

Peter Imkeller
Jürg Kramer
Elke Warmuth

Das DFG-Forschungszentrum

MATHEON

Mathematik für Schlüsseltechnologien:
Modellierung, Simulation und Optimierung
realer Prozesse

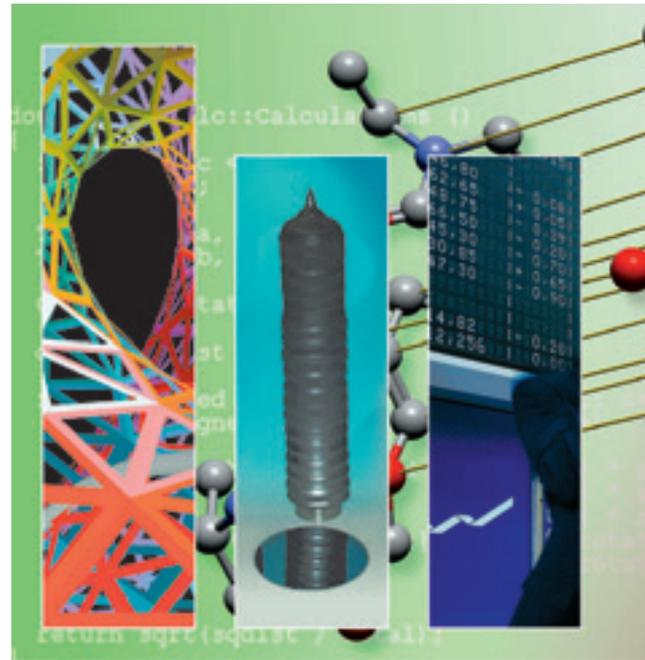
MATHEON ist der neue Name für ein ursprünglich mit dem Wort-Ungetüm »Mathematik für Schlüsseltechnologien: Modellierung, Simulation und Optimierung realer Prozesse« benanntes DFG-Forschungszentrum. Die drei großen Universitäten Berlins und zwei mathematische Forschungsinstitute in Berlin haben sich 2002 entschieden, ihre Forschungsaktivitäten zu koordinieren mit dem Ziel, die Entwicklung der Mathematik zum Schlüssel zu den Zukunftstechnologien zu fördern. Mit MATHEON soll der Zusammenarbeit zwischen Mathematik und Industrie, Gesellschaft und Technologieentwicklung eine neue Dimension eröffnet werden. Alle Forschungsaktivitäten des MATHEON sind anwendungsorientiert und derzeit auf die folgenden Technologiefelder fokussiert: Lebenswissenschaften, Logistik, Verkehrs- und Telekommunikationsnetze, Produktion, Schaltungssimulation und optoelektronische Bauteile, Finanzen und Visualisierung; ebenso auch Fragen der Ausbildung.

1 Das MATHEON: Entstehungsgeschichte und Visionen

In der ersten Auswahlrunde ließ die DFG den Antragstellern von Forschungszentren nicht viel Zeit und bat um Konzepte innerhalb von acht Wochen bis zum 20. Dezember 2000. Bis zu diesem Zeitpunkt gingen bei der DFG fast 90 Anträge aus allen Bereichen von Geistes-, Natur- und Ingenieurwissenschaften ein. Darunter befand sich ein Antrag, der gemeinsam von Forschern der Angewandten Mathematik an den drei Berliner Hochschulen (Freie Universität, Humboldt-Universität, Technische Universität), dem Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) sowie dem Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) verfasst worden war. Dieser Antrag mündete schließlich in die Gründung des DFG-Forschungszentrums MATHEON. Das MATHEON-Konzept von Angewandter Mathematik geht schon aus dem damaligen Antragstext hervor, der so beginnt:

»Ohne Mathematik tappt man doch immer im Dunkeln.« schrieb vor über 150 Jahren der Berliner Student Werner von Siemens an seinen Bruder Wilhelm. Schon für Siemens war die Hochtechnologie seiner Zeit ohne Mathematik nicht beherrschbar. Diese Aussage gilt heute umso mehr. Disziplinen verschmelzen miteinander; zusammen mit neuen ökonomischen Konzepten und durch staatliche Deregulierungsmechanismen werden sie zu Motoren der Weltwirtschaft: zu Zukunftstechnologien. Diese äußerst komplexen Systeme bedürfen der Mathematik, der Sprache der Wissenschaft und Technologie. Aber die neuen Technologien benötigen nicht nur die mathematische Sprache. Ohne die Algorithmen der Mathematik ist ein effizienter, kostengünstiger und ressourcenschonender Einsatz der Technologien nicht möglich.

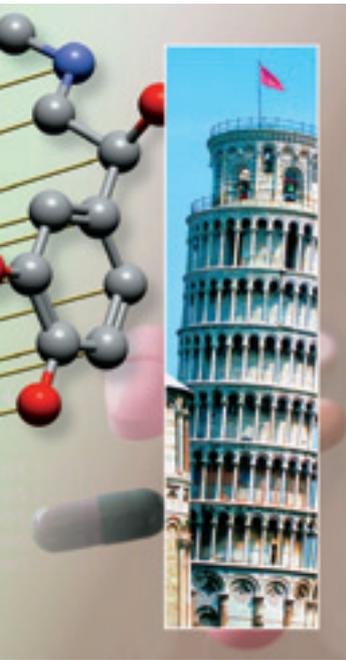
Angewandte Mathematik ist damit selbst eine Schlüsseltechnologie im globalen Wettbewerb um Ressourcen und Marktanteile; als Querschnitts- und Strukturwissenschaft besitzt sie ein besonders hohes Potential zum effektiven Einsatz. Sie wirkt jedoch im Verborgenen; ihre Beiträge zur Problemlösung sind den Endpro-



dukten in der Regel nicht mehr anzusehen. Aber nur wer sich als fähig erweist, das innovative Potential der Angewandten Mathematik effektiv zur Entwicklung neuer Produkte und moderner gesellschaftlicher Strukturen zu nutzen, wird im Zeitalter der globalen Informationsgesellschaft auf Dauer erfolgreich konkurrieren können. Dies gilt für lokal operierende Firmen und politische Einheiten genauso wie für Global Players.

