

Technomathematik heute - Gedanken zu dem Studiengang 15 Jahre nach seiner Gründung

Helmut Neunzert
Universität Kaiserslautern

Im Jahre 1980 starteten wir in Kaiserslautern den Studiengang Technomathematik. Nach mehreren Anfangsproblemen hat er sich heute, nach 15 Jahren, weitgehend durchgesetzt - 11 Universitäten in Deutschland haben ihn eingeführt und mehrere andere denken darüber nach. Zu letzteren gehört die Universität Bremen, die mich um eine Expertise bat. Die allgemeinen Ausführungen dieses Gutachtens, die sich nicht auf die spezielle Situation in Bremen beziehen, sind in dem beiliegenden Text zusammengefaßt.

Im einzelnen werde ich versuchen, folgende Fragen zu beantworten:

1. Welche Forschungsaufgaben stellt sich die Technomathematik?
2. Welche Ausbildungsziele verfolgt ein Studiengang Technomathematik?
3. Wie gestaltet man die Verbindung mit anderen Disziplinen und insbesondere mit der Praxis?

I. Technomathematik als wissenschaftliche Disziplin

In den letzten Jahren ist viel über die gestiegene Bedeutung der Mathematik für die Praxis geschrieben worden; es gibt beeindruckende Zitate aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft aus vielen Ländern, die dies unterstreichen. Ich will diese Argumente und Zitate hier nicht wiederholen - in der Anlage füge ich statt dessen das Manuskript meines Vortrags von der Tagung der DMV in Duisburg 1994 bei, der sich mit diesen Fragen beschäftigt.

Der Grund für diese Wiederentdeckung des Nutzens der Mathematik liegt in der neuen Möglichkeit, auch sehr komplexe mathematische Modelle technischer, organisatorischer oder naturwissenschaftlicher Prozesse wirklich auszuwerten; mit dem Computer ist ein Hilfsmittel erwachsen, sehr schwierige mathematische Probleme zumindest näherungsweise zu lösen bzw. optimale Lösungen zu berechnen. Das Erstellen und die Auswertung von Modellen sind nicht ausschließlich mathematische Aufgaben, aber Mathematik spielt in ihnen eine ganz entscheidende Rolle:

1. Mathematik ist der Rohstoff der Modelle, die die Basis für Simulation und Optimierung darstellen - je besser der Rohstoff, desto flexibler und genauer die Modelle. Gerade auch die sogenannte "reine Mathematik" entwickelt fortwährend Begriffe und Strukturen, die eine sehr genaue Abbildung realer Strukturen ermöglichen. Dazu müssen sich aber Wissenschaftler, die diese modernen mathematischen Konzepte kennen, um deren Anwendung auf reale Probleme kümmern; dies wird bisher weder von den "reinen Mathematikern" allein noch von den Anwendern in ausreichendem Maße geleistet.

2. Mathematik ist auch die Wissenschaft, die die Auswertungsmethoden für die Modelle bereitstellt. Die klassischen analytischen Methoden, bei denen meist Grenzwerte einzelner Parameter, die auf einfachere, "lösbare" Probleme führen, betrachtet werden, spielen auch heute noch für das Verständnis des qualitativen Verhaltens eines Systems bzw. als Testfälle für numerische Methoden eine wichtige Rolle. Dieses insbesondere in der angelsächsischen Wissenschaft dominierende Gebiet der "asymptotischen Analysis" (man spricht dort auch von "modelling", wenn man an die Herleitung einfacher Grenzgleichungen denkt) gewinnt insgesamt an Bedeutung und muß in Deutschland besonders gefördert werden. Gut entwickelt ist in Deutschland die Auswertung der Modelle mit Hilfe des Computers, wobei Algorithmen zur numerischen Lösung vorherrschen, symbolisch-algebraische Berechnungsmethoden aber auch deutlicher ins Blickfeld kommen.

