Methoden in der Ökosystemforschung:*

Um dem Bedarf nach Auswertung von heterogenen und oft mit einem hohen Unsicherheitsgrad behafteten Daten entgegenzukommen, wurden spezielle, auf der Theorie unscharfer Mengen (Fuzzy Sets) beruhende Verfahren und Werkzeuge entwickelt. Dazu gehören das Fuzzy Clustering System ECO-FUCS für die Klassifizierung von Daten und das Modellierungssystem FLECO für die Entwicklung von unscharfen wissensbasierten Modellen und Expertensystemen. Anwendung fanden diese Verfahren u.a. bei der Klassifizierung von Chemikalien bezüglich ihrer ökotoxikologischen Wirkungen (Altlastenproblematik) sowie bei der Modellierung von Tierpopulationen.

Die Verfahren wurden im Berichtszeitraum wesentlich erweitert. Beispielsweise flossen in den Klassifikationsalgorithmus grundlegende Untersuchungen zu Objekten ein, die neben den normalen scharfen Attributwerten auch unscharfe Werte in Form von Fuzzy Sets enthalten.

#### *Analyse und Synthese von Polyedertopologien in Kristallen:*

Für die Modellierung von Polyedertopologien in Kristallen eignen sich Graphen, deren Knoten die Polyeder und deren Kanten die Verknüpfungen der Polyeder untereinander repräsentieren. Bei der Berücksichtigung aller Symmetrien einer Struktur können diese Polyedergraphen zu endlichen Graphen gefaltet werden, deren Knoten die Polyeder mit Zentralatom in einer sogenannten asymmetrischen Einheit darstellen.

Am Lehrstuhl wurde ein raumgruppenzentriertes Verfahren entwickelt, das auf der Basis einer endlichen Graphdarstellung eine vollständige Aufzählung von Tetraedertopologien ermöglicht, wenn Nachbarschaften geeignet beschränkt werden. Die Effizienz dieses Verfahrens konnte jetzt erheblich verbessert werden, indem bei der Faltung Nachbarschaftsbeziehungen mit berücksichtigt werden. Hierdurch ist es möglich, eine minimale Graphdarstellung zu erhalten und die Menge der im Aufzählungsverfahren zu betrachtenden Graphen in der Regel stark einzuschränken.

#### *Objektorientierte Programmierung bei 3D-Computeranimationen:*

Die ständig wachsende Rechnerleistung ermöglicht inzwischen sehr realistische und komplexe Computeranimationen. Die Komplexität ist dabei nicht nur durch die Geometrie oder die Anzahl der Objekte einer Szene begründet, sondern vor allem auch durch das zeitliche Verhalten der Objekte. In vielen Kinofilmen, z.B. in 'Herr der Ringe' werden große Menschenmassen oder ganze Armeen mit Computergraphik dargestellt. Da das Verhalten einer großen Zahl individueller komplexer Objekte nicht mehr einzeln 'manuell' definiert werden kann, findet in solchen Fällen immer häufiger das 'Non Linear Editing' Verwendung, bei dem das Verhalten von Objekten in 3D-Szenen algorithmisch gesteuert wird. Die entsprechenden Strategien sind jedoch starken Einschränkungen unterworfen. So sind Animationsprogramme oft auf Skriptsprachen angewiesen, die nur in geringem Maß objektorientiert und bei weitem nicht so ausgereift sind wie z.B. Java.

Ein Projekt der Forschungsgruppe beschäftigt sich mit der Steuerung von Objekten in 3D-Szenen durch Java, wobei der Aufbau von Objekten aus Komponenten, die ihrerseits Objekte sind, ideal zu den Konzepten objektorientierter Programmiersprachen passt. In das Projekt fließen Erfahrungen aus einer Kooperation mit dem IPN zur Entwicklung physikalischer Lehrprogramme ein.

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr. Peter Kandzia; Sekretariat: Armgard Kruse

Technisches Personal: Bernd Rehling

Wissenschaftliche Mitarbeiter

apl.-Prof. Dr. Hans-Joachim Klein

Dipl.-Inf. Bartsch, Roy	1.1.-31.12.02	CAU, Vossloh System- Technik (je ½)	Datenbanksysteme (Schemaintegration)
Dipl.-Inf. Paul, Jan	1.1.-31.12.02	CAU	3D-Computeranimationen
Dr. Salski, Arkadiusz	1.1.-31.12.02	CAU	Fuzzy-Methoden
Dipl.-Ing. Grest, Daniel	15.4.-31.12.02	CAU, Drittmittel Prof. Koch (je ½)	Fahrzeugumgebungserfassung
Dipl.-Geogr. Herzog, Christof	1.1.-30.04.02	Graduiertenkolleg	Integrative Umweltbewertung

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Ausgewählte Kapitel der Künstlichen Intelligenz, 2(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

P. Kandzia (+ A. Salski)

Datenbanksysteme, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

H.-J. Klein

Diplomandenseminar 2 Std./Woche

H.-J. Klein

Oberseminar über Datenbank- und Expertensysteme 2 Std./Woche

P. Kandzia

Seminar Datenbanksysteme 2 Std./Woche

P. Kandzia, H.-J. Klein

*Sommer 2002*

Datenbanksysteme I, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

P. Kandzia (+A. Salski)

Deduktive Datenbanksysteme, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

H.-J. Klein (+R. Bartsch)

Oberseminar Datenbanksysteme und Wissensbasierte Systeme 2 Std./Woche

P. Kandzia, A. Salski

Seminar Datenbanksysteme 2 Std./Woche

P. Kandzia, H.-J. Klein

*Winter 2002/2003*

Implementierung von Datenbanksystemen, 4(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

P. Kandzia, (+J. Paul, D. Grest)

Datenbanksysteme, 2(+4) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

H.-J. Klein (+R. Bartsch)

Fuzzy-Methoden, 2(+2) Std. Vorlesung (+Übungen)/ Woche

A. Salski (+P. Kandzia)

Seminar Datenbanksysteme 2 Std./Woche

P. Kandzia, H.-J. Klein

Oberseminar Datenbanksysteme und Wissensbasierte Systeme 2 Std./Woche

P. Kandzia, A. Salski

**Drittmittel**

Mit der Kieler Firma 'Vossloh System Technik GmbH' besteht seit 2000 ein Kooperationsvertrag, in dem eine Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Softwareentwicklung für die Systemleittechnik vereinbart ist. Im Rahmen dieses Vertrages wird eine Dissertation erstellt, die sich mit der systematischen Daten- und Anwendungsintegration beschäftigt. Sie ist eingebettet in ein konkretes F&E-Vorhaben zur Zusammenführung und Weiterentwicklung vorhandener Software, die an unterschiedlichen Standorten entwickelt wurde. Die Promotionsstelle wird zu gleichen Teilen von der Universität und Vossloh System Technik finanziert. Thema: Kooperation auf dem Gebiet der Software-Entwicklung für die Verkehrstechnik (100,8 kEUR).

DFG-Stipendium im Rahmen des Graduiertenkollegs 'Integrative Umweltbewertung', 4 Monate Restlaufzeit. Entscheidungsunterstützungssystem für die integrative Raumplanung.

### **Diplomarbeiten**

P. Kandzia,

Natour, Mamun, *Abstimmung U-förmiger Fließlinien* (mit Prof. Drexel, WiSo-Fakultät), Januar 2002

Schönemeier, Simon, *Objektrelationales Data Warehouse für ein Ökologisches Informationssystem*, April 2002

Drewes, Thorsten, *Konzept, Design und Implementierung eines grafischen Editors für das Nahverkehrsleitsystem SBS U 1 (mit Vossloh System Technik)*, April 2002

Lemster, Jürgen Christian, *Implementierung von Verkettungs- und Simulations-Strategien für das Fuzzy-Modellierungssystem xFLEco*, Mai 2002

H.-J. Klein,

Thoms, Andre-Michael, *SureSQL - Gewährleistung gesicherter Antworten durch Anfragetransformation*, April 2002

### **Dissertationen**

P. Kandzia, *Mitbetreuung im Rahmen des Graduiertenkollegs 'Integrative Umweltbewertung'*:

Sonja Peterson, *'Entscheidungstheoretische Analyse und Strukturierung von Mediationsverfahren zur Lösung von Umweltkonflikten'*, 07.02.02, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät

Christof Herzog, *'Das Methodenpaket IeMAX mit dem Fuzzy-Simulationsmodell FLUCS - Entwicklung und Anwendung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die integrative Raumplanung -'*, 06.05.02, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

### **Veröffentlichungen**

Klein, H.-J.: *Null Values in Relational Databases and Sure Information Answers*, in: L. Bertossi, G. Katona, K.-D. Schewe, and B. Thalheim (Eds.), *Semantics in Databases*, LNCS **2582**, Springer-Verlag, 102-121, 2002

Rasch, J., Klein, H.-J.: *Functional Dependencies for Value Based Identification in Object-Oriented Databases*, in: J.H. Doorn, L.C. Rivero (Eds.), *Database Integrity: Challenges and Solutions*, Idea Group Publishing, Hershey, 250-292, 2002

Klein, H.-J.: *Zielgerichtetes Aufzählen von Modellen für Kristallstrukturen auf der Basis minimaler Graphdarstellungen von Polyedertopologien*, Abstracts 10. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie (DGK), Kiel, 2002

Salski, A. (2002): *Ecological Applications of Fuzzy Logic*. In: Friedrich Recknagel (Ed.): *Ecological Informatics*, Springer Verlag: 3-14

### **Präsentationen**

Klein, H.-J.: *Zielgerichtetes Aufzählen von Modellen für Kristallstrukturen auf der Basis minimaler Graphdarstellungen von Polyedertopologien*, 10. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie (DGK), Kiel, 4.3-7.3.2002

Salski, A., *Fuzzy logic approach to ecological modelling and data analysis*. Eingeladener Vortrag. The 5th International Conference on Computational Intelligent Systems for Applied Research (FLINS), Gent, Sept. 16 - 18, 2002

**Andere Aktivitäten und Ereignisse**

P. Kandzia: Dekan der Technischen Fakultät bis 05.07.02

H.-J. Klein: Organisation der internationalen Tagung "Second International Symposium on Foundations of Information and Knowledge Systems", Schloss Salzau, 19.-23. Februar, 2002

## **Professur für Theoretische Informatik**

**Prof. Dr. Thomas Wilke**

Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit Automatentheorie, algebraischer Theorie formaler Sprachen, temporaler und modaler Logik und den theoretischen Grundlagen der Verifikation.

### **Ergebnisse**

In 2002 wurden neue Erkenntnisse gewonnen zu den folgenden Fragen

Wie verkleinert man endliche Automaten auf unendlichen Wörtern effizient?

Wie entscheidet man, ob gegebene Formeln im modalen  $\mu$ -Kalkül ohne größte Fixpunkte definierbar sind?

Wie entscheidet man, ob spezielle Formen kryptographischer Protokolle Sicherheit bieten?

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr. Thomas Wilke

Sekretariat: Margrit Krause

Technisches Personal: Dipl.-Inf. Frank Steiner

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Inf. Bennemann, Barbara	01.01.2002-14.06.02	CAU	Controller Synthesis
-------------------------------	---------------------	-----	----------------------

Dipl.-Inf. Fritz, Carsten	01.01.2002-31.12.02	DFG	Automatenminimierung
---------------------------	---------------------	-----	----------------------

Dipl.-Inf. Kähler, Detlef	01.11.2002-31.12.02	GIF	Incremental Model Checking
---------------------------	---------------------	-----	----------------------------

Dr. Küsters, Ralf	01.01.2002-31.12.02	CAU	Kryptographische Protokolle
-------------------	---------------------	-----	-----------------------------

Dr. Valkema, Erich	01.01.2003-31.12.02	CAU	
--------------------	---------------------	-----	--

### **Vorlesungen, Seminare und Praktika**

#### *Winter 2001/2002*

Effiziente Algorithmen, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke (R. Küsters)

Softwarepraktikum, 1 (+3) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke (B. Bennemann)

Informatik I (Prof. Hanus), 2 Std. Übungen /Woche

Th. Wilke

Informatik für Nebenfächler, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

E. Valkema

Seminar Kryptographie, 2 Std. /Woche

Th. Wilke, R. Küsters

Oberseminar Theoretische Informatik, 2 Std. /Woche

Th. Wilke

#### *Sommer 2002*

Automaten und formale Sprachen, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke

Informatik II, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke

Programmierpraktikum zu Informatik II, 3 Std. Praktikum /Woche

Th. Wilke

Kryptographie I (Secure Communications), 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

R. Küsters

Informatik IV für Ingenieure, 3 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

E. Valkema

Oberseminar Theoretische Informatik, 2 Std.

Th. Wilke, R. Küsters

#### *Winter 2002/2003*

Moderne Kryptographie, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke, R. Küsters

Softwarepraktikum, 1 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

Th. Wilke

Informatik I (Prof. Berghammer), 2 Std. Übungen /Woche

Th. Wilke

Informatik für Nebenfächler, 4 (+2) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

E. Valkema

Oberseminar Theoretische Informatik, 2 Std.

Th. Wilke

#### **Drittmittel**

DFG, *Minimierung von Automaten mit Anwendungen in der Verifikation nichtterminierender Systeme*, 01.08.2001-31.07.2003 (132,9 kEUR)

GIF, *Incremental Model Checking*, 01.01.2001-31.12.2003 (60,0 kEUR)

#### **Diplom- und Master-Arbeiten**

Alexandra Bunge, Diplom, *Verifikation offener Systeme durch alternierende Automaten*, 14.06.2002

Detlef Kähler, Diplom, *Determinisierung von omega-Automaten*, 01.08.2002

#### **Dissertationen**

Peer Johannsen, *Speeding Up Hardware Verification by Automated Data Path Scaling*, 18.12.2002.

#### **Veröffentlichungen**

C. Fritz, Th. Wilke, *State Space Reductions for Alternating Büchi Automata: Quotienting by Simulation Equivalences*, FSTTCS 2002, LNCS **2556**, 157-168 (2002).

C. Fritz, *Some Fixed Point Basics*. In E. Grädel, W. Thomas, Th. Wilke (Eds.): *Automata, Logics, and Infinite Games*, LNCS **2500**, 359-364 (2002).

E. Grädel, W. Thomas, T. Wilke, *Automata, Logics, and Infinite Games*, LNCS **2500**, 390 (2002).

R. Küsters, *Memoryless Determinacy of Parity Games*. In E. Grädel, W. Thomas, Th. Wilke (Eds.): *Automata, Logics, and Infinite Games*, LNCS **2500**, 95-106 (2002).

R. Küsters and Th. Wilke, *Deciding the First Level of the mu-Calculus Alternation Hierarchy*, 22nd Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science FSTTCS 2002, LNCS **2556**, 241-252 (2002).

- R.Küsters and R. Molitor, *Approximating Most Specific Concepts in Description Logics with Existential Restrictions*, AI Communications **15**, 47-59, 2002.
- R. Küsters, *On the Decidability of Cryptographic Protocols with Open-ended Data Structures*, 13th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2002, LNCS **2421**, 515-530 (2002).
- D. Thérien, Th. Wilke, *Nesting Until and Since in Linear Temporal Logic*, STACS 2002, LNCS **2285**, 455-464 (2002).
- D. Thérien, Th. Wilke, *Temporal logic and semidirect products: An effective characterization of the until hierarchy*, SIAM J. Comput. **31**, 777-798 (2002).

### Präsentationen

- C. Fritz, *Minimizing alternating Büchi automata using simulation relations*, GAMES Kick-Off Meeting, Edinburgh, 26.-28.9.2002.
- C. Fritz, Th. Wilke, *State Space Reductions for Alternating Büchi Automata: Quotienting by Simulation Equivalences*, FSTTCS 2002, Kanpur/Indien, 12.12.-16.12.2002.
- R. Küsters, *On the Decidability of Cryptographic Group Protocols*, Logic and Interaction Weeks 2002, 25.2.2002.
- F. Baader, R. Küsters, *Unification in a Description Logic with Inconsistency and Transitive Closure of Roles*, 2002 International Workshop on Description Logics, DL 2002, Toulouse, 18.-25.4.2002.
- S. Brandt, R. Küsters, A.-Y. Turhan, *Approximating ALCN-Concept Descriptions*, 2002 International Workshop on Description Logics, DL 2002, Toulouse, 18.-25.4.2002.
- S. Brandt, R. Küsters, and A.-Y. Turhan, *Approximation and Difference in Description Logics*, Eight International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, KR 2002, Toulouse 18.-25.4.2002.
- R. Küsters, *On the Decidability of Cryptographic Protocols with Open-ended Data Structures*, Workshop on Foundations of Computer Security, FCS 2002, Copenhagen, 24.-27.7.2002.
- R. Küsters, *On the Decidability of Cryptographic Protocols with Open-ended Data Structures*, 13th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2002, Brno, 19.-23.8.2002.
- R. Küsters, *Automatic Verification of Cryptographic Protocols with Iteration. Graduiertenkolleg "Spezifikation diskreter Prozesse und Prozesssysteme durch operationelle Modelle und Logiken"* an der Fakultät für Informatik, TU Dresden, 3.9.2002.
- R. Küsters, *Automatic Analysis of Cryptographic Protocols with Iteration*, Theoretical Computer Science Seminar at INRIA, Nancy, 16.9.2002.
- D. Thérien, Th. Wilke, *Nesting Until and Since in Linear Temporal Logic*, STACS 2002, Nizza, 13.-15.3.2002.

## Professur für Theorie der Parallelität

Prof. Dr. Klaus Jansen

Im Bereich der theoretischen Informatik (Arbeitsgruppe Prof. Jansen) werden approximative Algorithmen für kombinatorische Optimierungsprobleme entwickelt. Des weiteren haben sich Forschungsthemen ergeben, wie das allgemeine Packungsproblem und das Resource Constrained Scheduling Problem, wo wichtige Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Themenbereiche, die von der AG Jansen bearbeitet wurden, umfassen im wesentlichen die folgenden Themen:

- 1- Schedulingprobleme in parallelen Architekturen
- 2- Allgemeine Packungsprobleme und Anwendungen

### Ergebnisse

*Schedulingprobleme in parallelen Architekturen.* Durch die rasche Entwicklung von parallelen Computersystemen sind neue Problemstellungen entstanden, um Ablaufprobleme (Schedulingprobleme) in parallelen Architekturen zu modellieren. Bei vielen dieser Problemstellungen treten sogenannte parallele Jobs auf, die auf mehreren Prozessoren gleichzeitig ablaufen. Bei parallelen Jobs ist die Anzahl der Prozessoren fest vorgegeben. Einer unserer Doktoranden A. Fishkin hat verschiedene approximative Algorithmen mit mir zusammen für solche Schedulingprobleme entwickelt. Ein interessantes Ergebnis dazu ist ein polynomiales Approximationsschema bei konstant vielen Prozessoren für die durchschnittliche Fertigungszeit aller Jobs als Zielfunktion (vorgestellt auf der ICALP 2001).

Im Falle von beliebig vielen Prozessoren ist es uns gelungen, ein asymptotisches Approximationsschema für die Länge des Schedules als Zielfunktion bei Malleable Jobs zu finden. Bei dieser Art von Jobs ist die Anzahl der Prozessoren, die einen Job ausführen, a priori nicht vorgegeben und kann frei festgelegt werden. Die Laufzeit des Algorithmus ist polynomiell in der Anzahl der Jobs und  $1/\epsilon$ , wobei  $1+\epsilon$  die Approximationsgüte ist (vorgestellt auf der ESA 2002). Offen ist noch das Problem bei speziellen Kommunikationsnetzwerken (wie zwei dimensionale Gitter). An diesem Problem arbeite ich zur Zeit mit A. Fishkin und O. Gerber.

Weitere Ergebnisse betreffen Ablaufpläne bei Vorgabe von zusätzlichen beschränkten Ressourcen (Preemptive Resource Constraint Scheduling). Hierzu haben wir verschiedene Approximationsschemata zusammen mit Inapproximierbarkeitsergebnissen vorgestellt (auf der IPCO 2002), die zeigen wie die Approximierbarkeit sich ändert mit der Anzahl der Ressourcen. Die Resultate basieren auf linearer Optimierung mit exponentiell vielen Variablen und interessanten Verbindungen zu verschiedenen Varianten vom klassischen Knapsack Problem. Um diese Ergebnisse weiter zu verbessern, soll die Doktorandin O. Gerber Knapsack Problem im Detail weiter studieren. Interessant ist hier, dass die Knapsack Probleme mehrfach mit ähnlichen Eingabedaten gelöst werden müssen.

*Allgemeine Packungsprobleme und Anwendungen.* Wir haben einen approximativen Algorithmus für ein allgemeines Packungsproblem entwickelt. Das Packungsproblem hat die folgende Form

$$(P) \quad I^* = \min\{I \mid f(x) \leq Ie\},$$

wobei  $f : B \rightarrow \mathbb{R}^M$  ein Vektor mit  $M$  nicht-negativen konvexen Funktionen,  $B$  eine nicht-leere konvexe, kompakte Menge und  $e$  der Einsvektor ist. Grigoriadis und Khachiyan [2,3] haben einen

$1+\epsilon$  approximativen Algorithmus für dieses Problem vorgestellt unter der Voraussetzung, dass das Optimierungsproblem  $\Lambda(p) = \min_{x \in B} p^T f(x)$  auch einen approximativen Algorithmus mit Güte  $1+\epsilon/6$  besitzt. H. Zhang hat mit mir zusammen diese Methode verallgemeinert für den Fall, dass das Optimierungsproblem  $\Lambda(p)$  nur einen approximativen Algorithmus mit Güte  $c \geq 1$  besitzt (vorgestellt auf der TCS 2002). Wir zeigten, dass man nur höchstens  $O(M(\epsilon^{-2} \ln \epsilon^{-1} + \ln M))$  Aufrufe von dem Blockalgorithmus benötigt um eine Güte von  $c(1+\epsilon)$  für das Packungsproblem zu erhalten. Eine interessante Anwendung ergibt sich für ein graphentheoretisches Problem, bei dem das Blockproblem das klassische Steinerbaum Problem ist. Hu Zhang wird in seiner Doktorarbeit die vorgeschlagenen Algorithmen implementieren und spezielle Blockstrukturen (z.B. dass die konvexe Menge  $B$  sich als kartesisches Produkt von unabhängigen Blöcken  $B_1 \times \dots \times B_k$  darstellen lässt) genauer studieren.