Diese Sätze kennzeichnen die Einschätzung der Rolle, die die Mathematik im Hinblick auf konkrete Anwendungen spielt, wie sie heute von den Mitgliedern des MATHEON geteilt wird.

Von 90 Anträgen der ersten Auswahlrunde wurden 42, darunter der genannte Berliner Antrag, positiv begutachtet. Sieben davon wurden zu einem Vollantrag aufgefordert, aus denen schließlich die Forschungszentren in Bremen, Karlsruhe und Würzburg hervorgingen. Die übrigen positiv begutachteten Anträge erhielten die Möglichkeit, sich in einer zweiten Auswahlrunde bis zum 25. April 2001 wieder zu bewerben. Der Fokus lag diesmal auf zwei breiten und transdisziplinären Gebieten, von denen eines mit »Modellierung und Simulation in den Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften« umschrieben war. Vierzehn Anträge aus einem breiten Spektrum gingen ein, das die Ingenieurwissenschaften, Informatik, Biochemie und Medizin umfasste. Sie waren zum großen Teil interdisziplinär, zum Teil waren Mathematiker beteiligt. Der Antrag aus Berlin, als einziger auf die Mathematik fokussiert, war einer von dreien, die im Juli 2001 zu einem Vollantrag bis zum 15. November 2001 aufgefordert wurden. Von Ende August 2001 an vollbrachten etwa 50 Berliner Mathematiker den Kraftakt, aufbauend auf den Vorstellungen des ersten Antrags gemeinsame Visionen zu entwickeln, ihre Forschungsinitiativen zu bündeln, ihre fünf Institutionen auf den Kurs der Unterstützung des gemeinsamen Projekts zu bringen – was mit sehr großem Erfolg gelang. Die von der DFG erwartete Zusage für finanzielle Unterstützung durch den Berliner Senat wurde anfangs gegeben, hat sich aber im zugesagten Umfang



nie realisiert. Am 21. und 22. Januar 2002 hatten die drei Finalisten in Bonn Gelegenheit, ihre Konzepte einem internationalen Gutachtergremium zu präsentieren. Der Berliner Antrag wurde vom DFG-Hauptausschuss schließlich am 8. Mai 2002 zum Sieger des Wettbewerbs erklärt, und

schon am 1. Juni 2002 nahm das MATHEON seine Arbeit auf. Am 24. und 25. Januar 2006 bestand das MATHEON mit Auszeichnung die Begutachtung durch das internationale Gutachtergremium und am 1. Juni 2006 begann die zweite Förderperiode.

Die gemeinsame Vision Angewandter Mathematik, die die Entwicklung des MATHEON leiten soll, wurde im Siegerantrag so formuliert (Zitat):

Key technologies become more complex, innovation cycles get shorter. Flexible mathematical concepts

open new possibilities to master complexity, to react quickly, and to explore new smart options. Such models can be obtained via abstraction. This line of thought provides our global vision: Innovation needs flexibility, flexibility needs abstraction, the language of abstraction is mathematics. But mathematics is not only a language, it adds value: theoretical insight, efficient algorithms, optimal solutions. Thus, key technologies and mathematics interact in a joint innovation process.

The center is to give a strong push to the role of mathematics in this interactive process. The center's research program is application-driven. Its implementation will have a strong impact on the development of mathematics itself and will define a new stage of inter- and transdisciplinary cooperation.

2 Aufbau und Organisation des MATHEON, strukturelle Innovation

Das MATHEON wird von der DFG mit einem jährlichen Finanzvolumen von fünfeinhalb Millionen Euro unterstützt. Die beteiligten Berliner Institutionen steuern jährlich drei Millionen Euro bei.

Abb. 1
Die Forschungsaktivitäten des MATHEON sind anwendungsorientiert und derzeit auf die folgenden Technologiefelder fokussiert: Lebenswissenschaften, Logistik, Verkehrs- und Telekommunikationsnetze, Produktion, Schaltungssimulation und opto-elektronische Bauteile, Finanzen und Visualisierung; ebenso auch Fragen der Ausbildung.

Forschungszentren der DFG

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) bietet ein breit gefächertes Spektrum von Förderprogrammen an. Dazu gehören die Förderung von Einzelwissenschaftlern im *Normalverfahren* und die Förderung von Kooperationen und Interdisziplinarität in koordinierten Programmen wie *Forschergруппen*, *Schwerpunktprogrammen*, *Graduiertenkollegs* und *Sonderforschungsbereichen*. Aufgrund sorgfältiger Qualitätskontrolle durch die DFG wurde die Beteiligung einer Hochschule an diesen Programmen immer als Indiz für exzellente Forschung gewertet. Das trifft insbesondere auf die Sonderforschungsbereiche zu, deren Zahl von Präsidenten immer dann ins Feld geführt wird, wenn sie die Exzellenz der Forschung an ihren Hochschulen unterstreichen wollen.