Erstellung und Auswertung von Modellen realer Systeme mit dem Ziel, diese zu simulieren und zu optimieren, ist heute eine in vielen Bereichen benutzte wissenschaftliche Methode. In den Naturwissenschaften findet man sie unter Namen wie "computational physics" etc., in Fragen der Organisation menschlicher Aktivitäten (Produktion, Transport, Gesundheitssystem etc.) spricht man von Wirtschaftsmathematik (mit enger Verwandtschaft zu OR), geht es um Fragen der Technik, so hat sich der Name Technomathematik eingebürgert. (Er hat sich weitgehend gegen andere Vorschläge wie "technische Mathematik" durchgesetzt, weil er leichter in andere Sprachen übertragbar ist und sich als "Mathematik für die Technik" selbst erklärt.) Technomathematik als "Mathematik für die Technik" ist im Kern eine mathematische Disziplin - sie verwendet und entwickelt mathematische Konzepte zur Modellierung technischer Systeme und sie entwickelt analytische und algorithmische Auswertungsmethoden für die Modelle. Technomathematik ist also in der Mathematik angesiedelt, aber natürlich bedarf sie enger Kontakte mit den Entwicklern und Herstellern technischer Systeme und sie benötigt fundierte Kenntnisse über informationsverarbeitende Systeme als ihre Hauptwerkzeuge.

Die wichtigsten Partner innerhalb der Hochschulen sind i.a. Elektrotechnik und Maschinenbau bzw. Produktionstechnologie, an manchen Orten kommen allerdings auch praxisorientierte Naturwissenschaften wie etwa "Technische Physik" oder Geowissenschaften hinzu. Informatik erscheint als Forschungspartner der Technomathematik weniger häufig (in Kaiserslautern ist

das allerdings im Rahmen eines Graduiertenkollegs Technomathematik durchaus der Fall) - vielleicht, weil es gerade zwischen Mathematik und Informatik schon anderweitig viele Berührungspunkte gibt und weil Informatik eben oft doch nicht als technische Disziplin gesehen wird. Allerdings ist Informatik für die Technomathematik eine wichtige Hilfe, da CAD- oder Expertensysteme, Datenbanken etc. in der Technomathematik genutzt werden.

Partner außerhalb der Hochschulen sind praktisch alle Betriebe, die technische Software benutzen. Dabei geht es nicht nur um sogenannte Hightech-Betriebe; in den letzten Jahren haben sich gerade Firmen mit einer bisher eher handwerklich geprägten Arbeitsweise als gute Kooperationspartner für Technomathematiker erwiesen. Auch auf nationalen und internationalen Konferenzen drängen Anwendungen der Mathematik bei Problemen der Textil-, Holz-, Papier-, Baumaschinen- und Nahrungsmittelindustrie in den Vordergrund. Dafür gibt es meines Erachtens einen einfachen Grund: Jene Branchen, die seit langem mit Simulation und Computeroptimierung arbeiten, sind weitgehend mit funktionierender Software ausgerüstet; Verbesserungen dieser Softwarepakete sind zwar möglich, werden aber von der Praxis wegen der Umstellungsmühen nicht leicht angenommen. Deshalb ergeben sich als Tätigkeitsfelder zum einen die Forschungsfront der Hightech-Bereiche (Halbleiter, Raumfahrt etc.), zum anderen aber vor allem jene Bereiche, die noch nicht für die Simulation erschlossen sind.