Weitere Themen der AG Jansen sind Färbungen von Hypergraphen (M. Margraf), Frequenzzuordnung in Netzwerken (A. Fishkin und J. Chlebikova) und Packungsprobleme (G. Zhang, O. Gerber, H. Zhang).

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Klaus Jansen; Sekretariat: Ute Iaquinto

Technisches Personal: Parvaneh Karimi Massouleh

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dr. Margraf, Marian	01.06.01 – 31.07.01	CAU	Algorithmische Graphentheorie
	01.08.01 – 31.07.03	CAU	
Dr. Zhang, Guochuan	01.08.01 – 30.10.02	AvH	Scheduling und Online
	01.11.02 – 31.03.03	CAU	Algorithmen
	01.04.03 – 31.07.03	EU	
Dr. Chlebikova, Jana	01.09.01 – 30.04.03	EU	Algorithmische Graphentheorie
Fishkin, Aleksei	01.11.99 – 28.02.02	Graduiertenkolleg	Approximative und Online
	01.03.02 – 29.02.04	EU	Algorithmen
Zhang, Hu	01.04.01 – 31.03.04	Graduiertenkolleg	Konvexe Optimierung
Gerber, Olga	01.09.02 – 31.08.04	Graduiertenkolleg	Approximative Algorithmen

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

Winter 2001/2002

Approximative Algorithmen I, 4(+2) Std. Vorlesung(+Übungen) /Woche

K. Jansen

Algorithmische Geometrie, 2 Std. Vorlesung /Woche

K. Jansen (+M. Margraf)

Seminar über kombinatorische Optimierung, 2 Std. Seminar /Woche

K. Jansen (+M. Margraf)

Oberseminar über Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. Seminar /Woche

K. Jansen, A. Srivastav

Sommer 2002

Informatik IV, 4(+2) Std. Vorlesung(+Übungen) /Woche

K. Jansen

Approximative Algorithmen II, 2 Std. Vorlesung /Woche

K. Jansen (J. Chlebíková)

Praktikum über Effiziente Algorithmen I, 4 Std. Seminar /Woche

K. Jansen (H. Zhang)

Seminar über algorithmische Zahlentheorie, 2 Std. Seminar /Woche; mit Anwendungen in der Cryptographie

K. Jansen (M. Margraf)

Oberseminar über Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. Seminar /Woche

K. Jansen, A. Srivastav

*Winter 2002/2003*

Effiziente Algorithmen, 4(+2) Std. Vorlesung(+Übungen) /Woche

K. Jansen

Online Algorithms, 4(+2) Std. Vorlesung(+Übungen) /Woche

K. Jansen (G. Zhang)

Praktikum Effiziente Algorithmen II, 4 Std. Seminar /Woche

K. Jansen (H. Zhang)

Seminar Färbungen von Graphen, 2 Std. Seminar /Woche

K. Jansen (M. Margraf)

Oberseminar: Algorithmen, Kombinatorik und Komplexität, 2 Std. Seminar /Woche

K. Jansen, A. Srivastav

## Drittmittel

DFG Graduiertenkolleg 357, *Effiziente Algorithmen und Mehrskalenmethoden*, Universität Kiel, 01.10.1999 – 31.03.2004 (bisher 110,5 kEUR)

EU-Project ARACNE, *Research Training Network, Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks*, HPRN-CT-199-00112, (Salerno, Geneva, Kiel, INRIA-SA, Patras, Roma), 01.05.2000 – 30.04.2004 (145,0 kEUR)

DAAD-Project, *Procope, Scheduling of Mallable Tasks*, (mit D. Trystram, Grenoble and E. Bampis, Evry), 01.01.2001 – 31.12.2002 (14,8 kEUR)

DAAD-Project, *Integration of Task Scheduling for Parallel Computers into Compilers and Software Development Environments*, (mit E. Bampis, Evry, T. Rauber, Bayreuth, D. Trystram, Grenoble and W. Zimmermann, Halle), 01.01.2003 – 31.12.2004 (14,3 kEUR)

EU-Project APPOL II, *Thematic Network, Approximation and Online Algorithms for Optimization Problems*, Proposal IST-2001-32007, (Kiel, Berlin, Dortmund, Freiburg, Evry, Paris, Athens, Roma, Szeged, Maastricht, Haifa, Tel-Aviv, Zürich), 1.11.2001 - 31.10.2004 (376,8 kEUR gesamt, davon für Kiel 50,8 kEUR)

EU-Project CRESSCO, *Critical resource sharing for cooperation in complex systems*, IST-2001-33135, (Patras, CTI, Geneva, Kiel, CNRS, Salerno, Roma), 01.01.2002 – 31.12.2004 (296,6 kEUR)

## Dissertation

Dipl. Ing. Palmo Monaldo Mastrolilli, *Approximation Schemes for Scheduling Problems*, Juni 2002

**Veröffentlichungen**

- E. Bampis, M. Caramia, J. Fiala, A. Fishkin and A. Iovanella, *Scheduling of independent dedicated multiprocessor tasks*, International Symposium on Algorithms and Computation, ISAAC 2002, Vancouver, LNCS **2518**, 391-402 (2002)
- M. Chlebík and J. Chlebíková, *Approximation Hardness of the Steiner Tree Problem on Graphs*, Scandinavian Workshop on Algorithm Theory, SWAT 2002, M. Penttonen, E. M. Schmidt (eds.), Turku, Finland, LNCS **2368**, 170-179 (2002)
- T. Erlebach and K. Jansen, *Implementation of approximation algorithms for weighted and unweighted edge-disjoint paths in bidirected trees*, ACM Journal of Experimental Algorithms **7** (2002)
- A. Fishkin and G. Zhang, *On Maximizing the Throughput of Multiprocessor Tasks*, Mathematical Foundations of Computer Science, MFCS 2002, K. Diks and W. Rytter (eds.), Warsaw, LNCS **2420**, 269-279 (2002)
- K. Jansen and L. Porkolab, *Linear time approximation schemes for scheduling malleable parallel tasks*, Algorithmica **32**, 507-520 (2002)
- K. Jansen, *Approximate strong separation with application in fractional graph coloring and preemptive scheduling*, Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2002, H. Alt and A. Ferreira (eds.), Antibes, LNCS **2285**, 100-111 (2002)
- K. Jansen, *Scheduling malleable parallel tasks: An asymptotic fully polynomial time approximation scheme*, European Symposium on Algorithms, ESA 2002, R. Möhring and R. Raman (eds.), Rome, LNCS **2461**, 562-573 (2002)
- K. Jansen and L. Porkolab, *On preemptive resource constrained scheduling: polynomial-time approximations schemes*, International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization, IPCO 2002, W. Cook and A. Schulz (eds.), MIT Cambridge, LNCS **2337**, 329-349 (2002)
- K. Jansen and R. Solis-Oba, *An asymptotic fully polynomial time approximation scheme for bin covering*, International Symposium on Algorithms and Computation, ISAAC 2002, Vancouver, LNCS **2518**, 175-186 (2002)
- K. Jansen and H. Zhang, *Approximation algorithms for general packing problems with modified logarithmic potential function*, IFIP International Conference on Theoretical Computer Science, TCS 2002, Foundations of information technology in the era of network and mobile computing, R. Baeza-Yates, U. Montanari and N. Santoro (eds.), Montreal, Kluwer Academic Publisher, 255-266 (2002)
- K. Jansen and H. Zhang, *An approximation algorithm for the multi-cast congestion problem via minimum Steiner trees*, 3rd Workshop on Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, ARACNE 2002, A. Clementi and L. Gargano (eds.), Rome, Proceedings in Informatics **15**, Carleton Scientific, 77-90 (2002)
- G. Zhang, *On variable-sized bin packing*, 3rd Workshop on Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, A. Clementi and L. Gargano (eds.), Rome. Proceedings in Informatics **15**, Carleton Scientific, 117-126 (2002)
- G. Zhang and D. Ye, *A note on on-line scheduling with partial information*, Computers and Mathematics with Applications **44**, 539-543 (2002)

## Präsentationen

- J. Chlebíková, *Some new inapproximability results*, SIGOPT International Conference on Optimization 2002, Lambrecht, Germany, 17.-22.02.2002
- J. Chlebíková, *Approximation hardness of the Steiner tree problem on graphs*, Scandinavian Workshop on Algorithm Theory, SWAT 2002, Turku, Finland, 03.07.2002
- Aleksei Fishkin, *Off-line and on-line distance constrained labelings of disk graphs*, Dagstuhl Seminar: Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, Schloss Dagstuhl, Germany, 24.02.-01.03.2002
- Aleksei Fishkin, *On minimizing average weighted completion time: A PTAS for job-shop scheduling with release dates*, APPOL II Workshop on Approximation and Online Algorithms for Optimization Problems, Technion City, Haifa, Israel, 07.-08.04.2002
- Aleksei Fishkin, *On minimizing average weighted completion time: A PTAS for job-shop scheduling with release dates*, International Conference on Operations Research, OR 2002, Klagenfurt, Austria, 02.-05.09.2002
- K. Jansen, *Approximation algorithms for fractional covering and packing problems and applications*, SIGOPT International Conference on Optimization (invited tutorial), Lambrecht, Germany, 17.-22.02.2002
- K. Jansen, *Approximate strong separation with application in fractional graph coloring and preemptive scheduling*, Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2002, Antibes, France, 14.-16.03.2002
- K. Jansen, *Polynomial-time approximation algorithms for preemptive resource constrained scheduling and fractional graph coloring*, Oberwolfach Seminar, Mathematical Methods in Manufacturing and Logistics, Oberwolfach, Germany, 16.-22.12.2002
- K. Jansen, *Polynomial-time approximation algorithms for preemptive resource constrained scheduling and fractional graph coloring*, Dagstuhl Seminar, Data structures, Dagstuhl, 24.02.-01.03.2002
- K. Jansen, *Polynomial-time approximation algorithms for preemptive resource constrained scheduling and fractional graph coloring*, SIAM Conference on Optimization, (invited minisymposium talk), OP 2002, Toronto, Canada, 20.-22.05.2002
- K. Jansen, *Polynomial-time approximation algorithms for preemptive resource constrained scheduling and fractional graph coloring*, Department of Computer Science, University of Western Ontario, London, Canada, 24.05.2002
- K. Jansen, *Polynomial-time approximation algorithms for preemptive resource constrained scheduling and fractional graph coloring*, Internation Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization, IPCO 2002, MIT Cambridge, USA, 26.-29.05.2002
- K. Jansen, *Approximation algorithms for general packing problems with modified logarithmic potential function*, Department of Electrical Engineering and Department of Computer Science, ETH Zürich, Switzerland, 25.03.2002
- K. Jansen, *Approximation algorithms for general packing problems with modified logarithmic potential function*, Dagstuhl Seminar, Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, Dagstuhl, Germany, 16.-21.06.2002
- K. Jansen, *Approximation algorithms for general packing problems with modified logarithmic potential function*, Department of Computer Science, Universität Bonn, Germany, 24.06.2002
- K. Jansen, *Scheduling malleable parallel tasks: an asymptotic fully polynomial time approximation scheme*, Institut für Informatik, Universität Freiburg, Germany, 21.-22.08.2002

- K. Jansen, *Scheduling malleable parallel tasks: an asymptotic fully polynomial time approximation scheme*, Department of Electrical Engineering, ETH Zürich, Switzerland, 28.08.2002
- K. Jansen, *Scheduling malleable parallel tasks: an asymptotic fully polynomial time approximation scheme*, International Conference on Operations Research, OR 2002, Klagenfurt, Austria, OR 02.-05.09.2002
- K. Jansen, *Scheduling malleable parallel tasks: an asymptotic fully polynomial time approximation scheme*, European Symposium on Algorithms, ESA 2002, Rom, Italy, 16.-21.09.2002
- Marian Margraf, *Färbung von Hypergraphen*, Blockseminar Optimierung in Hypergraphen, Leck, Oktober 2002
- Marian Margraf, *On the Linear Intersection Number of Graphs*, Kolloquium über Kombinatorik, Magdeburg, 14.-16.11.2002
- Marian Margraf, *On the chromatic index of linear hypergraphs*, Algorithmische Graphentheorie, Oberwolfach, 08.-13.12. 2002
- Guochuan Zhang, *On minimizing the throughput of multiprocessor tasks*, SIGOPT International Conference on Optimization, Lambrecht, 17.-22.02.2002
- Guochuan Zhang, *On minimizing the throughput of multiprocessor tasks*, Symposium on Mathematical Foundation of Computer Science, MFCS 2002, Warsaw, Polen, 26.-30.08.2002
- Guochuan Zhang, *On variable-sized bin packing*, International Workshop on Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, ARACNE 2002, Rome, Italy, 15.-22.09.2002
- Hu Zhang, *Approximation algorithms for general packing problems with modified logarithmic potential function*, 2nd IFIP International Conference on Theoretical Computer Science, TCS 2002, Montréal, 25.-30.08.2002
- Hu Zhang, *An approximation algorithm for the multicast congestion problem via minimum Steiner trees*, Satellite Conference on Combinatorics, Graph Theory and Applications of 24th International Congress of Mathematicians, Hong Kong, 15.-17.08.2002
- Hu Zhang, *An approximation algorithm for the multicast congestion problem via minimum Steiner trees*, 3rd International Workshop on Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks, ARANCE 2002, Roma, 21.09.2002

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

- Dagstuhl Seminar 2002, *Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks*, (mit Evripides Bampis, Evry, Pino Persiano, Salerno, Roberto Solis-Oba, London and Gordon Wilfong, Lucent Technologies), June 2002, Dagstuhl, Germany
- Oberwolfach Seminar, *Algorithmic Graph Theory*, (mit Derek Corneil, Toronto and Ingo Schiermeyer, Freiberg), Dezember 2002, Oberwolfach, Germany
- APPROX 2002, *4th International Workshop on Approximation Algorithms for Combinatorial Optimization*, 17.-21. September 2002, Roma, Italy
- ARACNE 2002, *3rd International Workshop on Approximation and Randomized Algorithms in Communication Networks*, 17.-21. September 2002, Roma, Italy

## Lehrstuhl für Allgemeine Materialwissenschaft

### Prof. Dr. Helmut Föll

Das traditionelle Lehrangebot des Lehrstuhls enthält neben 3 Vorlesungen/Übungen mit insgesamt 11 SWS im Pflichtbereich von 5 Studiengängen ein breites Angebot an Wahl- und Vertiefungsfächern; dies wird auch zukünftig so bleiben. Eine Spezialität sind umfangreiche Angebote von Lehrmaterialien im Internet; hier nimmt der Lehrstuhl weltweit eine führende Position ein.

Die Forschung konzentriert sich auf zwei Themenbereiche:

1. Komplettcharakterisierung von Solarzellen hinsichtlich aller Parameter mit großer Ortsauflösung mit Hilfe von am Lehrstuhl entwickelten komplexen Methoden („ELYMAT“- und „CELLO“-Verfahren). Der Lehrstuhl ist u. a. an einem BMBF-Projekt beteiligt, dessen Verlängerung in 2002 anstand.
2. Elektrochemie der Halbleiter von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung. In diesen Bereich fällt auch die Beteiligung am DFG Schwerpunktprogramm „Photonische Kristalle“, der vom Lehrstuhl aus (zusammen mit dem MPI für Mikrostrukturphysik Halle) erfolgreich beantragt wurde, und dessen Verlängerung ebenfalls in 2002 anstand.

## Ergebnisse

### *ELYMAT- und CELLO-Verfahren*

Das ELYMAT-Verfahren zur hochaufgelösten Präzisionsmessung von Lebensdauern in Solar-Silizium ist zwar nach wie vor weltweit konkurrenzlos, wird aber nur noch routinemäßig im Rahmen eines BMBF-Projekts als Dienstleistung eingesetzt. Der Forschungsschwerpunkt liegt bei CELLO (Kurzform von Complete Characterization Solar Cell Local); ein weltweit einzigartiges Verfahren, das erlaubt, alle interessierenden Parameter wie z. B. Serien- und Kurzschlusswiderstände, Spannungen und Ströme lokal zu messen und aus den gewonnenen Daten das Verhalten der Solarzelle bei geänderten Technologieparametern zu simulieren.

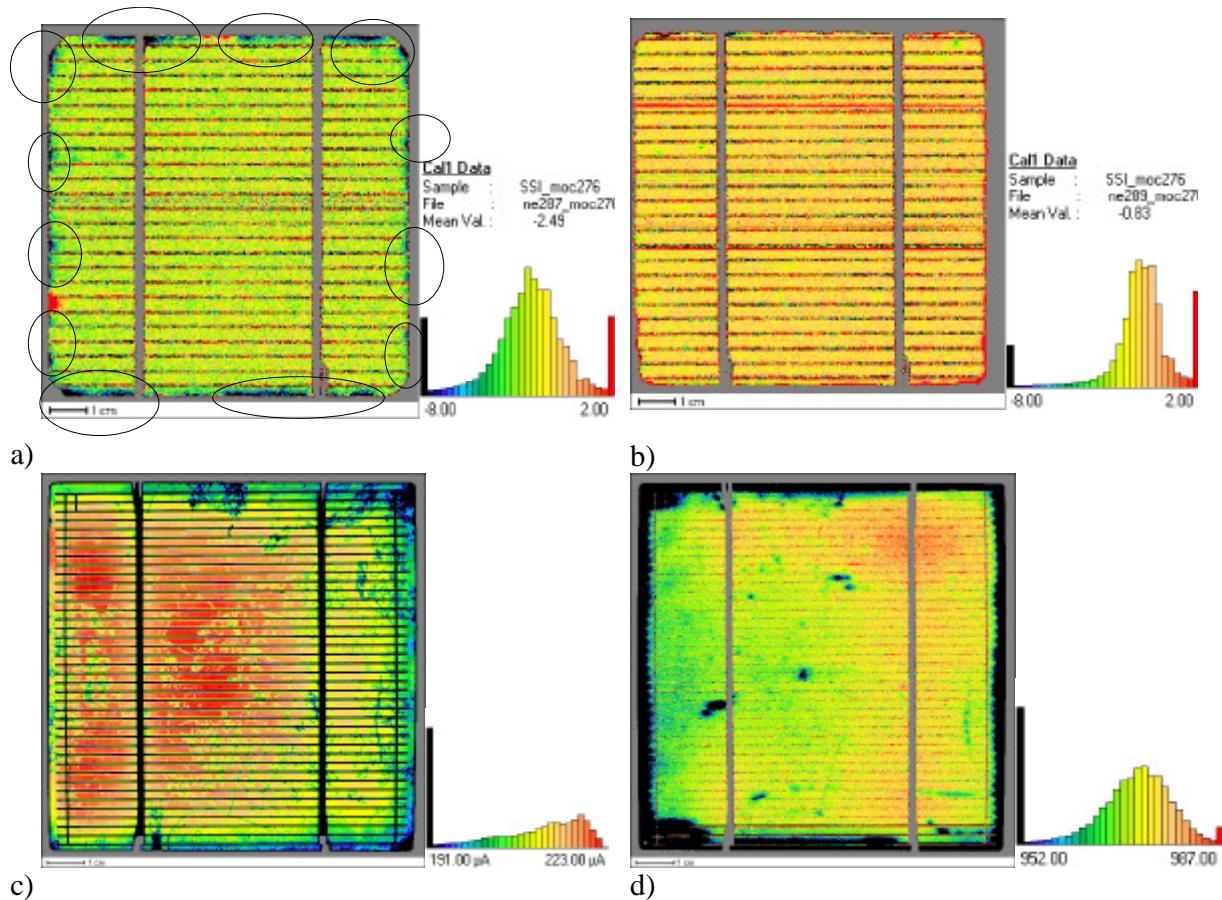
Weiterentwicklungen von Hard- und Software (basierend auf physikalischen Modellen der Solarzelle, die teilweise am Lehrstuhl erstellt wurden) in 2002 erweiterten die Messgenauigkeit und erlauben erste Simulationen zur Verbesserung der Solarzellenwirkungsgrade. Dabei wird unterstellt, dass in der Produktion Maßnahmen eingeführt werden, die typische, erst durch CELLO erfasste, Schwachstellen beseitigen.

In diesem Zusammenhang wurde eine Eigenentwicklung abgeschlossen, die auch noch die nachträgliche Passivierung von Randdefekten fertiger Solarzellen erlaubt. Eine Patentanmeldung ist erfolgt, die Patent- und Verwertungsagentur für die wissenschaftlichen Einrichtungen in Schleswig-Holstein GmbH (PVA SH GmbH) will diese Anmeldung nun übernehmen.

Abb. 1 zeigt zur Illustration sowohl typische CELLO-Auswertungen, als auch die Wirkung der Passivierungsmethode.

### *Elektrochemie der Halbleiter*

Im Bereich der Grundlagenforschung zu Phänomenen wie selbstinduzierten Strom- und Spannungsosillationen an Siliziumelektroden (ein am Lehrstuhl erstmalig verstandenes Phänomen), wurde eine Kooperation mit der theoretischen Physik der CAU fortgeführt (Dr. Claussen/Prof. Schuster); daraus entstanden mehrere gemeinsame Veröffentlichungen.



**Abb. 1** CELLO-Messungen an handelsüblichen Solarzellen (im Original farbcodiert).

a) Visualisierung der Randdefekte (Lokale Kurzschlüsse; schwarze Bereiche), die b) nach der Randpassivierung verschwunden sind. c) Das (einfach zu erhaltende) Kurzschlussstrombild einer multikristallinen Solarzelle zeigt nicht die starken ohmschen Verluste, die am Arbeitspunkt der Solarzelle in den dunklen Bereichen in d) (nur mit CELLO messbar) zu starken Wirkungsgradverlusten führen.

Im Vordergrund des Interesses stand in 2002 jedoch die elektrochemische Porenätzung in Silizium, in III-V Halbleitern wie GaAs, InP und GaP, aber auch in Ge oder GaN. Die Arbeiten in diesem Bereich erfolgen in enger Kooperation mit der Technical University Moldova (Prof. Tiginyanu).