Zu Beginn dieses Jahrzehnts kam ein neues koordiniertes Forschungsförderprogramm hinzu, dessen Existenz einer unerwarteten Finanzquelle zu verdanken ist. Im August 2000 versteigerte die Bundesregierung die UMTS-Lizenzen mit dem spektakulären Gesamtgewinn von etwa 50 Milliarden Euro. Ein Teil des Auktionserlöses ging über das Bundesministerium für Bildung und Forschung an die DFG, die ihrerseits beschloss, ein neues koordiniertes Förderpro-

gramm davon profitieren zu lassen: die *DFG-Forschungszentren*. In der Fassung vom Juli 2005 wird das Ziel des Programms von der DFG so umschrieben (Zitat):

Research Centers are an important strategic funding instrument to concentrate scientific research competence in particularly innovative fields and create temporary, internationally visible research priorities at research universities. DFG Research Centers enable the universities to establish research priorities on the basis of existing structures. The thematic focus must incorporate a high degree of international cooperation. Networking with other research institutions at university locations is encouraged. DFG Research Centers are open for cooperation with partners from industry. Funding may be provided for up to six professorships as well as associated independent junior research groups working within a DFG Research Center. Following the start-up funding provided by the DFG, the host university commits itself to financing the professorships from its core budget. Appropriate personnel and material resources will also be made available. Funding for each DFG Research Center averages approximately 5 million Euro per annum. Research Centers may receive funding for up to a maximum of 12 years.

MATHEON im Internet:
<http://www.matheon.de>

Das MATHEON ist keine Körperschaft des öffentlichen Rechts und existiert in Form einer Kooperationsvereinbarung der beteiligten Institutionen, d.h. der FU, HU und TU Berlin, des WIAS und ZIB. Sprecherhochschule ist die TU, die auch den *Sprecher*, Prof. Dr. M. Grötschel, und den *Vize-Sprecher*, Prof. Dr. V. Mehrmann, stellt. Dem *Vorstand* gehören sechs Professoren und ein Vertreter des wissenschaftlichen Nachwuchses an, derzeit: P. Deuffhard (FU, ZIB), M. Grötschel (TU, ZIB), V. Mehrmann (TU), B. Niethammer (HU), C. Schütte (FU), J. Sprekels (HU, WIAS), M. Wardetzky (FU). Der *Rat* koordiniert und leitet die Aktivitäten in den sieben *Application Areas* und den drei *Mathematical Fields* des MATHEON und fördert die Kooperation zwischen diesen Gebieten; er besteht aus zwanzig Mitgliedern*, darunter mindestens drei Vertreter des wissenschaftlichen Nachwuchses. Die *Mitgliederversammlung* wählt diese Organe. Ein *wissenschaftlicher Beirat*, bestehend aus zehn Mitgliedern,* berät das MATHEON in Angelegenheiten der nationalen und internationalen Kooperation mit anderen wissenschaftlichen Institutionen und der Industrie, der Organisation und langfristiger Perspektiven. Die zentrale Leitung und Administration des MATHEON** ist an der Sprecherhochschule untergebracht. Das MATHEON hat derzeit 200 Mitglieder, darunter 42 Professoren. Die Mitglieder haben ihre Arbeitsplätze an den beteiligten Instituten, und jeder aus DFG-Mitteln des MATHEON finanzierte Mitarbeiter ist in das wissenschaftliche Team seines Projektleiters an dessen Institution integriert. 90 Mitglieder werden aus DFG-Mitteln des MATHEON finanziert, die übrigen von ihrer Institution, von Stipendien der Industrie oder aus anderen Quellen.

In der ersten Förderperiode wurden sechs neue C4-Stellen, zwei an jeder der beteiligten Hochschulen, aus DFG-Mitteln geschaffen, und zusätzliche Professuren entstanden mit Arbeitsschwerpunkten in den Gebieten des MATHEON. An der Humboldt-Universität sind dies die Stellen von Prof. Dr. C. Carstensen, Fachgebiet *Numerische Lösungen von Differentialgleichungen*, vorher TU Wien, und Prof. Dr. A. Griewank, Fachgebiet *Nichtlineare Optimierung*, vorher TU Dresden; als zusätzliche Professur wurde an der Humboldt-Universität das Fachgebiet *Angewandte Analysis* mit Frau Prof. Dr. B. Niethammer besetzt. Jeder der MATHEON-Professuren wurde eine derzeit noch besetzte Professur der betreffenden Hochschule zugeordnet, auf die der MATHEON-Professor wechselt, sobald der Stelleninhaber ausscheidet. Zu diesem Zeitpunkt kann eine neue MATHEON-Professur designiert werden. Dies geschieht in der zweiten Förderperiode an der Humboldt-Universität, wo gegenwärtig zwei neue MATHEON-

Professuren besetzt werden, eine mit dem Profil *Angewandte Mathematik*, die andere mit dem Profil *Stochastische Analysis und Finanzmathematik*.

MATHEON hat sieben Nachwuchsgruppen geschaffen, davon drei an der TU, und je zwei an FU und HU Berlin. Die Entscheidung, solche Gruppen zu schaffen, entspringt einem der wichtigen Ziele des MATHEON, der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Innerhalb der *Application Area*, der die Nachwuchsgruppe zugeordnet ist, kann der Nachwuchsgruppenleiter frei über Forschungsziele und -inhalte sowie über die Besetzung der Mitarbeiterstellen entscheiden, die der Gruppe angehören. Die daraus erwachsenden Möglichkeiten der Selbstbestimmung in der eigenen Forscherkarriere scheinen sehr attraktiv zu sein und erzeugen nicht nur nationale Sichtbarkeit. Daher gab es auf diesen Stellen schon bisher die von MATHEON erhoffte große Fluktuation.