Am Ende von Forschungsprojekten der Technomathematik mit Partnern innerhalb und außerhalb der Hochschule steht meist Software - Software, die in der Entwicklung neuer oder besserer technischer Systeme eingesetzt wird (F&E-Software), Software, die der Steuerung und Automatisierung technischer Systeme dient und oft Bestandteil des Systems wird (Control Software) und schließlich Software, die der Überwachung und Qualitätskontrolle einschließlich Signal- und Bildverarbeitung (CAQ Software) dient. Diesen Anwendungsbereichen von Software sind typischerweise verschiedene mathematische Gebiete zugeordnet: Analytische und numerische Methoden für deterministische und stochastische Differential- und Integralgleichungen z.B. in F&E, kontroll- und systemtheoretische Verfahren für den Steuerungsbereich sowie Zeitreihenanalyse, Zuverlässigkeit, Bildverarbeitung und CAD für den letzten Bereich. Natürlich ist diese Aufzählung unvollständig und die Zuordnungen sind nicht eindeutig. Typisch für den F&E-Bereich sind Aufgabenstellungen aus "Computational Fluid Dynamics" (CFD), wo insbesondere der Bedarf an schnelleren und zuverlässigen Algorithmen, die modernen Rechnerarchitekturen entsprechen, sehr groß ist (hierfür gibt es in Bremen sowohl in der Produktionstechnologie und den Geowissenschaften der Universität, in vielen Forschungsinstituten (AWI) und z.B. in den Werften interessierte Partner). Für den kontrolltheoretischen Bereich sind Fachgebiete wie Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik an der Universität sowie die zahlreichen Meßdatenverarbeitungs-, Telekommunikations- und Automatisierungsfirmen im Bremer Raum natürliche Kooperationspartner; Qualitätskontrolle einschließlich der Auswertung von Meßreihen und Bildern wird in allen Bereichen benötigt und spielt eine immer größere Rolle.

Natürlich hängt die Realisierung gemeinsamer Forschungsprojekte von den Personen ab; ob ein gemeinsames Drittmittelprojekt in der Strukturmechanik, der Simulation von Meeresströmungen oder dem Design von Halbleitern zustande kommt, hängt an den persönlichen Interessen und Kenntnissen der Beteiligten.

Entscheidend für den Forschungsbereich Technomathematik ist, daß viele interdisziplinäre Projekte und viele Kooperationen mit Industriefirmen initiiert werden. Hierzu gibt es viele Ideen - einwöchige Bearbeitung technischer Probleme in der Form der berühmten "Oxford Study Group", Industrietage, Konsortien oder Arbeitskreise unter Beteiligung bzw. Führung von Kammern und Verbänden. Die Mathematiker müssen dazu auf jeden Fall den geschützten Fachbereich verlassen und den direkten Kontakt zu Kollegen anderer Disziplinen, vor allem aber zur Praxis suchen. Versendung von Forschungsberichten und Transferprospekten genügen sicher nicht. Eine wichtige Quelle von Kontakten sind Ausbildungsaktivitäten - Modellierungsseminare, Praktika und Diplomarbeiten -, auf die ich im nächsten Abschnitt eingehen werde.

II. Ziele und wesentliche Elemente des Studiengangs Technomathematik

Die Tätigkeit eines Mathematikers in der Industrie unterscheidet sich wesentlich von der eines Mathematikers an Schulen oder Hochschulen; eine Diskussion dazu findet sich z.B. in dem Bericht "SIAM presents preliminary Mathematics in Industry Findings" in SIAM NEWS vol 27, Nr. 10, Dec. 1994. Die klassische Mathematikausbildung hat darauf wenig Rücksicht genommen - sie ging eher von der Überzeugung aus, daß sich ein an der Mathematik geschultes Denken überall bewährt. Das ist auch nicht falsch; allerdings kann man dasselbe Ziel erreichen und gleichzeitig die anderen, für einen Industriemathematiker notwendigen Eigenschaften wie Fähigkeit zur Teamarbeit und zur Verständigung mit Nichtmathematikern, ein breitgestreutes wissenschaftliches Interesse, Kritikfähigkeit einüben: Genau das ist das Ziel des Studiengangs Technomathematik.