Poröse Halbleiter sind sowohl in der Grundlagenforschung als auch von ihrem Anwendungspotential her von großem und wachsendem Interesse. Porengrößen umfassen dabei den Bereich von nm bis  $>10 \mu\text{m}$ ; Aspektverhältnisse, z. B. in InP, erreichen Werte  $> 5000$ , und Morphologien reichen von absolut zylindrischen Poren, die durch lithographische Techniken gezielt platziert werden können, bis hin zu skurrilen fraktalen Gebilden. Die Eigenschaften der porösen Halbleiter erlauben zahlreiche neuartige Anwendungen; insbesondere auch in der Photonik.

Der Lehrstuhl hat auf diesem Gebiet eine weltweit führende Position; dies zeigt sich u. a. in eingeladenen Übersichtsartikeln in namhaften Zeitschriften. Hervorzuheben ist die Möglichkeit der gezielten Herstellung sogenannter photonischer Kristalle; das dazu (zusammen mit dem MPI für Mikrostrukturphysik Halle) erfolgreich eingeworbene DFG Schwerpunktprogramm (größtes

Schwerpunktprogramm der DFG) wurde Ende 2002 im Rahmen einer vom Lehrstuhl organisierten Tagung mit den Gutachtern von der DFG um weitere 2 Jahre verlängert.

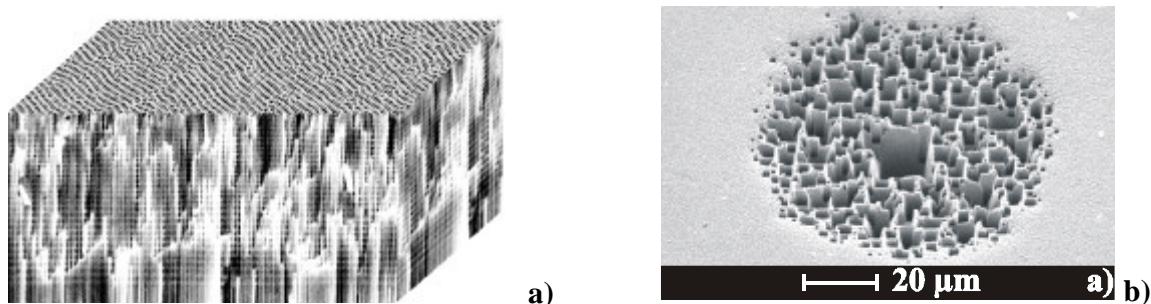
Zunehmend von Interesse sind neuartige optische Eigenschaften mikro- und nanoporöser III-V Halbleiter (z. B. eine mehr als 100-fach stärkere Nichtlinearität bei optischen Eigenschaften); der Lehrstuhl übernahm hier die Federführung bei der Erstellung eines Förderantrags zur Bildung eines „Network of Excellence“ im Rahmen des 6. Rahmenprogramms der EU. Das auffälligste Merkmal poröser Halbleiter ist jedoch oft der hohe Grad an Selbstorganisation, der sich in vielen Aspekten der Elektrochemie und Porenätzung bemerkbar macht, wie z. B. in der Bildung von Porenkristallen und -domänen.

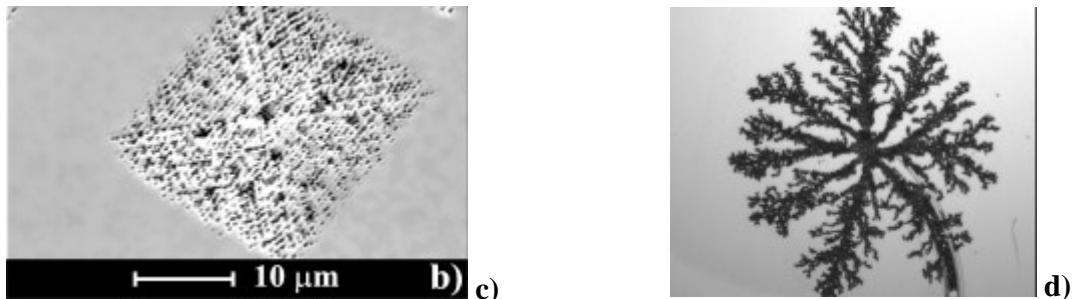
Die Bildung von geordneten Porendomänen, Oszillationen der Poredurchmesser, Ordnungs – Unordnungsübergängen bei leichter Variation der externen Parameter, stochasticen Resonanzen und insbesondere die Bildung von Poreneinkristallen (im InP) mit Gitterkonstanten zwischen ca. 100 nm – 1 µm, die im Extremfall noch gekoppelt sind mit synchronisierten Durchmesseroszillationen und externen Spannungoszillationen, bilden ein weit gespanntes und noch kaum erforschtes Arbeitsfeld. Offenbar können viele Halbleiter-Elektrolytkontakte als hochgradig nichtlineare Systeme aufgefasst werden; am Lehrstuhl wird dazu eine im Grundsatz stochastiche Theorie der Elektrodenprozesse entwickelt (in Kooperation mit der theoretischen Physik der CAU).

Während weltweit immer mehr Forschungseinrichtungen die Thematik der porösen Halbleiter aufgreifen, sind erst wenige Anwendungen im „harten“ Entwicklungsstadium. Ein dabei grundsätzlich auftretendes Problem ist die Hochskalierung der Probengröße vom Labormaßstab (Probenflächen typischerweise < 1 cm<sup>2</sup>) auf relevante Größen für Produktionen (z. B. Si-Scheiben mit Durchmessern von 150 – 300 mm). Am Lehrstuhl wird seit längerem an dieser Problematik gearbeitet, in 2002 wurde ein erster Prototyp eines Si-Universalätzers bis 200 mm Scheibendurchmesser erfolgreich demonstriert. Ein Schlüsselpatent dazu liegt bei der PVA SH GmbH; weitere Patentanmeldungen sind in Vorbereitung.

Eine bereits in 2001 begonnene Kooperation mit einer US Firma zur Anwendung von porösem Si wurde verstärkt. Im Rahmen eines intensiven Technologietransfers wurden sowohl Mitarbeiter ausgetauscht, als auch komplexe Anlagenprototypen transferiert.

Abb. 2 zeigt einige Beispiele zu Strukturen poröser Halbleiter.





**Abb. 2** a) In drei Dimensionen selbstorganisierter Poreneinkristall in InP (Photomontage; Gitterkonstante ca. 100 nm; die „Streifung“ beruht auf synchronisierten Durchmesseroszillationen); b) Porendomäne in Germanium; c) Porendomäne in GaAs; d) Fraktale Porendomäne in Si.

## Personal

Leiter: Prof. Dr. Helmut Föll; Sekretariat: Katrin Brandenburg (½)

Technisches Personal: Dipl.-Ing. Jörg Bahr, Dipl.-Ing. Kay Steen

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dr. Carstensen, Jürgen	1.1.-31.12.02	CAU	Solar Cell local Characterization, Si-Elektrochemie, Theorie
Dr. Christophersen, Marc	1.1.-31.12.02	DFG/CAU	Elektrolyt. Porenätzung in Si
Dr. Claussen, Jens Christian	1.1.-31.12.02	CAU	Nichtlin. Dynamik d. elektrochem. Halbleiterätzens
Dipl.-Ing. Hasse, Gunther	1.1.-31.12.02	DFG (¾)	Theorie der Elektrochemie des Siliziums
Dipl.-Ing. Langa, Sergiu	1.1.-31.12.02	DFG (½)	Elektrolyt. Porenätzung in III-V Halbleitern
Dipl.-Phys. Lölkes, Stefan	1.1.-31.12.02	DFG (¾)	Photonische Kristalle
Dr. Popkirov, Georgi	1.3.-31.7.02	DAAD	Gastdozentur f. innovative Studiengänge
M.Sc. Shakhrai, Maxim	1.1.-31.12.02	ISiT (¾)	mikromechanisch schaltbare var. Hochfrequenzbauelemente
M. Sc. Hejjo Al Rifai, Mohammad	1.1.-30.9.02		Solarzellenpassivierung
M. Sc. S. M. Snyder	1.10.-31.12.02	NEAH, USA	Optimierung elektrochemischer Membranen

## Vorlesungen, Seminare und Praktika

Winter 2001/2002

Einführung in die Materialwissenschaft I, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+G. Hasse)

Electronic Materials, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+S. Lölkes)

Semiconductors, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+M. Christophersen)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, K. Noack, W. Weppner

Quantummechanical Aspects in Materials Science, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
J. Carstensen

Aktuelle Fragen der Forschung, 2 Std. Seminar/Woche,  
H. Föll

Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, W. Weppner

#### *Sommer 2002*

Einführung in die Materialwissenschaft II, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+G. Hasse)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien II, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, K. Noack, K. Rätzke, W. Weppner

Statistical Methods in Materials Science, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
J. Carstensen

Nichtlineare Dynamik, Fraktale und Chaos II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
J.C. Claussen

Introduction to Electrochemistry for Materials Scientists, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
G. Popkirov

Electrochemical Impedance Spectroscopy, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
G. Popkirov

Electronic measurement techniques for Master-, Diplom- and PhD-students in Materials Science,  
2(+1) Std. Vorlesung (+Praktikum)/Woche,  
G. Popkirov

Recent Research in Electrochemistry of Semiconductors, 2 Std. Seminar/Woche,  
H. Föll, J. Carstensen

Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, W. Weppner

Functional Materials, 4 Std. Praktikum/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, W. Weppner

#### *Winter 2002/2003*

Einführung in die Materialwissenschaft I, 3(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+G. Hasse)

Electronic Materials, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+S. Lölkes)

Semiconductors, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
H. Föll (+S. Lölkes)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
H. Föll, W.F. Chu, F. Faupel, W. Jäger, K. Noack, K. Rätzke, E. Spiecker, W. Weppner

Quantummechanical Aspects in Materials Science, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
J. Carstensen

Aktuelle Fragen der Forschung, 2 Std. Seminar/Woche,  
H. Föll

Aktuelle Fragen der Strukturbildung in der Silizium-Elektrochemie, 2 Std. Seminar/Woche,  
H. Föll, J.C. Claussen, J. Carstensen

Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, W. Weppner

Functional Materials, 4 Std. Praktikum/Woche,

H. Föll, F. Faupel, W. Jäger, W. Weppner

### Drittmittel

DFG, *Entstehungsursachen für makro- und mesoporöses Silizium und Herstellung von subum-Strukturen*, 1.1.02 - 30.6.02 (14,6 kEUR)

DFG, *Electrochemistry and Pore Formation in III-V Compounds*, 1.5.01 - 30.4.03 (70,3 kEUR)

DFG, *Elektrochem. Untersuchungen am Kontakt Silizium-Elektrolyt*, 1.6.01 - 31.5.03 (110,4 kEUR)

DFG, *Schwerpunktprogramm "Photonische Kristalle" – Preparation of two and three dimensional photonic crystals in Si and III-V semiconductors by pore etching*, 1.9.01 - 31.8.03 (147,6 kEUR)

DFG, *Schwerpunktprogramm "Photonische Kristalle" – Zentralprojekt*, 15.4.02 - 14.7.02 (5,1 kEUR)

DFG, *Deutsch-moldavische Zusammenarbeit zum Thema "Electrochemistry and Pore Formation in III-V Compounds"*, 18.7.01 - 17.6.03 (20,5 kEUR)

DAAD, *INNOVATEC – Gastdozenturen für innovative Studiengänge an deutschen Hochschulen*, 15.5.01 – 31.7.01 und 1.3.02 - 31.7.02 (44,9 kEUR)

NEAH POWER SYSTEMS Inc., USA, *Porous silicon and its application to fuel cell technologies*, 1.10.01 - 30.9.02 (93,0 kEUR)

Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie, Itzehoe, *Untersuchungen zu mikromechanisch schaltbaren variablen Hochfrequenzbauelementen – Investigation of micromechanically switched variable radio-frequency components*, 1.10.01 - 30.9.03 (72,6 kEUR)

Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie, Itzehoe, *Zuverlässigkeitsuntersuchungen an neuartigen HF-MEMS Schaltern*, 15.7.02 - 31.10.03 (23,5 kEUR)

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, BMWi-Projekt: *Kostengünstiges Silizium (KoSi), ELYMAT- und CELLO-Messungen für das KoSi-Projekt*, 1.10.99 - 30.9.02 (69,0 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfer und Konsultationen

IMEC, Belgien, *Kooperation: Austausch von Proben und CELLO-Untersuchungen*

NEAH Power Systems Inc., USA, *Austausch von wissenschaftlichen Mitarbeitern: M. Christoffersen, K. Steen je 1 Monat NEAH, USA; Suzanne M. Snyder seit 1.10.02 am Lehrstuhl für Materialwissenschaft, Kiel; H. Föll allg. Consulting im Rahmen eines „Scientific Advisors“*  
Dräger, Lübeck, *Mehrere Konsultationen im Rahmen eines geplanten gemeinsamen BMBF Projekts Technical University Moldova, Chisinau, Moldova, wissenschaftliche Kooperation mit Prof. I.M. Tiginyanu*

Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik (MPI), Halle, *wissenschaftliche Kooperation mit Prof. Dr. U. Gösele und Dr. R. Wehrspohn*

Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie (Fhg-ISiT), Itzehoe, *wissenschaftliche Kooperation: Makroporen für MEMS*

Fachhochschule Westküste, Heide, *Versuche mit Laser-Lithographie bei Prof. Dr. R. Veyhl*

Walter-Schottky-Institut der TU München, Garching, *Lithographie auf InP*

Fa. Osram, Regensburg, *Elektrochemie auf GaN*

Fa. Wacker Siltronic, Burghausen, *wissenschaftliches Consulting: Poröses Silizium, Möglichkeiten und Grenzen des strukturierten Ätzens und des selektiven Ätzens in Si*

Faculte des Sciences de Tunis, Departement de Physique, Tunesien, *Kooperation: Austausch von Proben zur Charakterisierung optischer Eigenschaften*

Mehrere Kollegen verwenden die *Vorlesungs-Hyperscripte* des Lehrstuhls für ihre Lehre, z. B. Prof. Abelson, Stanford-University

### Diplom- und Master-Arbeiten

M. Manole, *Investigation of the frequency dependence of CELLO measurement*, 4.9.02

E. Balaur, *Optimization of pore nucleation in (100) oriented GaAs crystals*, 30.8.02

J. Efavi, *PVD Midgap Metals for sub-100 nm CMOS on SOI-material*, 2.12.02

### Dissertationen

M. Christophersen, *Untersuchungen zur Makroporenbildung in Silizium und deren technologischen Nutzung*, 23.5.2002

P. Merz, *Herstellung von mikrostrukturierten Oberflächen in Glas und Polymer durch replikative Verfahrenstechnologien*, 5.11.2002

### Veröffentlichungen

S. Langa, J. Carstensen, I. M. Tiginyanu, M. Christophersen, H. Föll, *Formation of tetrahedron-like pores during anodic etching of (100)-oriented n-GaAs*, *Electrochem. Solid-State Lett.* **5**, C14-C17 (2002)

I.M. Tiginyanu, S. Langa, M. Christophersen, J. Carstensen, V. Sergentu, E. Foca, O. Rios, and H. Föll, *Properties of 2D and 3D Dielectric Structures Fabricated by Electrochemical Dissolution of III-V Compounds*, *MRS Proceedings* **692**, K2.7 (2002)

H. Föll, S. Langa, J. Carstensen, M. Christophersen, I. M. Tiginyanu, K. Dichtel, *Pore Etching in Compound Semiconductors for the Production of Photonic Crystals*, Invited paper: *MRS Proceedings Spring Meeting: Materials and Devices for Optoelectronics and Microphotonics*, Editors: R.B. Wehrspohn, S. Noda, C. Soukoulis and R. März, San Francisco, L6.4 (2002)

M. Heijo Al-Rifai, J. Carstensen, and H. Föll, *A simple passivation technique for the edge area of silicon solar cells improves the efficiency*, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **72**, 327 - 333 (2002)

H. Föll, M. Christophersen, J. Carstensen, G. Hasse, *Formation and application of porous silicon* (invited review), *Mat. Sci. Eng. R* **39**, 4, 93 – 141 (2002)

J. Carstensen, G. Popkirov, J. Bahr, and H. Föll, *CELLO: An Advanced LBIC Measurement Technique for Solar Cell Local Characterization*, in *Photovoltaic and Photoactive Materials - Properties, Technology and Applications*, eds. J.M. Marshall and D. Dimova-Malinovska, Kluver Academic Publishers (Netherlands), 321 (2002)

H. Föll, Buchbesprechungen zu “*Morde, Macht, Moneten*“ von D. Raabe, *Physik Journal*, **6**/65 (2002)

### Patent-Anmeldungen

H. Föll, G. Popkirov, J. Carstensen, K. Voigt, J. Bahr, M. Christophersen, *Anlage zum elektrochemischen Ätzen großflächiger Halbleiterscheiben*, eingereicht bei der PVA SH GmbH, Kiel, 2002

### Präsentationen

H. Föll, J. Carstensen, S. Langa, M. Christophersen, I.M. Tiginyanu, *Porous III-V Compound Semiconductors: Formation, Properties and Comparison to Silicon*, PSST, Tenerife, 10. - 15.3.02

- H. Föll, S. Lölkes, M. Christophersen, S. Langa, J. Carstensen, *Preparation of two and three dimensional photonic crystals in Si and III-V semiconductors by pore etching*, DFG Schwerpunkt-Kolloquium, Bad Honnef, 20. - 22.3.02
- H. Föll, S. Langa, J. Carstensen, M. Christophersen, I. M. Tiginyanu, K. Dichtel, *Pore Etching in Compound Semiconductors for the Production of Photonic Crystals*, MRS Spring Meeting, San Francisco, 1. - 5.4.02 (eingeladener Vortrag)
- J. Carstensen, G. Popkirov, J. Bahr, H. Föll, *CELLO: Messung aller lokalen Solarzellenkenngrößen*, ZAE Bayern, Erlangen, 19.4.02 (eingeladener Seminarvortrag)
- J. Carstensen, H. Föll, *CELLO-Ergebnisse an unterschiedlichen Solarzellen im KOSI-Verbund*, Eisenach, 16. - 18.9.02 (Zusammenfassung der Lehrstuhlkaktivitäten im KOSI-Projekt)
- H. Föll, J. Carstensen, M. Christophersen, S. Langa, and I.M. Tiginyanu, *Photonic Crystals – The Future of Optical Communications*, III International Conference on Microelectronics and Computer Science ICMCS-2002, Chisinau, Moldova, 26. - 27.9.02 (eingeladener Vortrag)
- J. Carstensen, G. Popkirov, J. Bahr, H. Föll, *CELLO: Measurement of all local Solar Cell Parameters*, IMEC, Belgien, 5.12.02 (eingeladener Vortrag)
- H. Föll, S. Lölkes, S. Langa, J. Carstensen, *Preparation of two and three dimensional photonic crystals in Si and III-V semiconductors by pore etching*, DFG Schwerpunkt-Kolloquium, Bad Honnef, 4. - 6.12.02
- H. Föll *Elektrochemie der Halbleiter – ein Gebiet der stochastischen Physik ?* Kolloquiumsvortrag, Universität Frankfurt
- H. Föll *Ingenierausbildung – ein Schlüssel zur Innovation*, Rede zur Preisverleihung der Prof. Dr. Werner-Petersen Stiftung, 30.11.2002

## Lehrstuhl für Materialverbunde

Prof. Dr. Franz Faupel

Der Lehrstuhl für Materialverbunde hat im letzten Jahr mehr als 25 Projekte bearbeitet. Vorwiegend geschah dies im Rahmen von Drittmittelvorhaben mit Partnern aus Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie. Ein Schwerpunkt lag dabei auf Metall-Polymer-Grenzflächen. Die Forschung ist teilweise durch Anwendungen von Polymeren in der Mikroelektronik stimuliert und reicht von Keimbildung und Wachstum von Metallfilmen auf Polymeren, Metalldiffusion und Grenzflächenchemie bis hin zu Oberflächenfunktionalisierung und Haftung. In einem zweiten Schwerpunkt wurde Composite aus in einer Polymermatrix eingebetteten Nanopartikeln erforscht. Angeregt durch die sehr interessanten elektronischen, optischen, magnetischen und katalytischen Eigenschaften solcher Composite verfolgte die Gruppe zahlreiche neue Herstellungsverfahren für Polymer-Matrix-Nanocomposite, die metallische Cluster im Bereich von typisch 1 bis 50 nm enthalten (1 nm = 0.000001 mm). Weitere aktuelle Forschungsgebiete schließen die Diffusion in Gläsern und unterkühlten Schmelzen sowie die Dynamik des Glasübergangs, die Modifikation von Polymeren mittels Ionenstrahlen und Plasmen, die Oxidation metallischer Legierungen und Metall-Keramik-Membranen ein. Im letzten Jahr ist im Rahmen der Habilitation von R. Adelung auch das Gebiet der Strukturbildung auf Metall-Dichalkogeniden hinzugekommen.

## Ergebnisse

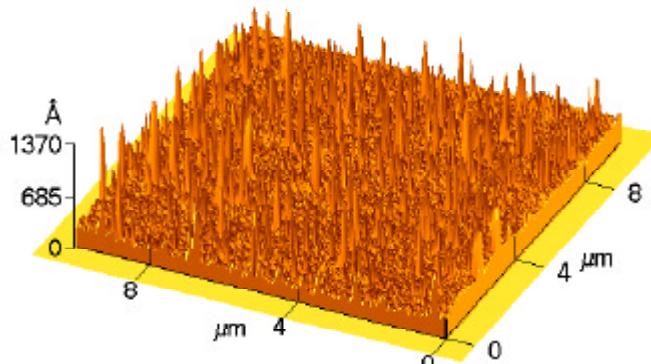
### *Metall-Polymer-Grenzflächen*

Ein besonderes Highlight auf diesem Gebiet war der Nachweis mittels einer hochempfindlichen Radiotracermethode, dass Edelmetallatome selbst bei Raumtemperatur in Polymeren beweglich sind und beim Metallisieren in die Polymermatrix eindiffundieren. Dabei handelt es sich um ein kompliziertes Wechselspiel von Diffusion und Immobilisierung durch Aggregation. Hierzu wurden Computersimulationen durchgeführt und effektive Diffusionsbarrieren aus Chromschichten im Submonolagenbereich entwickelt. Die Ergebnisse sollen jetzt im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms auf die Metallisierung von organischen Halbleitern angewandt werden.