3 Struktur der Forschung im MATHEON

3.1 Mathematical Fields

Man kann natürlich nicht jedes *High Tech*-Thema unterstützen. Und nicht alle potentiell für die Anwendungsbereiche des MATHEON nützlichen mathematischen Felder sind in Berlin vertreten. Auf der Basis der besonderen mathematischen Stärken der Berliner Landschaft baut das MATHEON auf den folgenden *Mathematical Fields* auf: *I. Optimization and Discrete Mathematics*; *II. Numerical Analysis and Scientific Computing*; *III. Applied and Stochastic Analysis*.

Die Struktur der *Mathematical Fields* spiegelt gut funktionierende und etablierte Kooperationen zwischen den beteiligten Institutionen wider, z.B. entlang bereits existierender von der DFG geförderter Sonderforschungsbereiche, Schwerpunktprogramme und Graduiertenkollegs. Die Seminare und Kolloquien dieser Programme werden natürlich in ihrer Tradition integriert. MATHEON fördert erfolgreich die Interaktion zwischen diesen Gebieten durch spezielle Vorlesungen und Workshops wie z.B. »Stochastik/Numerik«, »Nichtlineare Optimierung und Diskrete Geometrie«, »Stochastische Aspekte kombinatorischer Netzplanung«, »Scheduling-Probleme und Hysterese-Operatoren«. Ziel dieser Workshops ist es, Mathematiker aus verschiedenen Feldern, die normalerweise kaum miteinander kommunizieren, zusammenzubringen, und wichtige Fragen (z.B. aus der Industrie), Ergebnisse und Techniken an die jeweils andere Gruppe heranzutragen.

3.2 Application Areas

Wie die *Mathematical Fields* die in Berlin ansässige Expertise in Angewandter Mathematik widerspiegeln,

* www.matheon.de/about_us/about.asp

** www.matheon.de/about_us/organization/management.asp

entsprechen die *Application Areas* Kooperationen mit Anwendern, die sich in der Vergangenheit als fruchtbar erwiesen haben. Diese Anwendungsbereiche für weitere Kooperationen mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie zu erweitern und zu öffnen ist ein wichtiges Ziel. Die folgenden Schlüsseltechnologien definieren die Anwendungsbereiche in der zweiten Förderperiode: *A. Life Sciences; B. Logistics, Traffic and Communication Networks; C. Production; D. Circuits Simulation and Opto-Electronic Devices; E. Finance; F. Visualization; Z. Education and Outreach.*

Die Erwartung, dass MATHEON von vitaler Bedeutung für den wissenschaftlichen Fortschritt in so riesigen und wichtigen Gebieten wie *Life Sciences* oder *Production* sei, ist natürlich vermessen. Wir erwarten allerdings, wichtige Beiträge zu bestimmten mathematischen Aspekten dieser Gebiete liefern zu können.

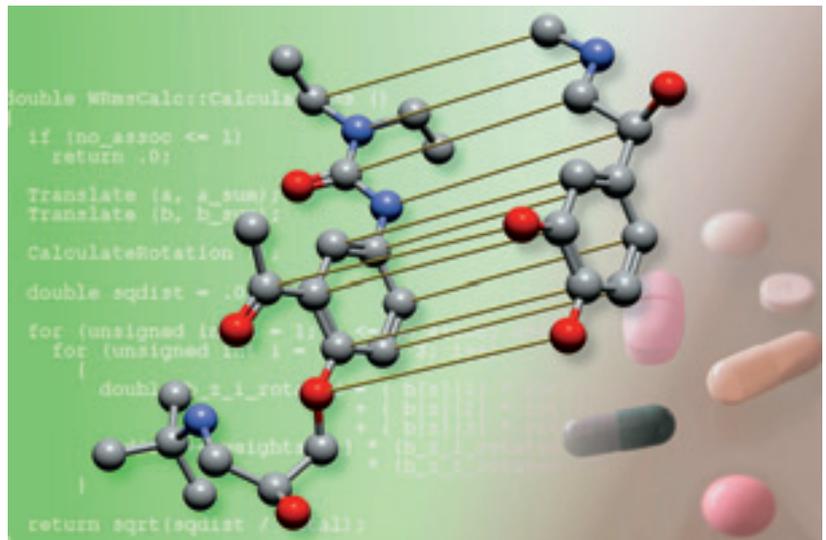
Mag es auch scheinen, dass diese Anwendungsbereiche wenig miteinander zu tun haben, so sind doch die mathematischen Ansätze für wichtige Fragestellungen zu Themen aus ganz verschiedenen Richtungen strukturell sehr verwandt. Analysis, Stochastik und Diskrete Mathematik liefern den konzeptionellen Rahmen, während die Numerik und Optimierung die algorithmischen Werkzeuge für die quantitative Lösung einer Vielzahl von realen Problemen beisteuern. Auch wenn die bereits vorhandene Expertise schon gute Erfolge in einer Vielzahl von praktischen Anwendungen ergeben hat, ist sie noch nicht auf dem Kompetenzniveau angelangt, das für die meisten Herausforderungen der gegenwärtigen Technologie erforderlich ist. MATHEON soll die institutionelle Basis sein, um dieses Kompetenzniveau zu erreichen. Die Modellierung, Simulation und Optimierung von Prozessen der realen Welt sind von hoher Wichtigkeit in vielen Aktivitäten in Industrie und Gesellschaft. Dazu möchte MATHEON einen substantiellen Beitrag leisten.