Die an sich triviale Entdeckung, daß wir in überwiegender Zahl "Industriemathematiker" ausbilden, hat uns in Kaiserslautern 1980 zur Einführung des Studiengangs veranlaßt (Wirtschaftsmathematik war schon vorher in Ulm eingeführt worden). Der Studiengang hat sich dann im deutschsprachigen Raum verbreitet, wobei er naturgemäß auf solche Hochschulen beschränkt bleibt, die technische Fächer anbieten. Heute gibt es Technomathematik an der TU Berlin, in Chemnitz, Clausthal-Zellerfeld, Darmstadt, Duisburg, Graz, Kaiserslautern, Karlsruhe, Linz, Paderborn und Siegen - Braunschweig, Dresden, Freiberg, Kiel und die TU München erwägen die Einführung. Auch in dem europäischen Netzwerk "European Consortium for Mathematics in Industry" (ECMI), das einen zweijährigen, postgraduierten Studiengang "Mathematics for Industry" etabliert hat, heißt der Hauptzweig heute "Technomathematics" und wird in Grenoble, Linz, Kaiserslautern, Eindhoven, Oxford, Mailand, Kopenhagen, Göteborg, Trondheim und Helsinki angeboten (in Linz und

Kaiserslautern sind diese 2 Jahre als 4. und 5. Jahr in den normalen Studiengang Technomathematik integriert). Das ECMI-Programm diente auch als Vorbild für ähnliche Aktivitäten in den USA, in Osteuropa und in Asien.

Das Wichtigste am Studium der Technomathematik ist der Geist, der sich in Studienplänen und Beschreibungen von Vorlesungsinhalten nur undeutlich spiegelt. Ich will trotzdem solche Daten angeben und den Geist der Ausbildung "exemplarisch" erläutern.

- Es gibt eine Absprache zwischen allen Hochschulen, die Technomathematik anbieten: Das Studium hat die drei Komponenten Mathematik - Anwendungsfach - Datenverarbeitung im Verhältnis 60:20:20.

- Als Anwendungsfächer kommen die oben bei der Forschung genannten Disziplinen in Frage, also Elektrotechnik, Produktionstechnik (Maschinenbau), Physik und z.B. Geowissenschaften. Die notwendigen Vorlesungen werden von den entsprechenden Fachbereichen angeboten, wobei auf Standardvorlesungen zurückgegriffen werden kann. Im Grundstudium können dies etwa 16 SWS Vorlesungen in der Elektrotechnik über Grundlagen der Elektrotechnik und über theoretische Elektrotechnik, im Maschinenbau über Mechanik und Einführung in Modalanalyse, Thermodynamik oder Strömungsmechanik, in Physik neben einer allgemeinen Einführung auch Grundlagen der theoretischen Physik (Mechanik, Elektrodynamik oder statistische Mechanik) sein. Die ebenfalls etwa 16 SWS im Hauptstudium hängen sehr viel mehr von den örtlichen Gegebenheiten ab - man kann sich dabei etwa in Nachrichtentechnik, Prozeßautomatisierung, Energietechnik, Halbleitertechnik oder in Meß- und Regelungstechnik, Strömungsdynamik, Strukturmechanik oder in nichtlinearer Optik, Oberflächenphysik, Lasertechnik etc. vertiefen. Ziel der Lehrveranstaltungen im Anwendungsfach ist es vor allem, die Denk- und Sprechweise des Fachs kennenzulernen: Ein Technomathematiker muß sprechfähig sein, er muß mit Ingenieuren und Naturwissenschaftlern über deren Probleme sprechen können, sonst kann er diese nicht mathematisch modellieren und seine mathematischen Ergebnisse nicht für die ursprüngliche Problemstellung interpretieren. Es kann also z.B. nicht die Absicht der etwa 32-40 Stunden Physikausbildung sein, "Schmalspurphysiker" auszubilden; wichtig ist das Verständnis grundlegender physikalischer Begriffe (Energie, Entropie etc.) und Denkweisen. Dasselbe gilt für alle Anwendungsfächer. Daher ist es auch nicht wichtig, solche Vorlesungen als "Service" für die Technomathematik auszuwählen, die als besonders mathematisch gelten; andererseits hat es aber auch wenig Sinn, reines Datenwissen zu vermitteln. Experimentelle Praktika in bescheidenem Umfang sind sinnvoll, sie spielen aber nicht dieselbe Rolle wie in den Fachausbildungen.