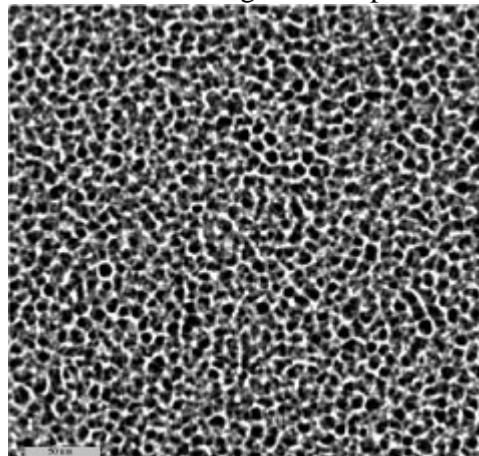
In einem vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Projekt arbeitet der Lehrstuhl zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung in Bremen, der Universität des Saarlandes, der Universität Kaiserslautern und den Industriepartnern Dow Automotive AG, Kömmerling Chemische Fabrik GmbH und Sika AG über Haftungs- und Enthaftungsvorgänge an Polymer-Metall-Grenzflächen. Im letzten Jahr wurde mit einer neuen Markierungstechnik die Eindiffusion von Metallen in Epoxidharze untersucht. Ferner konnte gezeigt werden, dass aus unvollständiger Vernetzung resultierende reaktive Gruppen die atomaren Haftkoeffizienten, die mit einer neuen am Lehrstuhl entwickelten Radiotracermethode bestimmt wurden, beeinflussen. Die Vernetzung und deren Auswirkung auf das freie Volumen der Epoxidharze wurde mittels der Positronenlebenszeit-Spektroskopie *in situ* verfolgt.

In einem weiteren BMBF-Projekt mit dem Fraunhofer-Institut für Schichttechnologie in Braunschweig, dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf und den Firmen inprotec AG, Mankiewicz Gebr. & Co, Renolit-Werke GmbH, tesa AG und Soft electronic GmbH untersucht der Lehrstuhl die Funktionalisierung von Polymeroberflächen mittels eines Atmosphärendruckplasmas, das für die industrielle Anwendung besonders günstig ist, da es ohne Vakuumtechnik betrieben werden kann. U. a. geht es um die Verbesserung der Haftung zwischen

Metallen und Polymeren. Im letzten Jahr wurden am Lehrstuhl mit Hilfe der Photoelektronenspektroskopie und weiteren Methoden die durch die Plasmabehandlung eingebrachten chemischen und strukturellen Veränderungen der Polymeroberflächen untersucht und atomare Haftkoeffizienten bestimmt. Unabhängig vom BMBF-Projekt wurden Arbeiten durchgeführt, die eine Abscheidung von fein verteilten Metallclustern auf Polymeroberflächen unter Atmosphärenbedingungen ermöglichen. Ferner erfolgten zur Aufklärung der Mechanismen der Wechselwirkung von Ionen mit Polymeroberflächen Versuche mit niedrigerenergetischen Ionenstrahlen. Dabei zeigte sich ein bisher nicht beobachteter extremer Abfall der Sputterraten in der Frühphase des Zerstäubungsprozesses, der auch bei der Analyse von Polymeroberflächen mittels der Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) von Bedeutung sein dürfte. Schon nach einer geringen Ionendosis stelle sich dann ein Gleichgewicht von Kettenbrüchen und Vernetzung ein. Der Vernetzungsgrad wurde mit hoher Oberflächenempfindlichkeit nach einem neu entwickelten Verfahren über die Einbettungskinetik von metallischen Nanopartikeln ermittelt. Im Rahmen der Arbeiten zum Sputtern von Polymeren wurde auch ein Verfahren entwickelt, das die Strukturierung von Polymeroberflächen mit einer Auflösung im nm-Bereich erlaubt. Abb. 1 zeigt ein Beispiel.



**Abb. 1.** Beispiel einer durch ein neu entwickeltes Sputter-Verfahren strukturierten Polymeroberfläche. Auf der Spitze der Säulen befinden sich Metallcluster. Die Auflösung des Verfahrens ist noch nicht optimiert und lässt sich weiter erhöhen.



**Abb. 2.** Polymer-Metall-Nanocomposite mit Teilchen aus einer magnetischen Legierung, die in einer Teflon-AF®-Matrix eingelagert sind. Die extrem kleinen Teilchen sind nur mit dem Elektronenmikroskop bei 100.000-facher Vergrößerung zu erkennen.

Weitere Arbeiten befassten sich mit der chemischen Wechselwirkung von über die Gasphase abgeschiedenem Aluminium mit Fluoropolymeren, die als Isolatoren mit niedriger Dielektrizitätskonstante und hoher Durchschlagfestigkeit interessant sind. Dabei konnten mittels Photoelektronen-Spektroskopie verschiedene Oberflächenreaktionen nachgewiesen werden, die für die gute Haftung von Aluminium verantwortlich sind.

Die Erfahrungen des Lehrstuhls im Maßschneidern von Metall-Polymer-Grenzflächen und seine analytischen Möglichkeiten fließen auch in ein mit der Lübecker Firma o.m.t. durchgeführtes Projekt ein, bei dem es um die Metallisierung von Polymerelektrolyten für Brennstoffzellen geht.

### *Nanocomposite für funktionelle Anwendungen*

In einem von der Technologiestiftung Schleswig-Holstein geförderten Projekt wurden Polymer-Metall-Nanocomposite mittels Koevaporation von Metallen und organischen Komponenten hergestellt. Der Schwerpunkt lag im letzten Jahr auf der Entwicklung von magnetischen Schichten für Anwendungen im GHz-Bereich z.B. für Induktoren in Mobiltelefonen. In diesem Frequenzbereich ist die Unterdrückung von Wirbelströmen besonders wichtig. Das kann u.a. durch extrem feine Dispergierung magnetischer Teilchen in der isolierenden Polymermatrix erreicht werden. Inzwischen ist es gelungen, Teilchen von nur einigen nm Größe mit sehr enger Größenverteilung bei gleichzeitig hohem Füllfaktor zu erzeugen. (Abb. 2).

Im letzten Jahr wurde ferner eine Anlage aufgebaut, mit der sich Nanocomposite auch über gleichzeitige Sputterdeposition von Metall und organischer Matrix herstellen lassen. In einem von der Technologiestiftung Schleswig-Holstein geförderten Projekt soll in enger Kooperation mit der Firma o.m.t. jetzt ausgelotet werden, inwieweit sich die Methode technologisch umsetzen lässt.

Als weitere Methode zur Herstellung von Polymer-Metall-Nanocompositen wurde zusammen mit der Kobe University in Japan das Verfahren der Einbettung von Metallclustern mittels der lösungsmittelinduzierten Kristallisation von Polycarbonat entwickelt. Die Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS) finanziert. In einem mehr grundlagenorientierten Gemeinschaftsprojekt mit der Kobe University wurde ebenfalls mit Förderung durch die DFG und die JSPS die Dispersion von Goldclustern in metallischen Gläsern untersucht. Es zeigte sich, dass hier ganz andere Mechanismen wie preferentielle Oxidation und Segregation eine Rolle spielen.

In Kooperation mit der University of Amsterdam und der Shell AG wurden Polymer-Metall-Nanocomposite auch über Kugelmahlen hergestellt und strukturelle Veränderungen von Polymeren beim Mahlen untersucht. Es zeigte sich, dass die Polymerstruktur bis auf eine Molekulargewichtsabnahme weitgehend erhalten bleibt. Seit Oktober 2001 kooperiert der Lehrstuhl mit dem international operierenden Unternehmen Mitsubishi Belting Ltd. aus Kobe. In einem von der Firma finanzierten Projekt arbeitet ein Mitarbeiter von Mitsubishi am Lehrstuhl an der Herstellung ligandenstabilisierter Metallcluster durch Reduktion eines Metallsalzes. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung industriell umsetzbarer Verfahren. Bisher ist u.a. eine Methode entwickelt worden, bei der ein geeignet terminiertes niedermolekulares Polymer gleichzeitig als Lösungsmittel, Reduktionsmittel, und Stabilisator dient.

### *Membranen*

Initiiert durch ein vom GKSS-Forschungszentrum Geesthacht im Rahmen seines Hochschulprogramms finanzierten Projektes arbeitete der Lehrstuhl an der Charakterisierung von Membranpolymeren mit Hilfe der Positronenlebenszeit-Spektroskopie. Die Methode gestattet die Untersuchung von freiem Volumen auf atomarer Skala, wie es für die Permeation von Gasen von Bedeutung ist. Es ergab sich u.a. eine ausgeprägte Korrelation zwischen dem freien Volumen aus Positronenmessungen und dem Permeationsverhalten.

Ebenfalls im Rahmen eines GKSS-Hochschulprojekts arbeitet der Lehrstuhl an der Entwicklung neuartiger Metall-Keramik-Hybridmembranen mit extrem hoher Sauerstoffselektivität für den Einsatz in Brennstoffzellen. Dabei dient ein Silberfilm als hochselektive Membran. Um ausreichende Permeabilität zu erhalten, ist die Schichtdicke nur etwa 0.1 µm. Solche dünnen Schichten können nicht mehr freitragend eingesetzt werden. Deshalb dient eine nanoporöse Aluminiumoxidschicht als Träger. Im Projektverlauf wurde das Aufwachsen von Silber auf die poröse Keramik bei verschiedenen Depositionsverfahren untersucht, die Eigenschaften der

Schichten charakterisiert und schließlich ein Prozess entwickelt, der es gestattet, Silber mit guter Haftung und pinhole-frei abzuscheiden.

#### *Diffusion in Metallischen Gläsern und Unterkühlte Metallschmelzen*

Im letzten Jahr ist es V. Zöllmer im Rahmen seiner Doktorarbeit erstmals gelungen, die Diffusion in metallischen glasbildenden Legierungen vom Glasübergang bis zur Gleichgewichtsschmelze zu untersuchen. Wegen der starken Kristallisationsneigung metallischer Glasbildner war dies bisher trotz weltweiter Anstrengungen und eines von der DFG geförderten Schwerpunktprogramms, in das die Untersuchungen eingebettet waren, nicht möglich gewesen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die mikroskopischen Diffusionsprozesse weit oberhalb der makroskopischen Erweichungstemperatur immer noch festkörperartige kollektive Sprünge sind und stellen eine wichtige Bestätigung der sogenannten Modenkopplungstheorie dar. Spektakulär sind auch das beobachtete Versagen der klassischen hydrodynamischen Theorie in der Gleichgewichtsschmelze. Dies dürfte die guten glasbildenden Eigenschaften der Legierung, die auch die Herstellung von metallischen Massivgläsern mit zahlreichen interessanten Anwendungen gestattet, erklären. V. Zöllmer wurde für seine Arbeiten mit dem DGM-Nachwuchspreis ausgezeichnet (s.u.).

#### *Strukturbildung auf Übergangsmetall-dichalkogeniden*

Die Übergangsmetall-dichalkogenide zeichnen sich durch einen schichtartigen Aufbau, extrem glatte Oberflächen sowie interessante strukturelle und elektronische Eigenschaften aus. Sie sind Gegenstand einer fakultätsübergreifenden Forschergruppe die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird. Im Rahmen seiner Doktorarbeit in der Experimentalphysik (Gruppe Kipp/Skibowski) fand R. Adelung auf den glatten Oberflächen erstmals nach Abscheidung von Rubidium Nanodrahtnetzwerke. Innerhalb dieser Forschergruppe wurde 2002 am Lehrstuhl für Materialverbunde ein neues Teilprojekt gestartet, welches systematisch die Auswirkungen der Metalldeposition auf diesen Oberflächen untersuchen soll. So führt die Abscheidung von Kupfer im Vakuum zur Ausbildung von Netzwerken die aus nur wenigen Atome breiten Drähten bestehen. Inzwischen wurden z.B. auch eisblumenartige Strukturen gefunden. Diese Strukturierungseffekte sollen jetzt weiter erforscht und auf ihre technologische Nutzbarkeit geprüft werden.

#### **Personal**

Leiter: Prof. Dr. F. Faupel, Sekretariat: Dipl.-Geol. B. Minten

Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) R. Kloth, Dipl.-Ing. (FH) S. Rehders

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Alijew, Magsud	1.1. - 31.03.02	DAAD	Metallisierung von Polymeren
Dr. Adelung, Rainer	1.4. - 31.12.02	CAU	Schichtkristalle
Dr. Biswas, Abhijit	1.1-31.12.02	TSS-H	Nanocomposite
Dr. Daniel, Sundar	1.1-31.12.02	CAU	Diffusion in metallischen Gläsern u. bleifreien Loten
Dr. Günther-Schade, Katja	1.1-31.12.02	CAU	Entmischung von Polmer-Blends
	10.5.-09.09.02	DFG	
PD Dr. Rätzke, Klaus	1.1-31.12.02	CAU	Metallische Gläser, bleifreie Lote
Dr. Sharma, Suman-Kumar	1.1.-30.04.02	CAU	Oxidation von metallischen Gläsern
Dr. Zaporojtchenko, Vladimir	1.1. - 31.12.02	BMBF	Haftung und Endhaftung

**Gastwissenschaftler:**

Dr. Ding, Shi-Jin	1.1. - 30.11.02	A.v.H.	Al-Teflon-Grenzflächen
Dr. Fan, Zhongjiong	1.1. - 31.03.02	CAU	(Scholarship) Induzierte Kristallisation
M.Sc. Iwamoto, Mosahiro	1.1. - 31.12.02	Mitsuboshi	Ligandenstabilisierte Cluster
M.Sc. Nabika, Hideki			

**Doktoranden:**

Dipl.-Min. Büttner, Angela	1.1. - 31.12.02	GKSS	Ag/AlO <sub>3</sub> -Membranen
Dipl.-Chem. Dolgner, Kai	1.1. - 31.12.02	CAU	Haftung und Kristallisation
Dipl.-Phys. Erichsen, Jörn	1.1. - 31.12.02	DFG/BMBF	Oberflächenglasübergang
Dipl.-Phys. Kanzow, Jörn	1.1. - 31.12.02	CAU	Metall-Epoxidharz-System
Dipl.-Phys. Kunz, Rainer	1.7. - 31.12.02	DFG	Schichtkristalle
Dipl.-Min. Schürmann, Stefan	1.1. - 31.12.02	DFG/BMBF	Metall-Polymer-Systeme
Dipl.-Chem. Taudin, Torsten	1.1. - 31.12.02	o.m.t.	Kunststoff-Schichtverbunde
Dipl.-Chem. Will, Torsten	1.1. - 31.12.02	o.m.t.	Kunststoff-Schichtverbunde
M.Sc. Zekonyte, Jurgita	1.1. - 14.09.02	DFG	Sputtern von Polymeren
	15.9.-31.12.02	CAU	

**Vorlesungen, Seminare und Praktika***Winter 2001/2002*

Metals I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel (+K. Rätzke)

Polymers I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel (+K. Rätzke)

Solid State Physics for Engineers I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel (+ J. Erichsen, J. Kanzow)

Thin Films II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

K. Rätzke (+K. Rätzke)

Werkstoffe und Werkstofftechnologie I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger, W. Weppner, K. Noack

Laboratory Course: Scientific Methods, 4 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger, W. Weppner

Seminar für Festkörperphysik und Materialwissenschaft, 1 Std. /Woche

R. Berndt, F. Faupel, W. Jäger, W. Press, M. Skibowski

Seminar des Lehrstuhles für Materialverbunde, 1 Std. /Woche

F. Faupel

Tutorium for Master Students (Junior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

Tutorium for Master Students (Senior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

*Sommer 2002*

Metals II , 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F.Faupel

Polymers I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel (+J. Zekonyte)

Solid State Physics for Engineers II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

R. Adelung, F. Faupel, (+J.Kanzow)

Thin Films I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

K. Rätzke

Werkstoffe und Werkstofftechnologie II, 1 Std. /Woche

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger, W. Weppner, K. Noack

Laboratory Course: Scientific Methods, 4 Stunden /Woche

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger, W. Weppner

Seminar für Festkörperphysik und Materialwissenschaft, 1 Std. /Woche

R. Berndt, F. Faupel, W. Jäger, W. Press, M. Skibowski

Seminar des Lehrstuhles für Materialverbunde, 2 Std. /Woche

F. Faupel

Tutorium for Master Students (Junior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

Tutorium for Master Students (Senior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

### *Winter 2002/2003*

Metals I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel (+ K. Rätzke)

Polymers II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

F. Faupel

Solid State Physics for Engineers I, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

R. Adelung, F. Faupel (+ J. Kanzow)

Thin Films II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

K. Rätzke

Werkstoffe und Werkstofftechnologie I, 1 Std. /Woche

F. Faupel mit H. Föll, W. Jäger, W. Weppner, K. Noack

Laboratory Course: Scientific Methods, 4 Std. /Woche SWS

F. Faupel mit H. Föll, W. Jäger, W. Weppner

Forschergruppenkolloquium, 1 Std. /Woche

F. Faupel mit R. Berndt, W. Jäger, W. Press, M. Skibowski

Seminar des Lehrstuhles für Materialverbunde, 1 Std. /Woche

F. Faupel

Tutorium for Master Students (Junior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

Tutorium for Master Students (Senior), 1 Std. /Woche

K. Dolgner

### Prüfungsausschuss

Prof. Faupel ist seit 2001 Vorsitzender des Prüfungsausschusses Materialwissenschaft.

### Master-Studiengang

Prof. Faupel ist seit 2001 verantwortlich für den Master-Studiengang Materials Science.

### Drittmittel

Alexander von Humboldt Stiftung, *Stipendium für Dr. Shi-Jin Ding*, 1.12.01-30.11.02 (24,7 kEUR)  
BMBF, *Steuerung von Haftmechanismen in Verbundsystemen durch chemische Oberflächenfunktionalisierung im Atmosphärendruckplasma*, 1.08.01 - 31.07.04 (221,8 kEUR)  
BMBF, *Adhäsions- und Alterungsmechanismen in Polymer-Metall-Übergängen*, 1.08.02-31.07.05 (217,8 kEUR)  
BWB, *Materilakustische Untersuchungen an den desorbierenden Beschichtungen*, 1.01.02-31.12.04 (244,9 kEUR)  
DAAD, *Stipendium für Dr. M. Alijew*, 1.10.01-31.03.02 (6,2 kEUR)  
DFG, *Chalkogenid-Schichtstrukturen (FOR 353/2-1+2-2)*, 1.07.02-30.06.05 (127,6 kEUR)  
DFG, *Massenabhängigkeit der Diffusion in unterkühlten Metallschmelzen (FA 234/4-3)*, 1.03.99-30.09.02 (58,3 kEUR)  
DFG, *Kondensationskoeffizienten, Keimbildung und Wachstum von Metallen auf Polymeren (FA 234/5-1)*, 1.07.00-28.02.03 (135,8 kEUR)  
DFG, *JSPS Autodispersion von Goldclustern in metallischen Gläsern (FA 234/6-1)*, 1.03.01-28.02.03 (143,6 kEUR)  
DFG, *Beryllium als schnell diffundierendes Element in metallischen Massivgläsern (RA 796/3-1)*, 1.07.02-31.12.03 (131,8 kEUR)  
DFG, *Metall/Polymer-Grenzflächen (STR 548/5-1)*, 1.06.99-30.04.02 (72,0 kEUR)  
GKSS, *Beitrag zur Entwicklung eines Membranreaktors (1.KC.01.G.01-HS-1)*, 1.01.02-31.12.02 (26,9 kEUR)  
Mitsuboshi Belting Ltd., *Ligand-stabilized monodisperse gold nanoparticles*, 1.10.01-31.03.03 (69,9 kEUR)  
o.m.t., *Entwicklung und Charakterisierung von Kunststoff-Schichtverbunden (#9932)*, 1.01.01-30.06.03 (207,2 kEUR)  
TSS-H, *Herstellung von Polymerfunktionsschichten durch Abscheidung aus der Gasphase (2000-44p,i)*, 1.07.01-31.10.03 (67,0 kEUR)  
TSS-H, *RF-Sputtern mit Composite Targets (2002-11)*, 1.07.02-31.10.03 (105,5 kEUR)  
UNI Kiel Scholarship, *Stipendium für Dr. Zhongyong Fan*, .1-31.03.02 (6,4 kEUR)

### Studienarbeiten

Kruse, Jan: *Kinetik der Kristallisation von Bisphenol-A-Polycarbonat und Autodispersion von Edelmetallclustern*  
Senftleben, Doreen: *Herstellung modifizierter  $\gamma$ -Aluminiumoxidschichten zur Haftungssteigerung innerhalb eines Keramik-Metall-Verbundes*

### Diplom- und Master-Arbeiten

Lenser, Sabine, *Einfluß der Kristallisation auf die Diffusion und relaxative Autodispersion am Bsp. des Tracers  $^{110m}\text{Ag}$  in  $\text{Fe}_{40}\text{Mo}_4\text{B}_{18}$*   
Keshavarz, Zohreh, *Investigation of metal/polymer composites during mechanical milling.*  
Shiferaw, Tesfaye: *Surface glass transition temperature of bimodal monodispersed polystyrene mixtures.*

### Dissertation

Volker Zöllmer, Diffusion in glasbildenden Palladium-Kupfer-Nickel-Phosphor-Legierungen vom Glaszustand bis in die Gleichgewichtsschmelze, 28.06.2002, **ausgezeichnet mit dem DGM-Nachwuchspreis 2002** der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde.