4 Die Mathematik der Humboldt-Universität im MATHEON

Die Forschungsgruppen des Instituts für Mathematik an der Humboldt-Universität sind mit insgesamt fünfzehn Teilprojekten, zwei Forschungsprofessuren und zwei Nachwuchsgruppen am MATHEON beteiligt. Die Aktivitäten erstrecken sich über alle *Mathematical Fields*, die *Application Areas* beziehen sich in erster Linie auf *A. Life Sciences, C. Production, D. Circuits Simulation and Opto-Electronic Devices, E. Finance* und *Z. Education and Outreach*. Wir geben im Folgenden einen Überblick über die im MATHEON organisierten Forschungsaktivitäten von Seiten der Humboldt-Universität.

4.1 Life Sciences

In der *Application Area A. Life Sciences* fokussiert das MATHEON auf zwei Themenkomplexe, bei denen neue mathematische Modelle und Algorithmen besonders relevante Fortschritte versprechen. Zum einen ist dies der Bereich der patientenspezifischen Medizintechnik, wie zum Beispiel die Hyperthermie zur Behandlung von Krebserkrankungen. Der andere Bereich beschäftigt sich mit der Dynamik von Biomolekülen und biologischen Netzwerken und behandelt damit wichtige Fragestellungen der Medikamentenentwicklung. In diesem Bereich ist die Humboldt-Universität durch ein Projekt vertreten.



Die Entwicklung neuer Medikamente ist ein sehr kostspieliger und zeitaufwändiger Vorgang, bei dem Erfolge nicht selten dem Zufall zu verdanken sind. Die Mathematik hilft hier, mit weniger Ressourcen schneller und zielgerichteter ans Ziel zu kommen. Zum einen wird im MATHEON mit neuen mathematischen Modellen und Algorithmen der Zusammenhang der dynamischen 3D-Struktur von Biomolekülen mit ihrer pharmakologischen Funktion untersucht. Damit lassen sich Vorhersagen machen, welche Biomoleküle an bestimmte Proteine andocken können oder aber welche Nebenwirkungen von einem Medikament erwartet werden können. Die Ergebnisse in diesem Bereich wurden zum Teil gemeinsam mit der Charité-Universitätsmedizin Berlin erzielt. Zum anderen beschäftigt sich das MATHEON mit der Modellierung von metabolischen- und Signaltransduktionsnetzwerken. Deren besseres Verständnis hilft bei der Einschätzung der Wirkung von Medikamenten in einzelnen Zellen. Von der Humboldt-Universität werden in der *Application Area A* Methoden der Diskreten Mathematik, wie zum Beispiel der

Abb. 2 Ähnlichkeit der 3D-Struktur des Stresshormons Adrenalin (rechts) und des Beta-blockers Celiprolol (links)

Theorie zufälliger Graphen, und der Kombinatorischen Optimierung eingesetzt.

4.2 Production

Nachdem sich die *Application Area C. Production* zunächst auf spezifische Aspekte der Produktionskontrolle und -planung konzentriert hatte, stehen nun in der zweiten Förderperiode multifunktionelle Materialien sowie einige Aspekte der Energieerzeugung im Mittelpunkt. Einen bedeutenden Anteil an dieser Neustrukturierung hatte die Humboldt-Universität mit den drei neuberufenen Professoren in der Angewandten Mathematik im Jahr 2003, deren Anwendungsschwerpunkte zu einem großen Teil in den Materialwissenschaften liegen. Diese Expertise wurde durch eine

Humboldt-Universität vertreten und ergänzen sich in den Projekten der *Application Area C* gegenseitig.

Dies zeigt sich insbesondere auch bei der Arbeit der beiden Nachwuchsgruppen. Die Nachwuchsgruppe *Angewandte Analysis* widmet sich insbesondere mathematischen Aspekten des Magnetismus. Im Mittelpunkt steht die Musterbildung bei magnetischen dünnen Filmen. Diese bilden die Basis der meisten heutigen Speichertechnologien. Aktuelle Trends gehen zur Kombination von magnetischen Filmen mit Halbleiterelementen und der Entwicklung von Hybridstrukturen für zukünftige Spintronic Anwendungen, bei der Elektronen sowohl hinsichtlich ihrer elektrischen Ladung als auch hinsichtlich ihres Spins als Informationsträger genutzt werden. Vom mathematischen Standpunkt aus sind magnetische Filme ein Paradebeispiel eines musterbildenden Systems mit Multiskalencharakter. Das zugrundeliegende interdisziplinär etablierte Modell von Landau und Lifshitz stellt, trotz seiner kompakten Form, den Anwender vor eine Vielzahl komplexer Problemstellungen. Forschungsgegenstand innerhalb des MATHEON ist die mathematische Analyse diverser Strukturen und Muster aus magnetischen Domänen, Wänden und Wirbeln. Die Separation von Zeit- und Längenskalen erlaubt die rigorose Herleitung asymptotischer oder effektiver Modelle, welche Modelleigenschaften in einem der Problemstellung angepassten Parameterbereich gezielt beleuchten.

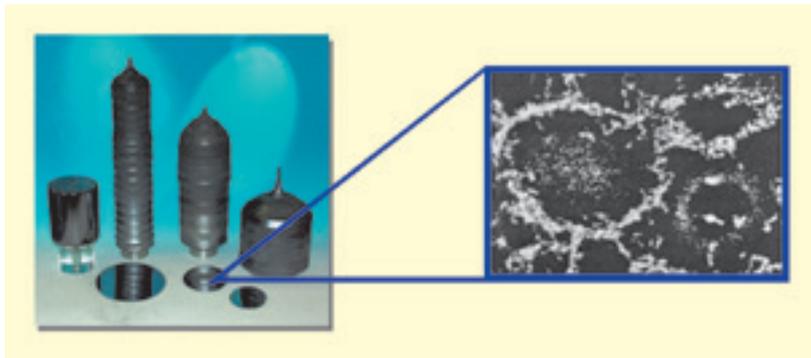


Abb. 3 Vergrößerung eines Galliumarsenid (GaAs)-Halbleiters (»Schäffchen-Bild«): Kleine flüssige GaAs-Tröpfchen (hell) im GaAs-Kristall (dunkel) beeinflussen die Eigenschaften des Halbleiters negativ.

gemeinsame Berufung mit dem WIAS in der Angewandten Analysis sowie zwei neue Nachwuchsgruppenleiter im darauffolgenden Jahr weiter gestärkt.