- In "Datenverarbeitung" soll gelehrt werden, das Werkzeug Computer intelligent zu nutzen; dies geschieht am besten, indem man geeignete Vorlesungen der Informatik auswählt. Hier stehen - neben einer Einführung in Informatik und in eine oder zwei Programmiersprachen - vor allem Vorlesungen und Praktika über Betriebssysteme, Netze, Datenbanken, Expertensysteme, Rechnerarchitekturen und CAD im Vordergrund. Klar ist, daß auch im Grundstudium ein Kurs zur Erlernung einer Programmiersprache als Informatikanteil nicht

genügt; ob es passende "Einführungen in die Informatik" für Informatiker oder etwa für Elektrotechniker gibt, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Hinsichtlich der Mathematikvorlesungen ist eine Aufteilung in Grund- und Hauptstudium notwendig. Die einführenden Vorlesungen in Analysis (einschließlich Vektoranalysis und grundlegender Kenntnisse in gewöhnlichen Differentialgleichungen) und linearer Algebra (etwa zwei Semester 4-stündig), in numerischer Mathematik und wenn möglich auch in Stochastik sind für Technomathematiker dieselben wie für "klassische" Mathematiker. Auch der "Geist" dieser Vorlesungen kann für beide Gruppen der gleiche sein: Technomathematiker müssen ebenfalls ihr Handwerk "von der Pike auf" lernen und zunächst mit der üblichen mathematischen Strenge erzogen werden; wenn andererseits die Dozenten in den Grundvorlesungen hin und wieder Anwendungsmöglichkeiten vorstellen, so schadet das den anderen Studenten nicht. Es ist ja eine oft gemachte Erfahrung, daß die Einbeziehung von Physikstudenten in die "normale" Mathematikausbildung einen wohltuenden Einfluß auf diese Ausbildung hat - zumindest dann, wenn die Hochschullehrer für solche Einflüsse offen sind; ähnliches gilt von der Verbindung von Technomathematik und "klassischer" Mathematik im Grundstudium.

Auch die Vorlesungen des 4. oder etwa 5. Semesters sind noch ähnlich: Technomathematiker brauchen etwa 4-stündige Einführungen in Funktionentheorie und in angewandte Funktionalanalysis. Hinzu kommen oft noch klassische 3-dimensionale Differentialgeometrie (als Voraussetzung für CAD) und/oder eine Algebravorlesung (z.B. Galoisfelder als Voraussetzung für Codierung); die beiden letztgenannten Vorlesungen werden sicher nicht überall in der Technomathematik angeboten und sollten in dieser Fachrichtung schon einen besonderen Zuschnitt haben. Man kann Vorlesungen unter diesen Titeln so anbieten, daß eine Anwendung nie in Sicht kommt (das hier oft vorgebrachte Argument, daß man ja nicht wisse, was in 50 Jahren anwendbar sei, halte ich für nicht ernsthaft: Es gibt ja schon heute erkennbare Anwendungen bestimmter Bereiche, und wenn einem die Anwendungen wirklich am Herzen liegen, ist man auf die vagen Möglichkeiten der Zukunft gar nicht angewiesen); man kann Differentialgeometrie und Algebra aber auch so gestalten, daß ihre Möglichkeiten in der Technik deutlich werden.

Als eine spezielle Lehrveranstaltung für Technomathematiker im Grundstudium hat sich das Proseminar erwiesen; hier kann man zum ersten Mal die Tragfähigkeit mathematischer Konzepte in technisch-naturwissenschaftlichen Fragestellungen erproben oder etwa die Brücken zwischen Differentialgeometrie und CAD schlagen.

Insgesamt unterscheidet sich das Grundstudium in Technomathematik nicht sehr stark von dem herkömmlichen Mathematikstudium. Vielleicht stellt es eine etwas höhere Belastung für den Studenten dar - dies ist aber von den Studenten bisher kaum als wirkliche Last empfunden worden.