### Habilitation

Dr. Klaus Rätzke, *Diffusion in disordered solids and undercooled liquids*, 23.01.2002

### Publikationen

- C. Nagel, K. Günther-Schade, D. Fritsch, T. Strunskus, and F. Faupel, *Free volume and transport properties in highly selective polymer membranes*, Macromolecules, **6**, 2071 (2002)
- A. Thran, T. Stunskus, V. Zaporojtchenko, and F. Faupel *Evidence of noble metal diffusion in polymers at room temperature and its retardation by a chromium barrier*, Appl. Phys. Lett., **81**, 244 (2002)
- V. Zöllmer, A. Rehmet, K. Rätzke, U. Geyer, and F. Faupel, *Evidence of diffusion via collective hopping in metallic supercooled liquids and glasses*, Phys. Rev. B, **65**, 220201-1 (R) (2002)
- R. Adelung, F. Ernst, A. Scott, M. Tabib-Azar, L. Kipp, M. Skibowski, S. Hollensteiner, E. Spiecker, W. Jäger, S. Gunst, A. Klein, W. Jägermann, V. Zaporojtchenko, and F. Faupel, *Self assembled nanowire networks by deposition of Copper onto layered-crystal surfaces*, Adv. Mat., **14**, **15**, 1056 (2002)
- H. Ehmler, A. Rehmet, K. Rätzke, and F. Faupel, *Limits of Ion-beam depth-profiling as used in diffusion studies on oxidation-sensitive materials*, Defect and Diffusion Forum **203-205**, 147 (2002)
- J. Erichsen, K. Günther-Schade, K. Dolgner, V. Zaporojtchenko, T. Strunskus, and F. Faupel, *Molecular weight dependence of the surface glass transition of polystyrene films investigated by the embedding of gold nanoclusters*, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **710** (2002)
- F. Faupel, V. Zaporojtchenko, T. Strunskus, J. Erichsen, K. Dolgner, A. Thran, and M. Kiene, *Fundamental aspects of polymer metallization*, Invited keynote paper given at the 2nd int. Workshop on Polymer Metallization, Montreal 2001, in: Metallization of Polymers **2**, ACS Symposium Series, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 73 (2002)
- V. Zaporojtchenko, J. Erichsen, J. Zekonyte, A. Thran, T. Strunskus, and F. Faupel *Adsorption of noble metal atoms on polymers*, Invited paper given at the 2nd int. Workshop on Polymer Metallization, Montreal 2001, in: Metallization of Polymers **2**, ACS Symposium Series, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 107 (2002)
- K. Akamatsu, T. Kawanura, H. Nabika, S. Deki, T. Strunskus, and F. Faupel, *Effects of composition and structure of gold/copper bimetallic nanoparticles on dispersion in polymer thin films*, Journal of Materials Chemistry, **12** (2002)
- P. Kringshoj, J. Bottiger, J. Chevallier, E.J. Bienk, K. Rätzke, *The influence of temperature on the microstructure and mechanical properties of sputtered Cr<sub>2</sub>N<sub>X</sub> coatings*, SurfaceCoatings and Technology **149** 82 (2002)
- Marta Es-Souni, H. Fischer-Brandies, V. Zaporojtchenko, M. Es-Souni, *On the interaction of polyacrylic acid as aconditiomning agent with bovine enamel*, Biomaterials **23**, 2871-2878 (2002)
- K. Günther-Schade, D.W. Schubert, and F. Faupel, *Determination of the binodal and spinodal phase separation temperatures in the blend system PaMS<sub>0.5</sub>-co-AN<sub>0.5</sub>(Luran)/PMMA<sub>0.95</sub>MA<sub>0.05</sub>(Lucryl) with positron annihilation lifetime spectroscopy*, Macromolecules, **35**, 9074 (2002)

## Präsentationen

- V. Zöllmer, K. Rätzke, F. Faupel, *Massenabhängigkeit der Co-Diffusion in metallischen Pd-Cu-Ni-P Gläsern, unterkühlten Schmelzen und Gleichgewichtsschmelzen*, Kristallographentagung, Kiel (März 2002)
- V. Zöllmer, E. Schmidtke, M. Chall, C. Griewatsch, K. Rätzke, W. Depmeier, F. Faupel, *Röntgenographische Strukturbestimmung in metallischen Co-Zr-Gläsern mit Image-Plate Detektoren* Kristallographentagung, Kiel (März 2002) (P)
- K. Rätzke, *Diffusion in metallischen Gläsern und unterkühlten Schmelzen*, eingeladener Hauptvortrag, DPG-Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- A. Büttner, K. Rätzke, V. Zaporojtchenko, T. Strunskus, H. Kamusewitz, F. Faupel, *Sputtered silver films on top of porous alumina supports: Correlation between deposition parameters, microstructure and permeability*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- V. Zöllmer, K. Rätzke, A. Meyer, F. Faupel, *Massenabhängigkeit der Co-Diffusion in metallischen Pd-Cu-Ni-P Gläsern, unterkühlten Schmelzen und Gleichgewichtsschmelzen*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- S. Daniel, K. Rätzke, S. Deki, F. Faupel, *Absence of autodispersion in  $Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$  metallic Glass*, S. Lenser, V. Zöllmer, J. Erichsen, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- F. Faupel, A. Bartsch, M. Alijew, K. Behnke, V. Zaporojtchenko, *Präparation und Eigenschaften von Gold/Polyimid-Kompositfilmen*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- K. Dolgner, J. Erichsen, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Embedding of Metal Clusters into Polymers: Calculations from XPS-Data*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- Z. Marton, J. Kruse, A. Biswas, J. Kanzow, A. Büttner, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, M. Czank, *Preparation of Magnetic Metal/Polymer Composite Film by using VPD*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- K. Dolgner, K. Koziol, V. Zaporojtchenko, Z. Fan, J. Kanzow, A. Büttner, F. Faupel, S. Deki, *Dispersion of noble metal nano clusters in Bisphenol-(A)-polycarbonate by acetone vapor sorption and crystallization*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- J. Erichsen, K. Günther-Schade, K. Dolgner, V. Zaporojtchenko, T. Strunskus, F. Faupel, *Untersuchung der Oberflächenglasübergangstemperatur mit dem Einsinken von Edelmetallnanoclustern mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS)*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- J. Zekonyte, J. Erichsen, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Argon ion-beam surface modification of polystyrene*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- V. Zaporojtchenko, J. Erichsen, J. Zekonyte, A. Thran, P. Schulze-Horn, F. Faupel, *Adsorption of metal atoms on polymers*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- K. Dolgner, V. Zaporojtchenko, J. Erichsen, C. von Bechtholsheim, F. Faupel, *Enhancement of noble metal adhesion on polymers by heat treatment and cluster embedding*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- J. Kanzow, K. Günther-Schade, V. Zaporojtchenko, C. Wehlack, W. Possart, F. Faupel, *The epoxy resin system DGEBA-DETA: Cross-linking, glass transition and aging investigation by means of positron annihilation lifetime spectroscopy*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- H. J. Ziegler, H. Bakker, F. Faupel, *Free volume changes in polymers induced by mechanical milling*, K. Günther-Schade, H. L. Castricum, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)

- K. Günther-Schade, D. W. Schubert, F. Faupel, *Determination of the binodal and spinodal decomposition temperatures in the blend system Luran/Lucryl with positron annihilation lifetime spectroscopy*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- Z. Keshavarz, J. Kanzow, H. L. Castricum, K. Günther-Schade, H. Bakker, F. Faupel, *The influence of organic media on structure of metallic particles during mechanical milling*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002) (P)
- A. Thran, F. Faupel, *Beweglichkeit von Edelmetallatomen in Polymeren bei Raumtemperatur*, DPG Frühjahrstagung Regensburg (März 2002)
- F. Faupel, *Diffusion in metallic glasses and supercooled melts*, eingeladener Vortrag, 19<sup>th</sup> General Conference of the EPS Condensed Matter Division, Brighton, GB (April 2002)
- F. Faupel, *Polymer/metal nanopomposites for functional applications prepared by vapor phase deposition*, Workshop Nanoparticles in polymers, Warschau, Polen (Mai 2002)
- K. Rätzke, *Diffusion in metallischen Systemen: vom Glas bis in die Schmelze*, eingeladener Vortrag, Institut für Materialphysik, Universität Göttingen (Mai 2002).
- K. Rätzke, *Diffusion in metallischen Systemen: vom Glas bis in die Schmelze*, eingeladener Vortrag, Institut für Materialphysik, Universität Münster, (Juni 2002)
- J. Erichsen, K. Günther-Schade, K. Dolgner, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Molecular weight dependence of the surface glass transition of polystyrene films investigated by the embedding of gold nanoclusters*, (NANO-7), Malmö, Schweden, (Juni 2002)
- J. Zekonyte, J. Erichsen, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Mechanisms of Argon Ion-Beam Surface Modification of Polystyrene*, (NANO-7), Malmö, Schweden, (Juni 2002) (P)
- V. Zaporojtchenko, J. Zekonyte, A. Biswas, F. Faupel, *Controlled growth of nano-size metal clusters on polymers by using VPD method*, Malmö, Schweden, (Juni 2002) (P)
- F. Faupel, K. Rätzke, V. Zöllmer, H. Ehmler, A. Rehmet, *Diffusion in glass forming alloys: from the glassy state to the equilibrium melt*, eingeladener Vortrag, CIMTEC 2002, Florenz, Italien (Juli 2002)
- F. Faupel, *Metall-Polymer-Grenzflächen und Verbunde*, eingeladener Vortrag, Siemens, Erlangen (August 2002)
- F. Faupel, A. Biswas, J. Kanzow, J. Kruse, V. Zaporojtchenko, *Nanocomposites of vapor Phase Deposition Teflon Containing Ni Clusters*, eingeladener Vortrag, E-MRS Symposium, Warschau, Polen, (September 2002)
- V. Zaporojtchenko, J. Zekonyte, J. Erichsen, F. Faupel, *Ion-Beam Etching Rate and Structural Modification of Polymer Films During Low Energy Ion Irradiation*, 5<sup>th</sup> International symposium on Ionizing Radiation and Polymers, Quebec, Canada (September 2002)
- V. Zaporojtchenko, J. Erichsen, K. Dolgner, J. Zekonyte, F. Faupel, *Embedding of Noble Metal nanoclusters into polymers as a potential Probe of the surface glass transition*, AVS 49<sup>th</sup> International Symposium, Denver, USA (September 2002)
- M. Iwamoto, K. Kuroda, V. Zaporojtchenko, S. Hayashi, F. Faupel, *Production of gold nanoparticles-polymer composite by quite simple method*, ISSPIC 11, Straßburg, Frankreich (September 2002)(P)
- F. Faupel, *Wie entstehen Grenzflächen zwischen Metallen und organischen Systemen?*, eingeladener Vortrag, Physikalisches Kolloquium Chemnitz (November 2002)
- F. Faupel, *Metall-Polymer-Nanocomposite für funktionelle Anwendungen*, eingeladener Vortrag, Nanovision – Von der Idee über die Entwicklung zum Markt, Hamburg (November 2002)

- J. Erichsen, J. Zekonyte, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Surface glass transition on untreated and ion-beam modified polymer surfaces*, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Polymer Surface Characterization, Orlando, USA (November 2002)
- A. Thran, F. Faupel, V. Zaporojtchenko, *Condensation coefficients of metals on polymer surfaces*, eingeladener Vortrag, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Polymer Surface Characterization, Orlando, USA (November 2002)
- Daniel, M. Heilmaier, B. Bartusch, J. Kanzow, K. Günther-Schade, K. Rätzke, J. Eckert, F. Faupel, *Free Volume Evolution in Bulk Metallic Glass during High Temperature Creep*, B. S. S. Materials Research Society, Fall Meeting, Boston USA (Dezember 2002) (P)
- A. Biswas, J. Kanzow, J. Kruse, V. Zaporojtchenko, T. Strunskus, F. Faupel, *Vapor phase deposited nanocomposites of polymer containing three dimensionally dispersed metal clusters*, Materials Research Society, Fall Meeting, Boston USA (Dezember 2002)
- A. Thran, T. Strunskus, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Evidence of noble metal diffusion in polymers at room temperature and its retardation by a chromium barrier*, Materials Research Society, Fall Meeting, Boston USA (Dezember 2002)
- K. Dolgner, J. Kruse, K. Koziol, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Dispersion of noble metal nanoclusters in bisphenol-(A)-polycarbonate by acetone vapor sorption and crystallization*, Materials Research Society, Fall Meeting, Boston USA (Dezember 2002)
- A. Adelung, F. Faupel, *Wachstum und Diffusion auf molekularen organischen Halbleitern*, DFG-Schwerpunktsymposium Organischen Feldeffekttransistoren, Bonn (Dezember 2002)
- Zöllmer, K. Rätzke, F. Faupel, *Diffusion in Pd based glass formers from the glassy state to the equilibrium melt*, V. Materials Research Society, Fall Meeting, Boston USA (Dezember 2002)

### **Ehrenamtliche Tätigkeiten von Prof. Faupel**

Vorsitzender des *Fachverbandes Metallphysik* der Deutschen Physikalischen Gesellschaft,  
 Mitglied der Herausgabegremien folgender Zeitschriften: *Journal of Materials Research* (Associate Editor) herausgegebenen von der *Materials Research Society* (MRS),  
 Mitglied des Editorial Board der Zeitschrift *Applied Physics Letters*,  
 herausgegebenen von der American Physical Society, (APS),  
 Mitglied des Editorial Board der Zeitschrift *Journal of Applied Physics*, herausgegebenen von der American Physical Society, (APS),  
 Mitglied des Editorial Advisory Board der Zeitschrift *Journal of Adhesion Science and Technology*,  
 Mitglied des Advisory Board der Zeitschrift *Diffusion and Defect Data*,  
 Mitglied des Vorstandsrates der Deutschen Physikalischen Gesellschaft  
 Stellvertretender Vorsitzender des technisch-wissenschaftlichen Beirates des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht,  
 Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Metallphysik (Träger: Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM), Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEH)).  
 Präsident des Programmkomitees des Workshops, *Nanoparticles in Polymers, workshop of the network of centers of excellence "Interfacial effects, novel properties and technologies of nanostructured materials"*, Warschau, Polen (24. Mai 2002)  
 Mitglied des Programmkomitees der 7<sup>th</sup> European Adhesion Conference, Freiburg, September 2004  
 Vorsitzender des Programmkomitees und Gastgeber des Workshops *Polymer-Metal Nanocomposites*, Kiel, September 2003

Mitglied des Programmkomitees des *International Workshop on Dynamics in Viscous Liquids*,  
München 14.3 - 17.3.2004

#### Preise

**Dr. Achim Rehmet** wurde für seine Dissertation *Temperaturabhängigkeit der Beryllium-Selbstdiffusion und des freien Volumens im metallischen Massivglas Zr<sub>46,8</sub>Ti<sub>8,2</sub>Cu<sub>7,5</sub>Ni<sub>10</sub>Be<sub>27,5</sub>* der **Preis des Fördervereins der Technischen Fakultät für die beste Promotion 2001** verliehen.

**Dr. Volker Zöllmer** wird auf dem DGM-Tag im Juli 2003 für seine im Rahmen seiner Dissertation (s.o.) durchgeführten Arbeiten über die Diffusion in glasbildenden metallischen Legierungen der **DGM-Nachwuchspreis 2002** der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde verliehen.

## Arbeitsgruppe Mikrostrukturanalytik

Prof. Dr. Wolfgang Jäger

Die *Forschungsschwerpunkte* der Arbeitsgruppe konzentrieren sich auf die Mikrostrukturforschung von Funktionsmaterialien, dünnen Schichten und Grenzflächen und auf die Entwicklung und Anwendung von quantitativen Verfahren der Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) zur Materialforschung. Aktuelle Themenschwerpunkte sind die Mikrostruktur und die Eigenschaften von Mikrostruktur und die Eigenschaften von Materialien für die Mikroelektronik und Optoelektronik, Nanostrukturen, Grenzflächen und Wachstum von Dünnschichtsystemen bei der Heteroepitaxie sowie die Anwendung der hochauflösenden Verfahren der Transmissions-Elektronenmikroskopie und der konvergenten Elektronenbeugung unter Einbeziehung von Computersimulationen zur quantitativen Analyse von Bildkontrasten. Die Arbeiten streben eine Synthese von grundlagenorientierter Forschung mit Relevanz für mögliche technische Anwendungen und methodischen Weiterentwicklungen an. Als komplementäre Verfahren werden die Geräte und Methoden des Centrums für Materialanalytik genutzt.

Zum *Leistungsspektrum* der Arbeitsgruppe gehören die Betreuung von Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten, Drittmittelprojekte, Beratung und Gutachten, Kooperationen mit Forschungsinstituten und mit der Industrie, Beiträge zum Technologietransfer für Industrie und Forschungseinrichtungen im Rahmen des Angebotes des Centrums für Materialanalytik (CMA) sowie Kursveranstaltungen, Übungen und Seminare für Studenten der Materialwissenschaft, der Mineralogie, der Chemie und der Physik im Hauptfachstudium sowie für die Studenten des internationalen Master-Studienganges 'Materials Science and Engineering' (in englischer Sprache).

*Leitung des Centrums für Materialanalytik (CMA):* Seit der Gründung in 1999 wird die Leitung des CMA gemeinsam mit dem Leiter des Praktikums und dem Leitungsgremium wahrgenommen (siehe separate Beschreibung).

## Ergebnisse

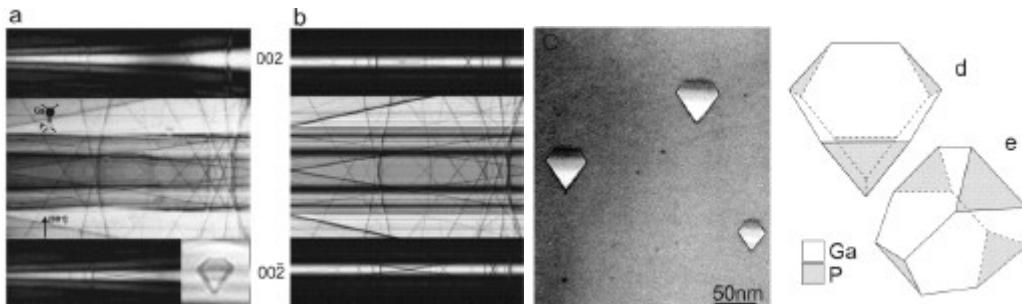
### 1. Quantitative Transmissionselektronenmikroskopie

Kooperation Universität Lille / Förderung durch DFG

In Verbindung mit unseren Untersuchungen zum epitaktischen Schichtwachstum, zur Charakterisierung von Defekten und Grenzflächen von Dünnschichtsystemen sowie von Nanostrukturen wurden verschiedene neue Verfahren der Transmissions-Elektronenmikroskopie entwickelt, experimentell getestet und mit Bildsimulationen auf der Basis der dynamischen Elektronenbeugung verglichen. Zu diesen Verfahren gehören:

- eine Methode zur Bestimmung der Polarität von III-V-Verbindungshalbleitern auf der Grundlage der Biegelinien-Kontrastanalyse.
- ein Verfahren zur Ermittlung der Burgers-Vektoren von Fehlpassungsversetzungen in großflächigen Anordnungen und damit eine quantitative Analyse ihres Beitrages zur Schichtspannungsrelaxation in der Heteroepitaxie.
- eine Methode zur Analyse der Natur von Versetzungsringen, d. h. ihres Leerstellen- oder Zwischengitter-Typs, mittels LACBED.
- eine Methode zur Bestimmung der Kristallpolarität von III-V-Verbindungshalbleitern mittels konvergenter Elektronenbeugung unter großen Winkeln (englisch: large-angle convergent beam electron diffraction, LACBED) unter Anwendung einfacher Regeln oder über einen direkten Vergleich mit Simulationen auf der Grundlage dynamischer Elektronenbeugung. Abb. 1 zeigt

wesentliche Schritte des Verfahrens am Beispiel der Analyse der Grenzflächenpolarität diffusionsinduzierter Hohlräume in Galliumphosphid.

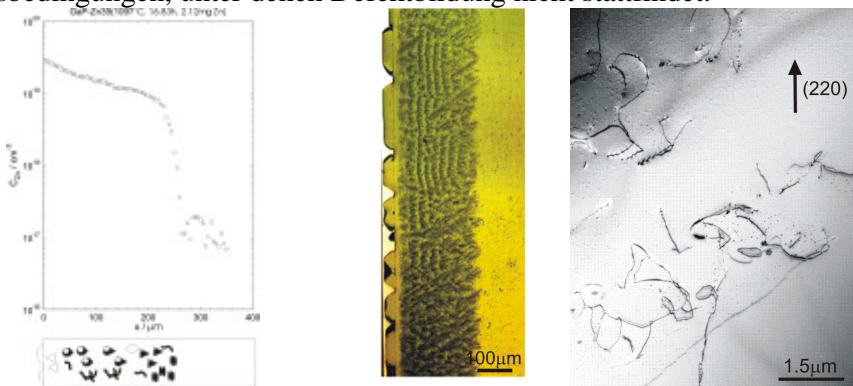


**Abb. 1.** Analyse der Grenzflächenpolarität diffusionsinduzierter Hohlräume in Galliumphosphid: experimentelle LACBED-Diagramme und ermittelte polare Atomanordnung, Simulationen der LACBED-Bildkontraste, TEM-Hellfeldabbildung der Hohlräume, Grenzflächenbelegung (perspektivische Projektionen)

## 2. Diffusion und Defekte in III-V-Halbleitern

Förderung durch DFG / Kooperationen Universität Münster und Chalmers Universität Göteborg

Für die Dotierelemente Zink und Schwefel wurden mikroskopische Untersuchungen zur Diffusion und zur Bildung von diffusionsinduzierten Defekten in den technologisch bedeutsamen Verbindungshalbleitern GaP, GaSb und GaN durchgeführt, um zu einem Verständnis der bei der Diffusion beteiligten Defekte und Transportmechanismen zu gelangen und eine Grundlage für die quantitative Beschreibung der Dotierprofile zu erarbeiten (Dissertation Ch. Jäger). Die quantitative Profilmodellierung ist von Bedeutung bei der Entwicklung und Herstellung von Bauelementen, beispielsweise von lichtemittierenden Dioden, für die Mikro- und Optoelektronik. Die Untersuchungen zeigten erstmalig, dass die charakteristischen Merkmale der Defektbildung bei Dotierstoffdiffusion unter hohen Konzentrationen ein generelles Phänomen für die III-V-Verbindungshalbleiter darstellen. Für GaP konnte gezeigt werden, dass die Defektbildung als Folge der Erzeugung von Ga-Zwischengitteratomen beim Einbau von Zink in das Ga-Untergitter über eine sogenannte "Kick-Out"-Reaktion verstanden werden kann. Außerdem konnten erstmals die für die Dotierprofilformen in GaP verantwortlichen Transportprozesse aufgeklärt werden. Die Ergebnisse ermöglichten eine quantitative Profilanpassung auch für die technologisch interessanteren Diffusionsbedingungen, unter denen Defektbildung nicht stattfindet.