Mathematische Methoden in der Materialentwicklung gewinnen immer größere Bedeutung, denn sie eröffnen die Möglichkeit, durch Modellierung und Simulation langwierige und teure Experimentreihen zu vermeiden. Projekte an der Humboldt-Universität, oft in Zusammenarbeit mit dem WIAS, behandeln zum Beispiel die Problematik der Bildung unerwünschter flüssiger Arsentropfen in halbleitenden Galliumarsenidkristallen, das Aufreißen von Polymerbeschichtungen, wie sie zum Beispiel bei der Chipherstellung zum Einsatz kommen, plastisches Verhalten bei Festkörpern oder die Optimierung von Auto-Karosserien bei wirtschaftlichem Einsatz von Materialien. Um die jeweiligen Probleme angehen zu können, wird die ganze Bandbreite der modernen Angewandten Mathematik benötigt. Diese reicht von der Modellierung über theoretische und numerische Analysis von partiellen Differentialgleichungen, nichtkonvexen Variationsproblemen und Problemen mit freien Rändern bis hin zur nichtlinearen und stochastischen Optimierung. Alle diese Gebiete sind in der Angewandten Mathematik an der Hum-

Mit der Entwicklung robuster numerischer Verfahren für die entsprechenden Modelle beschäftigt sich die Nachwuchsgruppe *Numerische Analysis*. Asymptotische Modelle, die Prozesse über mehrere Längenskalen beschreiben, enthalten typischerweise entweder kleine Parameter, von denen die Lösungen empfindlich abhängen, oder es treten Singularitäten in den Lösungen auf. Daher müssen spezielle numerische Algorithmen entworfen werden, um zuverlässige Approximationen zu garantieren. Essentiell für die oben genannten komplexen Probleme ist die Entwicklung adaptiver Algorithmen. Basierend auf Fehlerabschätzungen wird das zugrunde liegende Gitter lokal verfeinert und erlaubt so, z.B. in der Nähe von Singularitäten, eine genauere Beschreibung der Lösung, ohne dass der Rechenaufwand insgesamt zu groß wird. Neben dem Mikromagnetismus, arbeitet die Nachwuchsgruppe *Numerische Analysis* auch an Modellen und Algorithmen zur Beschreibung von bleifreiem Lötzinn, Flüssigkeitskristallen und der Wirbelbildung in Supraleitern.

4.3 Circuits Simulation and Opto-Electronic Devices Gegenstand der Arbeiten in *Application Area D. Circuits Simulation and Opto-Electronic Devices* sind

elektronische Schaltkreise, opto-elektronische Bauelemente und optische Wellenleiter. Diese Produkte der Hochtechnologie unterliegen einer rasanten Entwicklung, die vor allem durch Miniaturisierung, Vergrößerung der Übertragungsraten und Verkürzung der Entwicklungs- und Produktionszyklen gekennzeichnet ist. Hier sind mathematische Modellierung und numerische Simulation unverzichtbar.

Die Humboldt-Universität ist derzeit in der *Application Area D* in einem Projekt vertreten. Gegenstand dieses Projektes sind Halbleiterlaser, die als Bauelemente mit unterschiedlichen Funktionen (z.B. schnelles Schalten zwischen verschiedenen stationären Zuständen, Generation von kurzen Pulsen oder von hochfrequenten Schwingungen, Synchronisation zwischen verschiedenen dynamischen Zuständen) für optische Kommunikationssysteme entwickelt werden. Das nicht-stationäre Verhalten dieser Bauelemente ist, im Gegensatz zu vielen anderen Lasertypen, nicht Neben- oder Störeffekt, sondern notwendige Voraussetzung und wesentliches Wirkungsprinzip der technischen Anwendungen. Ziel ist die Erforschung von Szenarien für die Herausbildung solcher komplexer »nichtlinearer« dynamischer Verhaltensweisen sowie deren Stabilisierung, Kontrolle und Optimierung. Damit wird der aufwendige Design-Prozess für solche Bauelemente unterstützt. Natürlich müssen die eingesetzten mathematischen Modelle (gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen) ebensolche komplexen »nichtlinearen« dynamischen Verhaltensweisen zeigen wie die Laser. Das erfordert, dass modernste Ergebnisse der Nichtlinearen Dynamik und der Theorie und Numerik partieller Differentialgleichungen eingesetzt bzw. dass geeignete neue Ergebnisse bereitgestellt werden.

Wesentliche Voraussetzung der Arbeiten an diesem Projekt ist eine langjährige intensive Zusammenarbeit von Mathematikern und Physikern der Humboldt-Universität und anderer, außeruniversitärer Forschungsinstitute. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit entstanden auch zahlreiche Dissertationen und Diplomarbeiten an der Humboldt-Universität.