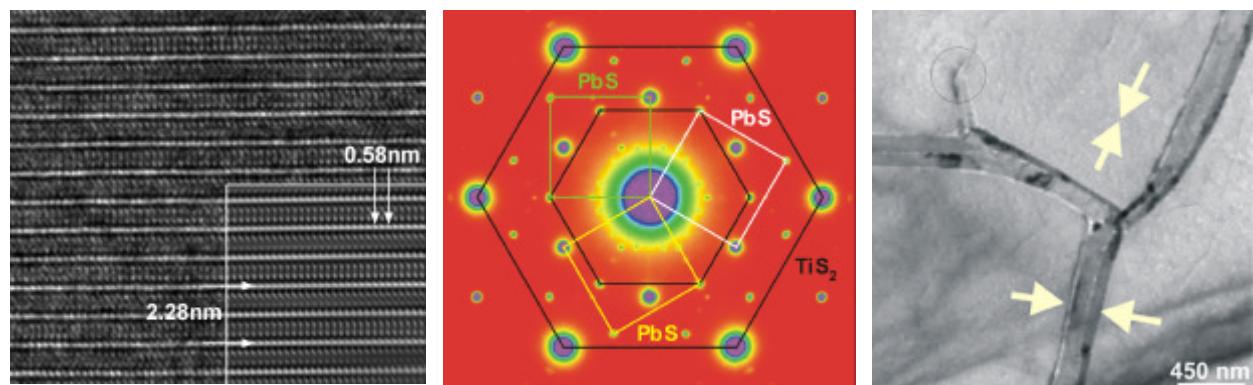


**Abb. 2.** Stufenförmigen Zink-Konzentrationsprofile in GaP, die Defektverteilung nach Zn-Diffusion und eine elektronenmikroskopische Abbildung von diffusionsinduzierten Versetzungen und Nanopartikeln.

### 3. Wachstums- und Grenzflächenphänomene von Chalkogenid-Schichtstrukturen

Förderung durch DFG / Kooperation DFG Forschergruppe CAU Kiel

Aktuelle Arbeiten in diesem Projekt konzentrieren sich auf das epitaktische Wachstum dünner Filme und auf die Struktur von Grenzflächen sowie auf Untersuchungen zur Mikrostruktur von Volumenkristallen und von Strukturdefekten und deren Entstehung (Abb. 3). Die Strukturuntersuchungen solcher Materialien sind für die Deutung der elektronischen Eigenschaften, beispielsweise des Ladungstransfers zwischen den unterschiedlichen Schichten, von Interesse. Wichtige Ergebnisse betrafen die Aufklärung der Atomanordnungen an den Grenzflächen beim Kristallwachstum sowie der Orientierungsbeziehung zwischen Substrat und Schichtkristall.



**Abb. 3** Hochauflösende TEM-Gitterabbildung des Schichtaufbaus eines  $(\text{PbS})_{1.14}\text{NbS}_2$ -Volumenkristalles hoher Perfektion (links), Elektronenbeugungs-Diagramm einer ultradünnen PbS-Schicht auf einem  $\text{TiS}_2$ -Substrat (Mitte), und Nanostrukturen unterschiedlicher Querdimension (Pfeile), die sich auf Vanadiumdiselenid nach Deposition von Kupfer selbstorganisiert ausgebildet haben (rechts).

### 4. Nanostrukturen und Grenzflächen von Metall-Chalkogenid-Schichtsystemen

Förderung und Kooperation DFG Forschergruppe CAU Kiel / Kooperation Forschungszentrum Jülich

Schwerpunkte dieses Projektes sind Untersuchungen zur Metalldeposition auf Chalkogenid-Schichtkristall-Substrate, die Selbstorganisation von Nanostrukturen und die Interkalation von Alkalimetallen und organischen Molekülen. Ab. 3 zeigt als Beispiel Nanostrukturen auf  $\text{VSe}_2$ -Schichtkristallsubstraten nach der Deposition von Kupfer.

### 5. Epitaktisches Wachstum von Halbleiter-Nanostrukturen

Kooperation Forschungszentrum Jülich

Die aktuellen Arbeiten konzentrieren sich auf Untersuchungen zum selbstorganisierten Wachstum von Inseln bei der auch für industrielle Anwendungen interessanten Niederdruck-Gasphasendeposition (LPCVD) von GeSi-Schichten auf Si(001) und Si(011)-Substrate und auf Untersuchungen zur Grenzflächenstruktur und Spannungsrelaxation von SiGe/Si-Schichtstrukturen mit niedriger Fehlpassung, welche für die Herstellung von schnellen Transistoren für die Mikroelektronik von Interesse sind. Die Analyse der Biegekonturkontraste für großflächig elektronentransparente TEM-Präparate ermöglichte erstmals die quantitative Bestimmung der Beiträge von Fehlpassungsversetzungen zur Schichtspannungsrelaxation. Außerdem wurden Analysen der Spannungsrelaxation für das System (GaIn)P/GaAs und Untersuchungen zur MBE-

Deposition von GaN auf GaAs durchgeführt. Für Si(011)-Substrate konnte die Korrelation von Morphologie, Komposition und optischen Photolumineszens-Eigenschaften von SiGe-Inseln mit Dimensionen im Nanometerbereich aufgezeigt werden. Wegen ihrer besonderen elektronischen Eigenschaften sind solche Inseln für eine zukünftige Nanoelektronik von Interesse.

## 6. Morphologie und Grenzflächen von Nanopartikeln in III-V-Verbindungshalbleitern

Für die Anwendungsbereiche Optoelektronik, photonische Kristalle und Mikrostrukturierung von Interesse sind grundlegende Untersuchungen, die auf ein Verständnis der die Grenzflächen von Nanostrukturen bestimmenden materialphysikalischen Parameter zielen. Erste Untersuchungen für diffusionsinduzierte metallische Gallium-Nanopartikel in Galliumphosphid ergaben Hinweise auf die wichtige Rolle der lokalen Fehlstellen-Gleichgewichte für die Partikelmorphologie.

### **Personal**

Leiter: Prof. Dr. Wolfgang Jäger ; Sekretariat: Katrin Brandenburg (50 %)

Technisches Personal: Christel Dieker (1.1. - 30.6.02), Dr. C. Jäger (1.12.- 31.12.02)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Spiecker, Erdmann	1.1. - 31.12.02	CAU	Transmissions-Elektronenmikroskopie von Funktionsmaterialien
Dr. Jäger, Christian	1.1. - 30.11.02	DFG	Transmissions-Elektronenmikroskopie von Defekten in Halbleitermaterialien
Dipl.-Ing. Hollsteiner, Stefan	1.1. - 31.12.02	DFG	Transmissions-Elektronenmikroskopie von Metall-Chalkogenid-Schichtsystemen/Nano-Strukturen
M. Sc. Lu, Huanming	1.11. - 31.12.02	DFG ( $\frac{3}{4}$ )	Transmissions-Elektronenmikroskopie von Dünnschichtstrukturen

### *Gäste*

Frau Professor Dr. A. Czyrska-Filemonowicz, Faculty of Metallurgy and Materials Science,

University Krakow, Polen ('Prof. Dr. Werner Petersen - Gastprofessur'), Dezember 2002

M.Sc. H. Lu, Zhejiang University, State Key Laboratory for Silicon Technology, Hangzhou, China,  
1.4.02 - 30.9.02 (CAU-Austauschprogramm mit Zhejiang University, Hangzhou, China)

### *Gäste zu Seminaren und Kolloquien:*

Dr. M. Albrecht Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. W. Bensch Anorganische Chemie Universität Kiel

Dr. U. Dahmen National Center for Electron Microscopy (LBNL), Berkeley/USA

Dr. U. Kaiser Universität Jena

PD Dr. H. S. Leipner Universität Halle-Wittenberg

Dr. M. Luysberg Forschungszentrum Jülich

Prof. Dr. W. Neumann Humboldt-Universität Berlin

Dr. B. Prodan J. Stefan Institute Ljubljana/Slovenia

Dr. W. Sigle Max-Planck-Institut für Metallforschung Stuttgart

Prof. Dr. H. P. Strunk Universität Erlangen-Nürnberg

Dr. P. Werner Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle

Prof. Dr. K. Wetzig Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden

**Vorlesungen, Seminare und Praktika****Winter 2001/2002**

Electron Microscopy I - Mikroskopie mit Elektronen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger + E. Spiecker

Materials Analysis I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, K. Noack, W. Weppner)

Seminar für Festkörperphysik und Materialwissenschaften, 1 Std. Seminar/Woche,  
W. Jäger (+R. Berndt, F. Faupel, W. Press, M. Skibowski)

Forschergruppenkolloquium, 1 Std. Seminar,  
W. Jäger (+W. Bensch, W. Depmeier, W. Press, W. Schattke, M. Skibowski)

Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)

Functional Materials, 4 Std. Praktikum/Woche,  
W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)

**Sommer 2002**

Electron Microscopy II – Mikroskopie mit Elektronen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger +E. Spiecker

Materials Analysis II, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger

Seminar für Festkörperphysik und Materialwissenschaften, 1 Std. Seminar/Woche,  
W. Jäger (+R. Berndt, F. Faupel, W. Press, M. Skibowski)

Application of Modern Analytical Methods, 2 Std. Seminar/Woche,  
W. Jäger +E. Spiecker

Forschergruppenkolloquium, 1 Std. Seminar,  
W. Jäger (+R. Berndt, W. Depmeier, F. Faupel, O. Magnussen, W. Schattke, M. Skibowski)

Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)

Functional Materials, 4 Std. Praktikum/Woche,  
W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)

**Winter 2002/2003**

Electron Microscopy I – Mikroskopie mit Elektronen, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger +E. Spiecker

Materials Analysis I, 2(+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche,  
W. Jäger

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
W. Jäger (+W.F. Chu, F. Faupel, H. Föll, K. Noack, K. Rätzke, E. Spiecker, W. Weppner)

Seminar für Festkörperphysik und Materialwissenschaften, 1 Std. Seminar/Woche,  
W. Jäger (+R. Berndt, F. Faupel, W. Press, M. Skibowski)

Analytical Methods in Materials Research, 2 Std. Seminar/Woche,  
W. Jäger (+E. Spiecker)

Forschergruppenkolloquium, 1 Std. Seminar,

W. Jäger (+R. Berndt, W. Depmeier, F. Faupel, O. Magnussen, W. Schattke, M. Skibowski)  
 Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,  
 W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)  
 Functional Materials, 4 Std. Praktikum/Woche,  
 W. Jäger (+F. Faupel, H. Föll, W. Weppner)

### Drittmittel

DFG, Fortsetzung *Untersuchung der atomaren Diffusion und der Bildung diffusionsinduzierter Defekte in Galliumnitrid, Gallumphosphid und Galliumantimonid*, 15.10.01-30.11.02 (60,7 kEUR)

DFG, Forschergruppe "Wachstum und Grenzflächeneigenschaften von Sulfid- und Selenid-Schichtstrukturen", TP 8 *Charakterisierung von Sulfid- und Selenid-Schichtstrukturen mittels hoch-auflösender Methoden der Transmissionselektronenmikroskopie*, 15.11.01-14.11.03 (150,1 kEUR)

DFG, Forschergruppe "Wachstum und Grenzflächeneigenschaften von Sulfid- und Selenid-Schichtstrukturen", TP 8 *Charakterisierung von Sulfid- und Selenid-Schichtstrukturen mittels hoch-auflösender Methoden der Transmissionselektronenmikroskopie*, 01.11.02-31.10.03 (63,0 kEUR)

DFG, Forschergruppe "Chalkogenid-Schichtstrukturen: Wachstum und Grenzflächenphänomene", TP 8 (1), 14.5.02 - 13.4.03 (94,4 kEUR)

DFG, Forschergruppe "Chalkogenid-Schichtstrukturen: Wachstum und Grenzflächenphänomene", TP 8 (2), 14.5.02 - 13.4.03 (62,3 kEUR)

CAU, Prof. Dr. Werner Petersen - *Gastprofessur*, Prof. Dr. A. Czyska-Filemonowicz, 1.12.-20.12.02 (2,0 kEUR)

CAU, Akademisches Auslandsamt, *Wissenschaftlicher Austausch mit der VR China*, Zusammenarbeit mit der Universität Zhejiang, M.Sc. H. Lu, 1.4. - 30.9.02 (26,0 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie-Transfers und Konsultationen

Die Abteilung Mikrostrukturanalytik hat auch in 2002 Arbeiten für die Industrie, für Hochschulgruppen und für externe Forschungseinrichtungen im Rahmen des CMA-Technologietransferangebotes durchgeführt. Schwerpunkte lagen bei der Charakterisierung der Mikrostruktur von Dünnschichtsystemen, von Grenzflächen und von Oberflächen, bei der Defektanalyse und bei der Optimierung und Qualitätskontrolle von Funktionsschichten. Einige Partner und Themen sind im folgenden aufgeführt:

#### *Industrie*

- GFD Gesellschaft für Diamantprodukte DaimlerChrysler, Ulm: Diamantbeschichtungen für die Medizintechnik

#### *Hochschulen*

- CAU, Anorganische Chemie: Struktur und Grenzflächen von Multischichten, Mikrostruktur von Pulverproben
- FH Westküste, Heide: Schichtquerschnitte von dünnen Silberschichten auf Glas

#### *Forschungseinrichtungen*

- Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie (ISiT), Itzehoe: Strukturierte Metallisierungsschichten auf Sensoren

- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST), Braunschweig: Wärmefunktionsschichten auf Si
- GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht: Metall-Nichtmetall-Schichtsysteme, C-Schichtsysteme auf Silizium
- Forschungszentrum Jülich, Institut für Schichten und Grenzflächen (ISG), Jülich: Silizium-Germanium-Schichten für die Optoelektronik

### Diplom- und Master-Arbeiten

Li Zhang, Masterstudent, *Transmission electron microscopy investigation of self-assembled Ge islands on Si(110) substrates*, 30.8.02, Master-Thesis (jetzt: Paul-Scherrer-Institut / ETH Zürich )

Emrah Yücelen, Masterstudent, *Comparative transmission electron microscopy investigation of  $(PbS)_{1.18} TiS_2$  misfit layer compound crystals and of island growth on  $TiS_2$  substrates*, 9.9.02, Master-Thesis (jetzt: Technical University Delft Netherlands)

### Dissertationen

Christian Jäger, *Untersuchungen diffusionsinduzierter Defekte in GaP mittels Transmissionselektronenmikroskopie*, 17.05.2002

### Veröffentlichungen

- Ch. Jäger, E. Spiecker, J.P. Morniroli, W. Jäger, *Polarity determination of III-V-semiconductors by large angle convergent beam electron diffraction*, Ultramicroscopy **92**, 273-283 (2002)
- Ch. Jäger, E. Spiecker, J.P. Morniroli, and W. Jäger, *Analysis of dislocation loops by large angle convergent beam electron diffraction*, J. Phys.: Condens. Matter **14**, 12777-12782 (2002)
- Ch. Jäger, W. Jäger, *Defect Formation and Dopant Diffusion in III-V Semiconductors: Zinc Diffusion in GaP*, Journal of Physics: Condensed Matter **14**, 12865-12870 (2002)
- E. Spiecker, *Determination of crystal polarity from bend contours in transmission electron microscope images*, Ultramicroscopy **92**, 111-132 (2002)
- E. Spiecker, Ch. Jäger, and W. Jäger, *Polarity analysis of GaP with the bend contour method*, Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congress on Electron Microscopy ICEM-15, Durban/South Africa (Publisher: Microscopy Society of Southern Africa, ISBN 0-620-29294-6), Vol. **1**, 649 (2002)
- E. Spiecker and W. Jäger, *Burgers vector analysis of large-area misfit dislocation arrays from bend contour contrast in transmission electron microscope images*, J. Phys.: Condens. Matter **14**, 12767-12776 (2002)
- E. Spiecker, M. Seibt, W. Schröter, R. Winterhoff, and F. Scholz, *Exploiting long-range atomic ordering for the investigation of strain relaxation in lattice-mismatched epitaxy: A case study on CuPt<sub>B</sub>- type ordered (GaIn)P on GaAs*, Appl. Surf. Science **188**, 61-68 (2002)
- H. Kim, T.G. Anderson, U. Södervall, Ch. Jäger, W. Jäger, M. Albrecht, G. Böscher, N.A. Stolwijk, *Microstructural characterization of GaN-GaAs alloys grown on (001) GaAs by molecular beam epitaxy*, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **693**, I3.32.1 (2002)
- J. Pöpping, N.A. Stolwijk, U. Södervall, Ch. Jäger, W. Jäger, *Diffusion of zinc in gallium phosphide under defect-free phosphorus-rich conditions*. 21<sup>st</sup> Int. Conference on Defects in Semiconductors ICDS-2001, July 16 - 20, 2001, Gießen, Physica B, 308-310, **895** (2002)
- S. Hollensteiner, E. Spiecker, W. Jäger, *TEM investigations of self-assembled nanowire networks by Cu deposition onto VSe<sub>2</sub> layered crystals*. Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congress on Electron Microscopy ICEM-15, Durban, South Africa (Publisher: Microscopy Society of Southern Africa, ISBN 0-620-29294-6), Vol. **1**, 371 (2002)

- R. Adelung, F. Ernst, A. Scott, M. Tabib-Azar, L. Kipp, M. Skibowski, S. Hollensteiner, E. Spiecker, W. Jäger, S. Gunst, A. Klein, W. Jägermann, V. Zaporojtchenko, F. Faupel, *Self-Assembled Nanowire Networks by Deposition of Copper onto Layered-Crystal Surfaces*, Advanced Materials **14**, 15, 1056 (2002)
- W. Jäger and C. Jäger, *Dopant diffusion and defects in III-V semiconductors*, Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congress on Electron Microscopy ICEM-15, Durban, South Africa (Publisher: Microscopy Society of Southern Africa, ISBN 0-620-29294-6), Vol. **1**, 65 (2002)
- W. Jäger and C. Jäger, *Dopant diffusion and defects in III-V semiconductors*, Proc. 4<sup>th</sup> Symp. on Non-Stoichiometric III-V Compounds, Asilomar, Pacific Grove (Eds. P. Specht, T.R. Weatherford, P. Kiesel, T. Marek, S. Malzer, ISBN 3-932392-39-6), 71 (2002)

## Präsentationen

### *Eingeladene Vorträge*

- Ch. Jäger and W. Jäger, *Defect Formation and Dopant Diffusion in III-V Semiconductors: Zinc Diffusion in GaP*, Int. Conf. Extended Defects in Wide Band Gap Materials (EDWGM) and Extended Defects in Semiconductors (EDS2002), Bologna, Italy, 1. - 5.6.2002
- Ch. Jäger, *Untersuchungen diffusionsinduzierter Defekte in III-V-Verbindungshalbleitern mittels Transmissionselektronenmikroskopie*, Institute of Applied Physics, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 29.1.2002
- Ch. Jäger, *Untersuchungen diffusionsinduzierter Defekte in III-V-Verbindungshalbleitern mittels Transmissionselektronenmikroskopie*, Institut für Festkörperphysik, Friedrich-Schiller-Universität in Jena, 8.2.2002
- Ch. Jäger, *Untersuchungen diffusionsinduzierter Defekte in III-V-Verbindungshalbleitern mittels TEM*, Martin-Luther-Universität Halle, 4.9.2002
- E. Spiecker, *TEM-Untersuchungen von Defekten in Halbleiterheterostrukturen mit wachstumsinduzierter Ordnung*, Seminar des Instituts für Festkörperphysik, Physikalisch-Astronomische Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 13.12.2002
- W. Jäger, *Elektronenmikroskopie von Nanostrukturen und Kristalldefekten*, GFE-Kolloquium RWTH Aachen, 20.2.2002
- W. Jäger, *Quantitative electron microscopy of Si-Ge nanostructures*, 8<sup>th</sup> International Conference on Electronic Materials IUMRS-ICEM2002, Symposium on Silicon-Based Heterostructure Materials, Xi'an, China , 10. - 14.6.2002
- W. Jäger and Ch. Jäger, *Particles and voids in III-V compound semiconductors*, Int. Workshop on Embedded Nanostructures (PICS2002), Marseille, 19. - 21.6.2002
- W. Jäger and Ch. Jäger, *Dopant diffusion and defects in III-V semiconductors*, 15<sup>th</sup> International Congress on Electron Microscopy (ICEM-15), Durban, South Africa, 1. - 6. 9. 2002
- W. Jäger and Ch. Jäger, *Dopant diffusion and defect formation in III-V compound semiconductors*, National Center for Electron Microscopy NCEM, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA, 30.9.2002
- W. Jäger and Ch. Jäger, *Dopant-induced non-stoichiometry effects in III-V compound semiconductors*, 4<sup>th</sup> Symp. on Non-Stoichiometric III-V Compounds, Pacific Grove, CA, 3.10.2002
- W. Jäger, S. Hollensteiner E. Spiecker, *Transmission electron microscopy of self-assembled nanostructure networks on TMDC layered crystals*, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 30.10.2002

W. Jäger, Quantitative Elektronenmikroskopie von Si-Ge-Schichtsystemen und Grenzflächen, Berliner Physikalisches Kolloquium (Gemeinsames Kolloquium der Fachbereiche Physik der drei Berliner Universitäten), 28.11.2002

#### Vortragsbeiträge zu Konferenzen

Ch. Jäger, E. Spiecker, J.P. Morniroli, and W. Jäger, Analysis of dislocation loops in III-V compound semiconductors by large angle convergent beam electron diffraction, School on LACBED - Large Angle Convergent Beam Electron Diffraction, Lille, France, 29.6. - 4.7.2002

Ch. Jäger, E. Spiecker, J.P. Morniroli, and W. Jäger, Analysis of dislocation loops in III-V compound semiconductors by large angle convergent beam electron diffraction, Int. Conf. Extended Defects in Wide Band Gap Materials (EDWGM) and Extended Defects in Semiconductors (EDS2002), Bologna, Italy, 1. - 5.6.2002

Ch. Jäger, W. Jäger, Untersuchungen diffusionsinduzierter Defekte in III-V-Verbindungshalbleitern mittels Transmissionselektronenmikroskopie, DGKK-Arbeitskreistreffen, Freiberg, Oktober (2002)

E. Spiecker, S. Hollensteiner, Ch. Jäger, and W. Jäger, Using bend contour splitting in transmission electron microscopy images for Burgers vector analysis of dislocations in two-dimensional dislocation arrays, Int. Conf. Extended Defects in Wide Band Gap Materials (EDWGM) and Extended Defects in Semiconductors (EDS2002), Bologna, Italy, 1. - 5.6.2002 (Helmut-Alexander Award 2002)

E. Spiecker, S. Hollensteiner, Ch. Jäger, and W. Jäger, Using bend contour splitting in transmission electron microscopy images for Burgers vector analysis of dislocations in two-dimensional dislocation arrays, School on LACBED - Large Angle Convergent Beam Electron Diffraction, Lille, France, 29.6. - 4.7.2002

E. Spiecker, Ch. Jäger and W. Jäger, Determining the crystal polarity of compound semiconductors from bend contours, School on LACBED - Large Angle Convergent Beam Electron Diffraction, Lille, France, 29.6. - 4.7.2002

E. Spiecker, Ch. Jäger and W. Jäger, Polarity analysis of GaP with the bend contour method, 15<sup>th</sup> International Congress on Electron Microscopy (ICEM-15), Durban, South Africa, 1. - 6.9.2002

S. Hollensteiner, E. Spiecker and W. Jäger, TEM investigations of self-assembled nanowire networks by Cu deposition onto VSe<sub>2</sub> layered crystals, 15<sup>th</sup> International Congress on Electron Microscopy (ICEM-15), Durban, South Africa, 1. - 6.9.2002

S. Hollensteiner, E. Spiecker, C. Dieker, W. Jäger, Self-Assembled Nanowire Formation during Cu deposition on VSe<sub>2</sub> studied by microscopic methods, EMRS Spring Meeting, Strasbourg, France, 18. - 21.6.2002

#### Andere Aktivitäten und Ereignisse

*Helmut-Alexander-Award 2002:* Herr Dr. E. Spiecker hat bei der Fachtagung Int. Conf. Extended Defects in Semiconductors EDS 2002, Bologna, 1. - 5.6.2002 für die Arbeiten zum Thema *Quantitative large-area analysis of misfit dislocation arrays in Si-Ge heterostructures* den für junge Wissenschaftler neu konzipierten Helmut-Alexander-Award 2002 erhalten.