4.4 Finance

Im Bereich von Finanz- und Versicherungsmärkten hat sich die Mathematik zu einem Motor des Fortschritts entwickelt. Das zentrale Problem dieses Bereichs wird durch das Management von *Risiko* in seinen verschiedenen Erscheinungsformen umschrieben. Die Quantifizierung und Beherrschung finanzieller Risiken stellt große Herausforderungen an Wahrscheinlichkeitstheorie, stochastische Analysis und Dynamik und Statistik. Mathematische Methoden stehen dabei auf allen Ebe-

nen im Vordergrund, angefangen bei Konzepten zur Modellierung und Messung von Risiken durch stochastische Prozesse, in Modellen der Mikrostruktur von Finanzmärkten bis zur statistisch-numerischen Simulation bei der Berechnung optimaler Investmentstrategien zur Minimierung von Risiken.

Mathematische Konzepte erfreuen sich einerseits in der Finanzindustrie als entscheidende Komponente der Modellierung wachsender Beliebtheit. Auf der anderen Seite ist die stochastische Finanzmathematik durch die Aufnahme immer neuer Paradigmen aus der Praxis zu einem hochaktuellen Forschungsgebiet geworden. Probleme aus der Finanz- und Versicherungsmathematik werden typischerweise durch



Abb. 4
Deutsche Börse Frankfurt/M.

unvollständige Marktmodelle beschrieben, deren Finanzderivate Risikoquellen beinhalten, die durch die Finanzmärkte nicht abgesichert werden können. Daraus leitet sich die Bedeutung von risikominimierenden Strategien der Absicherung her, in deren Entwicklung die Berliner Stochastik, insbesondere die Forschungsgruppe von H. Föllmer an der Humboldt-Universität, eine weltweit führende Rolle spielt.

Die Nachfrage nach neuen Konzepten und Instrumenten des Risikomanagements in Banken und Versicherungen nimmt nach wie vor zu. Einerseits reagieren Banken damit auf den zunehmenden Druck, der von Kontrollorganen ausgeht. Er mahnt die Verbesserung der bankinternen Modelle der Quantifizierung des eigenen Risikos an und führt in zunehmendem Maße zur Entwicklung eigener neuer Konzepte und Instru-

mente. Auf der anderen Seite werden sich vor allem große Versicherer des zunehmenden Risikos bewusst, dem sie aus Quellen wie zum Beispiel dem Klima ausgesetzt sind. Es führt im Rahmen der *Securitization* zu Absicherungskonzepten durch Übertragung der Risiken auf Finanzmärkte. Das Design von neuen darauf zugeschnittenen Produkten wie Katastrophenbonds stellt neue Herausforderungen sowohl an innovative Absicherungskonzepte wie an numerisch-statistische Verfahren der Korrelations- und Zeitreihenanalyse. Langfristig ist ein genaueres Studium der Mikrostruktur von Preisen auf Finanz- und Versicherungsmärkten erforderlich. Dieser Aufgabe widmet sich eine Arbeitsgruppe der Stochastik im Rahmen eines MATHEON-Projekts.

Abb. 5
PISA und seine Herausforderungen.
(Foto: Vito Arcomano; Fototeca ENIT)

Die derzeitige personelle Stärke der Arbeitsgruppen an der Humboldt-Universität in Stochastik und Finanzmathematik leidet unter dem Ausscheiden von H. Föllmer, der 2006 die Altersgrenze erreicht. Um den wachsenden Herausforderungen des durch die *Application Area E. Finance* umschriebenen hochaktuellen und außerordentlich dynamischen Gebiets gerecht zu werden, wird das MATHEON die Nachfolge von H. Föllmer durch eine der beiden genannten Forschungsprofessuren für die Dauer der zweiten Förderperiode (2006–2010) finanzieren.

4.5 Education and Outreach

Dieser Bereich leistet Beiträge zur mathematischen Ausbildung an Schulen und Universitäten und will durch zahlreiche Aktivitäten mithelfen, das Bild von der Wissenschaft *Mathematik* in der Öffentlichkeit zu verbessern. Die treibende Motivation der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist es, mehr qualifizierte junge Menschen für die Mathematik zu gewinnen. Dabei werden sie auch von MATHEON-Mitarbeitern außerhalb der *Application Area Z. Education and Outreach* unterstützt. Die Aufgabenbereiche reichen von der Lehrerfort- und Lehrerausbildung über die Ausgestaltung neuer Rahmenpläne sowie des neuen Schulgesetzes und speziell die Begabtenförderung bis hin zur Ingenieurausbildung und Öffentlichkeitsarbeit.

In der Berliner Schulwirklichkeit fanden in jüngerer Zeit gravierende Veränderungen statt. Stichworte sind: Bildungsstandards der KMK, neues Schulgesetz, neue Rahmenpläne von Klasse 1 bis 12/13, Mittlerer Schulabschluss, Verkürzung der Schulzeit von 13 auf 12 Jahre, Fortbildungspflicht für Lehrerinnen und Lehrer. Aus diesen Veränderungen leitet sich zwingend ein dringender Bedarf an Lehrerfortbildung ab. Bedauerlicherweise hat das Land Berlin dafür kein Konzept.

Die Akteure der *Application Area Z* haben mit der Initiierung eines solchen Konzepts begonnen, mit dem sie gleichzeitig auch Beiträge zur Konzeption und Implementierung eines wirksamen deutschlandweiten Programms der Lehrerfortbildung in Mathematik leisten wollen. Unterstützung erhalten die beteiligten MATHEON-Projekte durch ein (gemeinsam mit Kollegen der Universität Duisburg-Essen) neu eingeworbenes Projekt, das durch die Deutsche Telekom Stiftung gefördert wird.