*Prof. Dr. Werner-Petersen-Preis der Technik 2002:* Herr Dipl.-Ing. S. Hollensteiner hat den Prof. Dr. Werner-Petersen-Preis der Technik 2002 - Preis für die beste Diplom-Arbeit - für seine Diplom-Arbeit mit dem Titel *Elektronenmikroskopische Charakterisierung von Metall-Chalkogenid-Schichtstrukturen* erhalten.

*Ultramicroscopy 92/2002 - Editors' choice of title page:* Die Ergebnisse der Publikation 'Polarity determination of III-V compound semiconductors by LACBED' (Autoren: Ch. Jäger, E. Spiecker, J.P. Morniroli, W. Jäger) wurden von den Herausgebern der international renommierten Fachzeitschrift *Ultramicroscopy*, in der neueste methodische Entwicklungen zur Elektronenmikroskopie von Materialien publiziert werden, für die Gestaltung einer Titelseite ausgewählt.

*Prof. Dr. Werner-Petersen-Gastprofessur 2002:* Frau Professor Dr. A. Czyska-Filemonowicz, Faculty of Metallurgy and Materials Science, University Krakow, Polen, wurde auf Vorschlag von Prof. Jäger vom Rektor der CAU im Rahmen einer 'Prof. Dr. Werner Petersen - Gastprofessur' eingeladen. Im Rahmen ihres Aufenthaltes bietet sie als Gast der AG Mikrostrukturanalytik Vorlesungen und Seminare zu den folgenden Themen an: (a) Microstructure characterization of multilayered titanium biomaterials by transmission electron microscopy (b) Microstructure characterization of materials for advanced power generation by transmission electron microscopy.

*Gastwissenschaftler 2002 (Partnerschaft CAU / Zhejiang University, Hangzhou, China):* Herr Huanming Lu (Zhejiang University und State Key Laboratory for Silicon Technology, Hangzhou, China) hat in der Zeit vom 1.4. - 30.9.2002 einen Forschungsaufenthalt als Gastwissenschaftler in der AG Mikrostrukturanalytik verbracht. Seine Arbeiten befassten sich mit Anwendungen der Transmissions-Elektronenmikroskopie zur Charakterisierung von Nanostrukturen in epitaktischen Germanium-Silizium-Schichtsystemen (Zusammenarbeit mit Forschungszentrum Jülich).

*Schleswig-Holsteinische Universitätsgesellschaft, Schwarzenbek*

W. Jäger, 13.12.2002, Öffentlicher Vortrag: *Mikrowelten - ein Ausflug in Forschung und Technik.*

#### *Ehrenamtliche Tätigkeiten (W. Jäger)*

Gutachten für Drittmittelgeber. Gutachten für verschiedene Fachzeitschriften. Fachliche Begutachtungen im Inland und Ausland. Organisation von Konferenz-Symposien. Mitarbeit in Arbeitskreisen/Mitgliedschaften: Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Deutsche Gesellschaft für Elektronenmikroskopie (DGE), Deutsche Gesellschaft für Kristallographie (DGK).

#### *Centrum für Materialanalytik CMA*

Weitere Aktivitäten für das Centrum für Materialanalytik ([www.tf.uni-kiel.de/cma](http://www.tf.uni-kiel.de/cma)) sind separat dargestellt.

## Lehrstuhl für Sensorik und Festkörper-Ionik

Prof. Dr. Werner Weppner

Von wissenschaftlichem Interesse sind alle Vorgänge des schnellen makroskopischen Transports von Ionen und Atomen in Festkörpern. Diese Prozesse resultieren in zahlreichen Anwendungen, die vor allem für die Energiewandlung und -speicherung sowie den Umweltschutz eine große Bedeutung haben. Hierfür wurde der Begriff der "Ionik" geprägt. Dazu zählen chemische Sensoren für Gase und Flüssigkeiten, Hochleistungsbatterien, Brennstoffzellen, elektrochrome Systeme, thermoelektrische Wandler und photogalvanische Solarzellen.

Die Anwendungen der Ionik beruhen auf der Bildung von elektrischen Feldern an Phasengrenzen zwischen gemischt elektronisch-ionisch leitenden Festkörpern und überwiegend ionisch leitenden Materialien. Sie sind das Ergebnis der energetischen Gleichgewichtseinstellung sowohl der Elektronen als auch der Ionen zwischen benachbarten Materialien. Während im Falle der Halbleiter und flüssigen Elektrolyte die sich aufbauenden elektrischen Raumladungen eine Ausdehnung im  $\mu\text{m}$ -Bereich erreichen, ist die Raumladungszone im Falle der festen Ionenleiter auf die Dicke weniger atomarer Schichten beschränkt. Es ist daher erforderlich, für praktische Anwendungen Materialien zu erschließen, die an den Grenzflächen in atomaren Dimensionen hinreichend lange stabil sind. Die komplexen Anforderungen sind eine Herausforderung an die Materialwissenschaft, die durch grundlegendes wissenschaftliches Verständnis Lösungen sucht.

### Ergebnisse

#### Hochleistungs-Lithiumbatterien

Die Energiedichten kommerzieller wiederaufladbarer Lithiumionen-Batterien mit organischen flüssigen Elektrolyten sind noch stark durch den Ballast inaktiver und giftiger Materialkomponenten (6 C pro Li, Co) bestimmt. Zur Verbesserung der Energie- und Leistungsdichten wurden im Rahmen eines EU-Projekts neue Anodenmaterialien entwickelt. Es wurden zahlreiche Verbindungen des Lithiums mit niedriger Bindungsenergie betrachtet, insbesondere Boride, Silicide und Oxide, die eine Herstellung der Batterien in Umgebungsluft ermöglichen sollen. Die besten Resultate wurden mit SiO erzielt, das die höchste Reversibilität und eine Steigerung der gravimetrischen Energiedichte auf den doppelten Wert gegenüber der konventionellen  $\text{C}_6\text{Li}$ -Anode aufweist.

Die Untersuchungen wurden in „Coffeebag“-Anordnungen durchgeführt, wie sie auch für kommerzielle Lithiumbatterien für PDAs, Laptops oder Handys verwendet werden (Abb. 1).

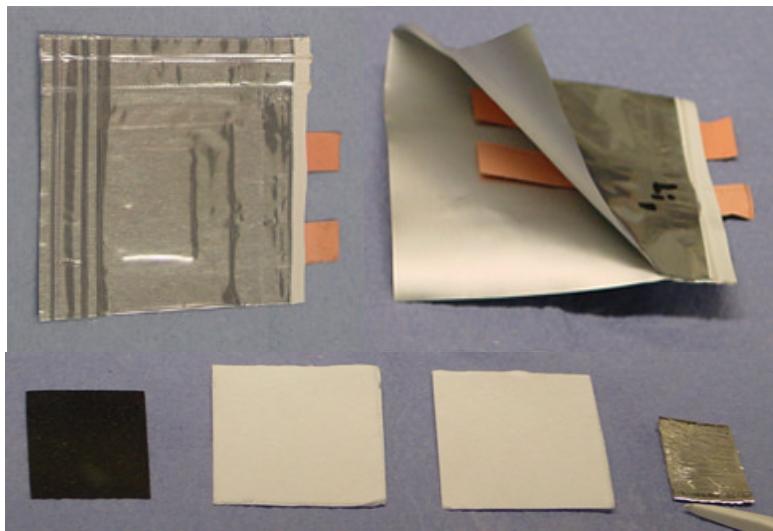
Die Arbeiten wurden zusammen mit der Firma Danionics in Odense auf Fünen/Dänemark durchgeführt, die erster europäischer Hersteller wiederaufladbarer Lithiumbatterien ist.

Eine weitere Aktivität der elektrochemischen Energiespeicherung war die Entwicklung einer Lithium-Batterie, die nur aus Festkörpern besteht. Die angestrebten Vorteile sind Auslauf Sicherheit, Miniaturisierbarkeit, elektrochemische Stabilität, höhere Energiedichten und längere Lebensdauer. Dem stehen die Notwendigkeit der Herstellung dünner Schichten von Verbindungen mit extrem präziser Stöchiometrie und mögliche hohe partielle elektronische Leckströme gegenüber. Es gelang erfolgreich, sowohl in Sputter- als auch Aufdampfverfahren feste Elektrolyte aus nitridiertem  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ , Kathoden aus  $\text{Li}_{1+x}\text{CoO}_2$  und Anoden aus Lithium-Silizium-Legierungen als Dünnschichtbatterien mit geeigneten funktionalen Leitfähigkeits- und Diffusions-Eigenschaften herzustellen (Abb. 2).

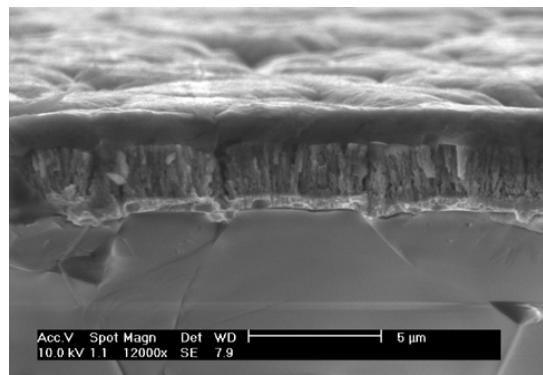
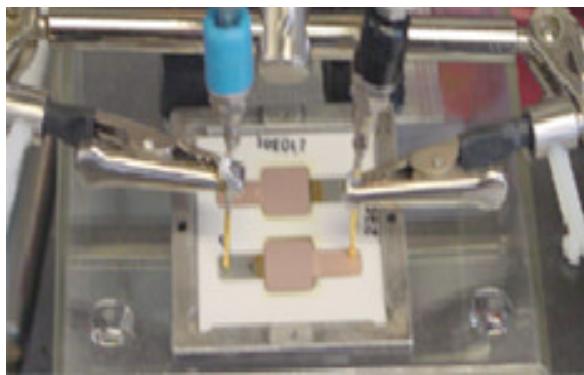
### *Neue feste Ionenleiter*

Die Arbeiten an Lithiumbatterien wurden von grundlegenden Arbeiten zur Entwicklung neuer und verbesserter Ionenleiter begleitet. Defekt-Perowskite in Form der Dion-Jacobson-Phasen mit fehlgeordneten Schichtstrukturen zeigten besonders hohe ionische Leitfähigkeiten. Diese Verbindungen wiesen eine große chemische Variabilität auf und erlaubten, die geforderten ionischen und elektronischen Leitfähigkeiten sowie chemischen Stabilitäten einzustellen.

In jüngster Zeit wurde eine bislang nicht beachtete Klasse von Lithium-Verbindungen mit Granat-Struktur mit der allgemeinen Formel  $\text{Li}_6\text{ALa}_2\text{Nb}_2\text{O}_{12}$  ( $\text{A} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) als schnelle feste Ionenleiter entdeckt, die mit den besten bisher bekannten festen Lithium-Ionenleitern konkurrieren und gleichzeitig eine hohe elektrochemische Stabilität aufweisen.



**Abb. 1.** "Coffebag"-Lithium-Batteriezelle zur Entwicklung verbesserter Anoden und Kathoden Das pastöse Testmaterial wird dabei auf einer dünnen Kupferfolie durch Tapecasting aufgetragen (unten links). Als Gegenelektrode dient elementares Lithium oder konventionelles  $\text{Li}_{1+x}\text{CoO}_2$  (unten rechts). Dazwischen werden doppelte poröse Glasfaserfolien gelegt, die mit dem Elektrolyten vollgesaugt sind (unten, Mitte). Als Ableitungen dienen schmale Kupferstreifen. Diese Anordnung wird in eine gasdichte Aluminiumfolie im Vakuum eingeschweißt, die innen mit einem nichtleitenden Polymer beschichtet war.



**Abb. 2.** Aufbau einer All-Festkörper-Dünnschichtbatterie mit Sputter- und Aufdampfschichten aus  $\text{Li}_3\text{PO}_4 (+\text{N}_2)$  als Elektrolyt,  $\text{Li}_{1+x}\text{CoO}_2$  als Kathode und einer Lithium-Silizium-Legierung als Anode. Als Ableitungen dienen PtRh-Schichten, die als Laschen nach rechts und links geführt wurden.

Durch Ionenaustausch, z.B. in geschmolzenen Lithiumsalzen, konnte reversibel zwischen dem Lithiumionenleiter  $\text{LiMO}_3$  und dem Protonenleiter  $\text{HMO}_3$  ( $\text{M} = \text{Nb}, \text{Ta}$ ) variiert werden.

Gewöhnlich werden Ionenleiter durch Dotierung zu Elektronenleitern. Am Lehrstuhl wurde umgekehrt erstmals aus einem Halbleiter,  $\text{SrSnO}_3$ , durch partiellen Austausch des Sn durch Fe ein Ionenleiter für einen substantiellen Sauerstoffpartialdruckbereich hergestellt.

#### *Brennstoffzellen-Materialien und -Konzepte*

Der weiten Verbreitung von Brennstoff- und Elektrolysezellen stehen Materialprobleme entgegen. Zur Lösung dieser materialwissenschaftlichen Probleme wurden besonders für den mittleren Temperaturbereich zwischen 400 und 700 °C zwei verschiedene Strategien verfolgt.

Zum einen wurden durch Dotierung bekannter fester Ionenleiter und Entwicklung neuer Materialien die beiden Elektroden in den Festelektrolyten integriert („Single Element Arrangement“, SEA). Dieses Konzept wurde auf  $\text{CeO}_2$ , stabilisiertes  $\text{ZrO}_2$  und LSGM angewandt.

Zum anderen wurden neue Materialien mit hohen Leitfähigkeiten für die einfach geladenen Protonen gesucht. Es wurde erstmals eine Protonenleitung in Oxiden ohne gleichzeitigen Einbau und Wanderung von Wassermolekülen beobachtet.

#### *Elektrochromie*

Während konventionelle Elektrochromie drei unterschiedliche Materialschichten benötigt, wurde die galvanische Zelle auf eine einzige Schicht reduziert. Das Anlegen der Spannung führt zu einem Gradienten der elektronischen Ladungsträger mit reversibler Farbänderung. Lithium-Lanthan-Titanat-Perowskite erwiesen sich als besonders geeignet.

#### *Chemische Sensoren*

Technologische und produktnahe Fragen einerseits und die grundlegende Entwicklung neuer Sensor-Prinzipien zur simultanen Detektion mehrerer Komponenten und Überwindung von Querempfindlichkeiten standen im Vordergrund. Durch systematische Standardisierung der Herstellung wurden die Schwierigkeiten der Reproduzierbarkeit von  $\text{CO}_2$ -Sensoren behoben.

Wegen der Bedeutung des Wasserstoffs und wasserstoffhaltiger Gase wurden Entwicklungen von Wasserstoff-Sensoren unter Verwendung fester Protonenleitern durchgeführt.

Ferner wurden mathematische Modelle auf der Basis unterschiedlicher Kinetik der Polarisationsvorgänge für verschiedener Gase unter periodisch variablen Strömen entwickelt. Schließlich konnte die Ansprechverzögerung bei der Lambda-Sonde aufgeklärt werden.

#### **Personal**

Leiter: Prof. Dr. Werner Weppner; Sekretariat: Gislinde Schroeder

Technisches Personal: Dipl.Ing. (FH) Thomas Metzing

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Chu, Wing Fong	1.1.-31.12.02	CAU	Ionik, allgemein
Dr. Dietz, Christian	1.1.-31.12.02	BASF	Keramische Lithiumionenleiter
M.Sc. Fang, Qingpeng	1.10.-31.12.02	CAU	SOFCS (SEA-Konzept)
Dipl.-Phys. Holstermann, Gregor	1.1.-31.12.02	CAU	Protonenleitung in Oxiden
Prof. Huggins, Ph.D., Robert	1.1.-31.12.02	CAU	Elektroden für Lithiumbatterien
Dr. Dipl.-Chem. Netz, Andreas	1.1.-31.12.02	Sanyo Energy Europe	Neue Materialien für Lithiumbatterien

M.Sc. Sakthivel, Mariapann	1.1. - 31.12.02	CAU	Wasserstoff-Sensor
Dipl.-Phys. Schwenzel, Julian	1.1.-31.12.02	CAU	Dünnschicht-Lithiumbatterien
M.Sc. Shiferaw, Tesfaye	1.11.-31.12.02	CAU	All-Festkörper-Supercap und Li-Batterie
Dr.-Ing. Dipl.-Chem. Schmidt, Stefan	1.1.-31.06.02	CAU	Sauerstoff-Sensoren
Dr.-Ing. Stramare, Sonia	1.1.-01.12.02	CAU	Elektrochrome Materialien
Prof. Dr. Thangadurai, Venkataraman	1.1.-31.12.02	DAAD	Neue Lithiumionen- und Protonenleiter
M.Sc., Tasagarakis, Evangelos	1.1.-31.12.02	CAU	Kinetische Prinzipien für Gassensoren
Dipl.-Ing. (FH) Warnat, Stephan	1.11.-31.12.02	TSSH	Sensor für Wasch- und Spülmaschinen

### Vorlesungen, Seminare und Praktika

*Winter 2001/2002*

Ionics, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+ W.F. Chu)

Ceramic Materials, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+A. Netz und S. Schmidt)

Thermodynamics and Kinetics I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+ G. Holstermann, M. Sakthivel, E. Tsagarakis, J. Schwenzel, S. Stramare und V. Thangadurai)

Electrochemical and Chemical Aspects of Materials - An Experimental Approach, 2 (+1) Std.

Vorlesung (+Übungen) /Woche

W.F. Chu

Seminar "Sensors and Solid State Ionics", 2 Std. Seminar/Woche

W. Weppner

Laboratory Course: Scientific Methods, 4 Std. Praktikum/Woche,

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger und W. Weppner (+ A. Netz, J. Schwenzel, G. Holstermann, E. Tsagarakis und S. Stramare)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche

F. Faupel, H. Föll, K. Noack, W. Weppner, W.F. Chu, K. Rätzke

*Sommer 2002*

Sensors (Elektronische Werkstoffe und Sensoren II), 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+ W.F. Chu, G. Holstermann, M. Sakthivel, S. Schmidt, J. Schwenzel, V. Thangadurai, E. Tsagarakis und S. Stramare)

Thermodynamics and Kinetics of Solids II, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+W.F. Chu, G. Holstermann, M. Sakthivel, J. Schwenzel, V. Thangadurai und E. Tsagarakis)

Laboratory Techniques and Materials Preparation, 2 Std. Vorlesung /Woche

W.F. Chu

Seminar "Sensors and Solid State Ionics", 2 Std. Seminar /Woche

W. Weppner

Laboratory Course: Functional Materials, 4 Std. Praktikum /Woche,

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger und W. Weppner (+ S. Schmidt, V. Thangadurai und M. Sakthivel)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien II, 1 Std. Vorlesung /Woche

F. Faupel, H. Föll, K. Noack, W. Weppner, W.F. Chu, K. Rätzke

*Winter 2002/2003*

Ionics, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen)/Woche

W. Weppner (+ W.F. Chu)

Ceramic Materials, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+ Q.P. Fang, M. Sakthivel und T. Shiferaw)

Thermodynamics and Kinetics I, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W. Weppner (+W.F. Chu, M. Sakthivel, J. Schwenzel, S. Stramare, E. Tsagarakis und T. Shiferaw)

Electrochemical and Chemical Aspects of Materials - An Experimental Approach, 2 (+1) Std. Vorlesung (+Übungen) /Woche

W.F. Chu

Chemical Aspects of Materials with Functional Properties, 4 Std. Vorlesung mit integrierten Laborversuchen /Woche

V. Thangadurai

Development of Materials with Functional Properties for Energy and Environmental Technologies, 2 Std. interaktive Lehre im Wechselspiel zwischen empirischen Erkenntnissen, theoretischem Verständnis und praktischer Erfahrung /Woche

V. Thangadurai

Seminar "Sensors and Solid State Ionics", 2 Std. Seminar /Woche

W. Weppner

Laboratory Course: Scientific Methods, 4 Std. Praktikum /Woche,

F. Faupel, H. Föll, W. Jäger und W. Weppner (+ A. Netz, J. Schwenzel, G. Holstermann, E. Tsagarakis, S. Stramare und T. Shiferaw)

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung /Woche

F. Faupel, H. Föll, K. Noack, W. Weppner, W.F. Chu, K. Rätzke

### Drittmittel

SANYO, *Advanced High Performance Batteries*, 01.01.02 - 31.12.03 (313,2 kEUR)

BASF, *Entwicklung schneller gemischt ionisch-elektronisch leitender Membranen*, 01.03.00 - 28.02.02 (23,2 kEUR)

TSSH, *Entwicklung eines Allfestkörper-Supercaps mit festen Alkaliionenleitern*, 03.12.01 - 31.12.04 (25,8 kEUR)

BASF, *Identifizierung von ionenleitenden Systemen*, 01.11.02 - 31.10.04 (152,3 kEUR)

TSSH, *Entwicklung eines chemischen Sensors für flüssige Medien ohne Membran*, 06.11.02 - 31.04.04 (60,6 kEUR)

BASF, *Chemisch stabile Festkörper-Ionenleiter*, 01.11.00 - 31.10.02 (145 kEUR)

EU, High-Level Scientific Conference, *EuroConferences on the Science and Technology of Ionics*, 01.09.00 – 31.08.03 (105 kEUR)

A.v.Humboldt-Stiftung, *Forschungsstipendium*, 01.08.00 – 31.07.02 (60 kEUR)  
 DAAD, *Innovatec - Gastdozentenprogramm für innovative Studiengänge an deutschen Hochschulen*, 01.08.02 - 29.02.04 (82,2 kEUR)

### Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen

Neben zahlreichen Konsultationen mit meist mittelständischen Firmen Schleswig-Holsteins erfolgte besonders intensiver Technologie-Transfer mit folgenden Gründer-Firmen mit direkter Mitarbeiter-Beteiligung:

Ionic Systems GmbH: Sauerstoff-Sensorik, Ionik-Meßtechnik

Loggion AG i.Gr.: CO<sub>2</sub>- und Methan-Sensorik

### Studienarbeit

Chr. Knittlmayer, *Synthesis and Characterization of Alkaline Earth Tungstates and Molybdates*, 12.06.02

### Diplom- und Master-Arbeiten

I. Nikolayev, *Masterarbeit, Investigation of the Interaction of Lithium with Silver at Room Temperature*, 16.09.02

Q.P. Fang, *Masterarbeit, SEA Fuel Cells Based on Oxide Ion Conductor in the Intermediate Temperature Regime*, 21.09.02

### Dissertationen

A. Netz, *Untersuchungen zu alternativen Materialien auf Basis von bor- und siliziumhaltigen Verbindungen als negative Elektroden für Lithium-ionen-Batterien*, 12.12.01

St. Schmidt, *Entwicklung eines Sauerstoffsensors für niedrige Temperaturen auf Basis von LaGaO<sub>3</sub>*, 21.11.01

S. Stramare, *Synthesis und Characterisation of Substituted Lithium Lanthanum Titanates, with Possible Applications in Electrochromic Systems*, 24.04.02

### Veröffentlichungen

V. Thangadurai, P. Schmid-Beurmann and W. Weppner, *SrSn<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> (0 < x < 1) Perovskites: A Novel Mixed Oxide Ion and Electronic Conductor*, Materials Research Bulletin **37**, 599 - 604 (2002)

V. Thangadurai and W. Weppner, *Determination of the Sodium Ion Transference Number of the Dion-Jacobson Type Layered Perovskite NaCa<sub>2</sub>Nb<sub>3</sub>O<sub>10</sub> Using ac Impedance and dc Methods*, Chemistry of Materials **14**, 1136 - 1143 (2002)

R.A. Huggins, *Alternative Materials for Negative Electrodes in Lithium Systems*, Solid State Ionics **152 - 153**, 61 - 68 (2002)

V. Thangadurai, R.A. Huggins and W. Weppner, *Use of Simple AC Technique to Determine the Ionic and Electronic Conductivities in Pure and Fe-Substituted SrSnO<sub>3</sub> Perovskites*, J. Power Sources **108**, 64 - 69 (2002)

M. de Ridder, R.G. van Welzenis, H.H. Brongersma, S. Wulff, W.F. Chu and W. Weppner, *Discovery of the Rate Limiting Step in Solid Oxide Fuel Cells by LEIS*, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B **190**, 732 - 735 (2002)

- V. Thangadurai and W. Weppner, *Solid Oxide Fuel Cells: Materials Concept for Single Element Arrangements (SEAs)*, in: High Temperature Materials, Proceedings of a Symposium in Honor of the 65<sup>th</sup> Birthday of Professor Wayne L. Worrell (S.C. Singhal, Ed.), Proc. Vol. 2002-05, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2002, pp. 106 - 115
- V. Thangadurai and W. Weppner, *Solid State Lithium Ion Conductors: Design Considerations by Thermodynamic Approach*, Ionics **8**, 281 - 292 (2002)
- V. Thangadurai and W. Weppner, *Development and Investigation of Perovskite ( $ABO_3$ )-Type Oxides for Power Generation*, Ionics **8**, 360 - 371 (2002)
- W. Weppner, *Materials Concepts for Solid State Ionic Devices*, in: Solid State Ionics: Trends in the New Millennium (B.V.R. Chowdari et al., Eds.), World Scientific Publ. Co., Singapore, 2002, p. 409
- R.A. Huggins, *Simple Method to Determine Electronic and Ionic Components of the Conductivity in Mixed Conductors; A Review*, Ionics **8**, 300 - 313 (2002)
- V. Thangadurai and W. Weppner, *Complete, Reversible  $H^+/Li^+$  Ion Exchange Reaction Between Rhombohedral  $LiMO_3$  and Perovskite-Type  $HMO_3$  ( $M = Nb, Ta$ )*, Materials Research Bulletin, **37**, 2417 - 2425 (2002)

### **Patent-Anmeldung**

St. Bitterlich, W. Weppner et al., Neuartige Brennstoffzelle für mittlere Temperaturen, Deutsche Patentanmeldung, 14.02.02, 1 01 30 783.7

### **Präsentationen** (Auswahl, eingeladene Vorträge)

- W. Weppner, *Some Electrochemical and Materials Aspects for Developing High Performance Lithium Batteries*, Naturwissenschaftliches Kolloquium, ETH, Zürich, 23.04.02
- V. Thangadurai und W. Weppner, *Solid Oxide Fuel Cells: Materials Concept for Single Element Arrangements (SEAs)*, 201<sup>st</sup> Meeting of the Electrochemical Society, Philadelphia, PA, USA, 12. - 17.05.02
- A. Netz, W. Weppner und R.A. Huggins, *The Formation and Properties of Amorphous Silicon as a Negative Reactant in Lithium Systems*, 11<sup>th</sup> Intl. Meeting on Lithium Batteries (IMLB11), Monterey, CA, USA, 23. - 28.06.02
- V. Thangadurai und W. Weppner, *Monolithic Electrochromic Display Using Lithium Ion Conducting Perovskite Oxides*, 9<sup>th</sup> EuroConference on Ionics, Ixia, Rhodes, Griechenland, 15. - 21.09.02
- J. Schwenzel und W. Weppner, *Investigation of Thin Films for Use in All-Solid-State Batteries*, 9<sup>th</sup> EuroConference on Ionics, Ixia, Rhodes, Griechenland, 15. - 21.09.02
- W. Weppner, *Materials Development for Advanced Lithium Batteries and Fuel Cells*, 11<sup>th</sup> Chinese Conference on Solid State Ionics & International Workshop on Solid Electrochemical Devices for Energy Conversion, Hefei, Anhui, China, 21. - 25.10.02
- W. Weppner, *Surface and Interfacial Phenomena in Solid State Ionics*, van Welzenis-Kolloquium des Physik-Departments der Technischen Universität Eindhoven, Niederlande, 12.12.02
- W. Weppner, *Materials Concepts for Solid State Ionic Devices*, 8<sup>th</sup> Asian Conference on Solid State Ionics, Langkawi, Malaysia, 15. - 19.12.02

### **Andere Aktivitäten und Ereignisse**

Organisation der 9<sup>th</sup> EuroConference on the Science and Technology of Ionics in Ixia, Rhodes, Griechenland, vom 15. – 22. September 2002

Herausgabe von Band 8 (6 Ausgaben) der Zeitschrift *IONICS* (W.F. Chu und W. Weppner)

Herausgabe des Newsletters *Ionik News*

Mitherausgabe der Zeitschriften *Journal of Solid State Electrochemistry* und *European Journal of Solid State and Inorganic Chemistry*

Mitglied des

- Intl. Advisory Committees, 10<sup>th</sup> Intl. Ceramics Congress, Pisa, Italien, 01. - 06.07.02,
- Advisory Boards der 11<sup>th</sup> Chinese Conference on Solid State Ionics & International Workshop on Solid Electrochemical Devices for Energy Conversion, Hefei, Anhui, China, 21. - 25.10.02,
- International Advisory Committees der 8<sup>th</sup> Asian Conference on Solid State Ionics, Langkawi, Malaysia, 15. - 19.12.02

**CMA Centrum für Materialanalytik / TF-Praktika für Studierende der Ingenieurstudiengänge****Prof. Dr. Wolfgang Jäger / Dr.-Ing. Klaus Noack**

Leitungsgremium: Dr. W. Brünger, Prof. Dr. F. Faupel, Prof. Dr. H. Föll, Prof. Dr. A. Heuberger, Prof. Dr. W. Jäger, Prof. Dr. P. Seegerbrecht, Prof. Dr. W. Weppner

Die Lehrstühle und Arbeitsgruppen der Materialwissenschaft und der Elektrotechnik der CAU Kiel verfügen über hochmoderne Geräte und Techniken für Materialanalytik, Materialprüfung und Elektronenmikroskopie in der Materialwissenschaft. Das Centrum für Materialanalytik (CMA) versteht sich als zentrale Einrichtung der Christian-Albrechts-Universität und stellt die vorhandenen Forschungsexpertisen und Methoden Kooperationspartnern aus Forschung und Wirtschaft für gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaufgaben und als Dienstleistung zur Verfügung. Zu den zentralen Aufgaben des CMA gehören

- Materialcharakterisierung - Struktur und Eigenschaften von dünnen Schichten, Oberflächen-spektroskopie, mechanische Materialprüfung
- Bereitstellung von modernsten Geräten und wissenschaftlichem Fachwissen in Materialanalytik und Materialprüfung für interne und externe Nutzer
- Förderung von Forschungskooperationen, Service und Beratung für Industrie und Forschungsinstitute
- Erweiterung des Spektrums verfügbarer Methoden durch „resource sharing“ in Kooperationen
- Unterstützung bei Forschungsarbeiten der Studierenden
- Unterstützung der Ausbildung von Studierenden und Ingenieuren durch Lehr- und Kursmodule in Materialanalytik, Materialprüfung und Elektronenmikroskopie
- Unterstützung der Studierenden bei der Arbeitsuche durch Kontakte zu Industrie und Forschungsinstituten.

Das Angebot zum Technologietransfer des CMA umfasst auch die gemeinsame Bearbeitung und gegenseitige Vermittlung von Industrieanfragen auf der Grundlage einer Zusammenarbeitsvereinbarung der CAU / CMA mit dem Werkstoffanwendungs- und Technologiezentrum (WATZ) der GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH.

Das CMA bietet Zugang zu modernsten, leistungsfähigen Messgeräten, die auch den Studierenden in Fortgeschrittenenpraktika und für ihre Forschungsarbeiten zur Verfügung stehen.

Zu den zentralen Aufgaben im Bereich der Praktika für die Studierenden der TF gehören

- die gemeinsamen Grundpraktika I und II aller Ingenieurstudiengänge im 3. und 4. Semester,
- die Fachpraktika Materialprüfung I und II des Ingenieurstudienganges Materialwissenschaft im 5. und 6. Semester,
- die Grundpraktika Materials Testing I und II des internationalen Masterstudienganges im 1. und 2. Semester,
- spezifische Vorlesungen (verteilt auf die Semester 1 bis 6), welche die Inhalte der Praktika vorbereiten und vertiefen.

## Ergebnisse

### Centrum für Materialanalytik CMA

#### *F & E – Kooperationen*

Forschung mit dem Unternehmen an wissenschaftlichen Fragestellungen.

#### **Forschungsauftrag**

Ausführung von Forschungsaufträgen auf der Basis vorhandener Expertisen.

#### **Kooperation**

Gemeinsame Optimierung oder Erprobung bei der Produktentwicklung.

#### **Dienstleistung**

Auftragsbearbeitung in den Bereichen Materialcharakterisierung, Materialprüfung und Schadensanalysen.

#### **Beratung und Gutachten**

Bereitstellung von Know-How und Expertisen sowie Fortbildungskursen zur Materialprüfung und zur Materialanalytik.

Der Versand der Informationsbroschüren zum Technologietransfer-Angebot des Centrums für Materialanalytik und die Messepräsenz MATERIALICA 2001 / 2002 haben zu einer Zunahme der Kontakte mit der regionalen Industrie insbesondere auch im Bereich der Materialprüfung geführt. In diesen Bereichen hat sich die unbürokratische und schnelle Vorgehensweise bei der Bearbeitung von Anfragen und Problemstellungen bewährt. Im Ergebnis hat dies zu einer Zunahme der Projekte mit mittelständischen Industriebetrieben in Schleswig-Holstein geführt. Wenn die Bearbeitung einer Aufgabenstellung nicht oder nicht umfassend möglich ist, beispielsweise mangels vorhandener Methoden oder Geräte, werden Kooperationspartner vermittelt. So wurden in einigen Fällen auf der Basis der Kooperationsvereinbarung mit dem Werkstoffanwendungs- und Technologiezentrum (WATZ) der GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH die Problemlösungen für entsprechende Aufgabenstellungen gemeinsam erarbeitet bzw. weitervermittelt.

### TF-Praktika für Studierende der Ingenieursstudiengänge

Die gemeinsamen Grundpraktika sind beim derzeitigen Stand der angebotenen und zu betreuenden Praktikumsversuche vollständig ausgelastet. Bedingt durch die hohe Auslastung und die differenzierte Versuchseinteilung nach Studienrichtung waren bei der gegenwärtigen Betreungs situation die Durchführung von Versuchen in Gruppen mit 3 Studierenden nicht immer vermeidbar. Die Fachpraktika sind derzeit nur zum Teil ausgelastet. Die Ursachen hierfür sind vermutlich in einer Interessenverschiebung bei den Studierenden weg von den technischen Studiengängen und hin zu den mehr ökonomisch orientierten Studiengängen mit technischen Nebenfächern zu sehen. Die Bewerberzahlen für den internationalen Studiengang 2002 (MSc Materials Science and Engineering) haben erneut stark zugenommen, so dass die Auslastungsgrenze der Praktika fast erreicht ist. In den vergangenen 2 Jahren wurden alle Versuchsanleitungen und die Arbeitsblätter zum Praktikumsablauf unter Einbeziehung von Anregungen seitens der Studierenden und Betreuer (Berücksichtigung von Werkstoffbezeichnungen, SI-Einheiten, Messunsicherheiten) neu überarbeitet und aufgelegt. Einzelne Versuche wurden komplett neu konzipiert und eingeführt.

**Personal**

Leiter des CMA: Prof. Dr. Wolfgang Jäger, Leiter des Praktikums: Dr.-Ing. Klaus Noack

Sekretariat: Katrin Brandenburg, Technisches Personal: Dipl.-Ing. (FH) Kay Rath

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl. Min. Schwitzke, Marlies (50%) 1.1. - 31.12.02 CAU Betr. Praktika, REM/EDX

**Vorlesungen, Praktika, Betriebsbesichtigungen**

*Winter 2001/2002*

Werkstoffprüfung I, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Einführung in die Fertigungstechnik, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack, F. Faupel, W. Jäger

Gemeinsames Grundpraktikum für Ingenieure I, 3Std. Praktikum/Woche, 48 Plätze, 12  
Versuche/Semester, 3 Std./Vers. (offenes Ende),

K. Noack, J. Kanzow, S. Lenser, O. Schimmer, J. Noss

Fachpraktikum I / Werkstoffprüfung I, 4 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester,  
4 Std./Vers.,

K. Noack, M. Schwitzke, K. Dolgner, S. Hollensteiner, A. Büttner, H. Kaack, J. Schwenzel

Materials Testing I, 3 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester, 3 Std./Vers.,  
M. Schwitzke, J. Kanzow, S. Hollensteiner, S. Daniel, J. Zekonyte, V. Thangadurai, A. Büttner,  
A. Netz, W.F. Chu, H. Kaack.

*Sommer 2002*

Werkstoffprüfung II, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Einführung in die Fertigungstechnik, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Werkstoffe und Werkstofftechnologien II, 1 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack, F. Faupel, H. Föll, W. Weppner, K. Rätzke, W.F. Chu

Gemeinsames Grundpraktikum für Ingenieure II, 3 Std. Praktikum/Woche, 48 Plätze, 12  
Versuche/Semester, 3 Std./Vers.,

K. Noack, M. Schwitzke, S. Langa, A. Bartsch, O. Schimmer, J. Noss

Fachpraktikum II / Werkstoffprüfung II, 4 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester,  
4 Std./Vers.,

K. Noack, M. Schwitzke, A. Netz, S. Schmidt, A. Büttner, W.F. Chu

Materials Testing II, 3 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester, 3 Std./Vers.,  
M. Schwitzke, J. Kanzow, S. Hollensteiner, S. Langa, K. Dolgner, J. Schwenzel, E. Tsakarakis, S.  
Schmidt

*Winter 2002/2003*

Werkstoffprüfung I, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Einführung in die Fertigungstechnik, 2 Std. Vorlesung/Woche,  
K. Noack

Werkstoffe und Werkstofftechnologien I, 1 Std. Vorlesung/Woche,

K. Noack, F. Faupel, W. Jäger

Gemeinsames Grundpraktikum für Ingenieure I, 3 Std. Praktikum/Woche, 48 Plätze, 12

Versuche/Semester, 3 Std./Vers.,

K. Noack, A. Bartsch, J. Kanzow/R. Kunz, U. Schürmann, S. Christiansen, J. Noss

Fachpraktikum I/Werkstoffprüfung I, 4 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester, 4 Std./Vers.,

K. Noack, M. Schwitzke, K. Dolgner, S. Hollensteiner, A. Biswas, H. Kaack, J. Schwenzel

Materials Testing I, 3 Std. Praktikum/Woche, 24 Plätze, 12 Versuche/Semester, 3 Std./Vers.,

M. Schwitzke, J. Kanzow/R. Kunz, S. Warnat, S. Daniel, J. Zekonyte, V. Thangadurai, Q.P. Fang, A. Biswas, H. Kaack, M. Sakthivel, W.F. Chu

### **Betriebsbesichtigungen im Rahmen der Lehrveranstaltungen Fertigungstechnik / Werkstoffprüfung**

1. Metallgießerei Poppe – Kiel

2. Feiser – Schönikirchen

3. Metalldrückerei Thate – Preetz

4. Elac – Kiel

### **Drittmittel CMA Materialprüfung**

Div. Auftraggeber, *Erlöse aus Auftragsarbeiten*, 1.1 - 31.12.02 (12,38 k€)

Erlöse aus Auftragsarbeiten im CMA-Bereich, Mikroanalyse von Materialien' sind bei den Arbeitsgruppen ausgewiesen.

### **Weitere Zusammenarbeiten, Technologie Transfers und Konsultationen**

Die genannten Firmenkontakte beinhalten:

- Anfragen und Beratungen zur Schadensfallanalyse, zur Werkstoffauswahl und zur Oberflächenbehandlung
- Einzel- und Serienuntersuchungen von Schadensfällen, von Werkstoffkennwerten, von Verbindungstechniken und zum Werkstofffeinsatz
- Werkstoffanalysen im Makro- und Mikrobereich.

### **Firmenkontakte**

1. Fette – Schwarzenbek

2. Inst. f. Schadenverhütung u. Schadenf. - Kiel

3. Metallgießerei Poppe – Kiel

4. Inst. f. Meereskunde – Kiel

5. Ökologiezentrum – Kiel

6. Allmess Schlumberger GmbH – Oldenburg i. H.

7. Feiser – Schönikirchen

8. HDW Bereiche Kunststoff u. Metall – Kiel

9. Podszuk – Kiel

10. Metalldrückerei Thate – Preetz

11. Elac – Kiel

12. Technische Dienste Kleinschmidt – Neumünster

13. Manthey – Kiel

14. Xeramar – Kiel

15. ESW-Extel Systems – Wedel

16. Caterpillar – Kiel

17. Physikzentrum/Ökologie – Kiel

18. Tricumed Medizintechnik – Kiel

19. Sanyo Energy – München

20. Raytheon – Kiel

21. Biocnostic – Berlin

22. Gleich – Kaltenkirchen

23. MAW Motorenwerkstatt – Kiel

24. Horn Armaturenfabrik – Flensburg

25. Rasta Stahlbau – Rendsburg

26. EWIS – Lübeck

27. Löffler Druckguß – Lübeck

28. Wöhlk – Schönikirchen

29. Korth Kristalle – Altenholz

30. TRIK Pumpen – Kiel

### Präsentationen

W. Jäger, *Arbeitskreis Oberflächen- und Schichttechnologie der Technologiestiftung Schleswig-Holstein, Präsentation bei Treffen im Wirtschaftsministerium des Landes Schleswig-Holstein in Kiel, April 2002*

C. Jäger, W. Jäger, *Arbeitskreis Oberflächen- und Schichttechnologie der Technologiestiftung Schleswig-Holstein, Präsentation bei einem Treffen bei der Firma Motorola, Flensburg, Juni 2002*

K. Noack, *Messepräsentation auf der Fachmesse MATERIALICA 2002, München, 30.9. - 3.10.2002*  
(gemeinsam mit WATZ / GKSS Forschungszentrum GmbH Geesthacht)