Beim Übergang zum BA/MA-System wurden trotz der dringenden Empfehlungen von Experten zwei gravierende Mängel der »alten« Lehrerausbildung nicht behoben: die fehlende Anpassung an die Schulform



Learning for Tomorrow's World

und die ungenügende Praxisorientierung. Das MATHEON ermöglicht die jährliche Abordnung von drei Mathematiklehrerinnen und -lehrern an das Institut für Mathematik der Humboldt-Universität, die durch ihren Einsatz in der Lehrerausbildung wesentlich mithelfen, die Praxisorientierung der Ausbildung zu steigern. Darüber hinaus arbeiten Schulen und Hochschulen im *Berliner Netzwerk mathematisch-naturwissenschaftlich profilierter Schulen* eng zusammen.

Seit 2004 sieht das Schulgesetz in der Sekundarstufe II die Möglichkeit von Seminarkursen vor, die zu einer Facharbeit führen, welche als Abiturleistung eingebracht werden kann. Die Schulen stehen vor dem Problem, dass sie in der Regel nicht in der Lage sind, dieses Element aus eigener Kraft zu realisieren. Im Rah-

men eines MATHEON-Projektes und unter Einbeziehung weiterer MATHEON-Mitarbeiter wird ab 2006 ein Konzept für die Durchführung solcher Seminarkurse und Facharbeiten entwickelt und erprobt. Im Rahmen der Seminarkurse werden insbesondere Anwendungsprobleme, die im MATHEON bearbeitet werden, propagiert werden.

Bis 2005 fand die Begabtenförderung an grundständigen Gymnasien nur in sprachlicher, musischer und sportlicher Profilierung statt. Die Schulen des Berliner Netzwerks konnten ihren Nachwuchs erst ab der 7. Klasse rekrutieren. Die erfolgreiche Zusammenarbeit von MATHEON mit dem Berliner Netzwerk und der Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport veranlasste den ehemaligen Schulsenator Böger, an zwei Netzwerkschulen die Grundständigkeit zu genehmigen und die *Mathematische Schülergesellschaft* berlinweit für die Klassen 5 und 6 zu öffnen. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten der kontinuierlichen Förderung mathematisch interessierter und begabter Schülerinnen und Schüler von der Klasse 5 bis zum Abitur.

Der Bologna-Prozess erfordert auch eine Umstrukturierung der Mathematikausbildung für Ingenieure. Das MATHEON-Projekt *Innovations in Mathematics Education for the Engineering Sciences* arbeitet an der Entwicklung von neuen Lehr- und Lernmaterialien für die Mathematikausbildung von Ingenieuren an der TU unter besonderer Berücksichtigung von Modellbildungsaspekten und Nutzung von Computeranwendungen in MATLAB.

Die Wissenschaftler des MATHEON – unterstützt von den Lehrerinnen und Lehrern der Netzwerkschulen – schlagen mit vielfältigen Aktivitäten eine Brücke zwischen den Mathematikern und der breiten Öffentlichkeit. Sehr erfolgreich sind die Urania-Vorträge für Schüler und Lehrer unter dem Titel *MathInside – Mathematik ist überall*. Über die Landesgrenzen hinaus bekannt ist der *Mathematische Adventskalender* (www.mathekalender.de), dessen Teilnehmerzahl von 6000 im Jahre 2004 auf fast 10.000 im Jahre 2005 anstieg.

Projektleiter von Seiten der Humboldt-Universität im MATHEON

In alphabetischer Reihenfolge: S. Bartels, C. Carstensen, H. Föllmer, A. Griewank, S. Hougardy, P. Imkeller, J. Kramer, R. März, C. Melcher, A. Münch, B. Niethammer, H.J. Prömel, L. Recke, W. Römisch.



Prof. Dr. Peter Imkeller

Jg. 1951. 1977 Diplom in Mathematik, LMU München; 1979 Lehramtsprüfung Mathematik/Physik, Bayern; 1982/1987 Promotion/Habilitation in Mathematik, LMU München; 1988–1993 Heisenberg-Stipendium; 1993–1995 Professor UFC Besançon; seit 1996 Professor für Mathematik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Forschungsschwerpunkte: Stochastische Analysis, stochastische Modelle in Finanzmathematik und Klimaphysik.

Kontakt

Humboldt-Universität zu Berlin
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II
Institut für Mathematik
Rudower Chaussee 25
D-12489 Berlin
Tel.: +49 30 2093-5850
Fax: +49 30 2093-5848
E-Mail: imkeller@math.hu-berlin.de



Prof. Dr. Jürg Kramer

Jg. 1956. 1980 Diplom in Mathematik, Physik, Astronomie, Universität Basel; 1985 Promotion in Mathematik, Universität Basel; 1993 Habilitation in Mathematik, ETH Zürich; seit 1994 Professor für Mathematik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Forschungsschwerpunkte: Arithmetische Geometrie, Automorphe Formen; Lehrerausbildung, Begabtenförderung, Popularisierung von Mathematik.

Kontakt

Humboldt-Universität zu Berlin
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II
Institut für Mathematik
Rudower Chaussee 25
D-12489 Berlin
Tel.: +49 30 2093-5815
Fax: +49 30 2093-5866
E-Mail: kramer@math.hu-berlin.de



Dr. Elke Warmuth

Jg. 1949. 1973 Diplom in Mathematik, Universität Wrocław; 1976 Promotion in Mathematik, Akademie der Wissenschaften; 1976–1984 wissenschaftliche Mitarbeiterin, Akademie der Wissenschaften; seit 1984 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Humboldt-Universität zu Berlin. Forschungsschwerpunkte: Didaktik der Mathematik, Lehrerausbildung, Begabtenförderung, Popularisierung von Mathematik.

Kontakt

Humboldt-Universität zu Berlin
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II
Institut für Mathematik
Rudower Chaussee 25
D-12489 Berlin
Tel.: +49 30 2093-5830
Fax: +49 30 2093-5866
E-Mail: warmuth@math.hu-berlin.de