Bei der Einführung des Studiengangs Technomathematik hat man sehr darauf geachtet, daß die Studenten nach dem Vordiplom ohne große Zeitverluste die Studiengänge wechseln können. In

der Tat macht beim Wechsel in die Technomathematik nur das zusätzliche Nebenfach Probleme. Dies bedeutet im ungünstigsten Fall eine Verlängerung um 2 Semester, in allen mir bekannten Fällen genügte ein Semester. Es hat sich allerdings erwiesen, daß die Vorsorge nicht notwendig war: Es gibt sehr wenige Wechsler zwischen den verschiedenen mathematischen Studiengängen - Studenten bleiben fast immer bei der zu Beginn des Studiums getroffenen Wahl. Wenn es einen Wechsel gibt, so eher zwischen Technomathematik und Physik bzw. Informatik - in beiden Richtungen, in Kaiserslautern mit einem leichten Plus für die Technomathematik.

Im Hauptstudium weist die Technomathematik nun allerdings sehr viel mehr charakteristische Züge auf. Hier hat auch der von ECMI organisierte zweijährige "Studienblock" sehr prägend gewirkt - indirekt auch auf solche Universitäten, die an diesem europäischen Netz nicht teilnehmen. Dies bedeutet, daß zunächst im 5. und 6. Semester die Voraussetzungen geschaffen werden müssen, die einen Eintritt in diesen dem Modellieren und dem Computing gewidmeten Block erst ermöglichen. Dabei muß man bedenken, daß etwa die holländischen oder italienischen Studenten diesen Block nach Abschluß ihres vierjährigen "klassischen" Mathematikstudiums beginnen - da gilt es in der Technomathematik im 3. Jahr die noch vorhandenen Lücken zu schließen, um diese europäische Herausforderung annehmen zu können.

Da finden sich zunächst meist noch Vorlesungen der Gruppe Funktionalanalysis, Funktionentheorie, Differentialgeometrie, Algebra, vielleicht auch Stochastik, die im Grundstudium noch nicht absolviert wurden. Vielleicht sind auch noch die gewöhnlichen Differentialgleichungen zu kurz gekommen und müssen ergänzt werden, erste einfache Fälle partieller Differentialgleichungen sollten behandelt werden, Fouriertransformationen etc. und numerische Techniken etwa zur Optimierung werden beleuchtet. Außerdem werden weitere Grundlagen des Anwendungsfaches und der Datenverarbeitung bereitgestellt. Es gibt in ECMI einen Stichwortkatalog, der die "Eintrittsvoraussetzungen" beschreibt, aber solche Kataloge sind nicht sehr aussagekräftig. Man muß wie gesagt die Voraussetzungen schaffen, um sich spätestens vom 7. Semester an ganz dem Modellieren und dem Auswerten der Modelle widmen zu können. Hier müssen nun die Vorlesungen zur asymptotischen Analysis (Störungstheorie, "averaging", Verzweigungen, Grenzschichten etc.) und zur Numerik insbesondere partieller Differentialgleichungen (Multigrid, Gebietszerlegung etc.) angeboten werden - sie findet man als "ECMI Kernkurse" unter dem Namen "Analytische und numerische Methoden für partielle Differentialgleichungen". Hinzu kommen "System- und Kontrolltheorie". Weitere Kernkurse im Umfang von etwa 2 Semesterwochenstunden sind fortgeschrittenen Methoden der Optimierung, der Stochastik und der diskreten Mathematik gewidmet - davon ist in Kaiserslautern aber schon einiges in den vorhergehenden Semestern erledigt. Dazu kommen dann "Spezialkurse" z.B. über "Computational Fluid Dynamics" oder "Computational Mechanics", "Inverse Probleme", "Bildverarbeitung", H^∞ -Theorie, "Neuronale

Netze" etc., die natürlich von den örtlichen Gegebenheiten und den Partnern innerhalb und außerhalb der Hochschule abhängen.

Ganz wichtig sind in diesem Studienabschnitt die Modellierungsseminare - im allgemeinen wird die Teilnahme an zwei solchen Seminaren erwartet. Zu Beginn dieser Seminare werden Probleme aus dem Anwendungsfach oder aus der industriellen Praxis in nichtmathematischer Form den Teilnehmern vorgestellt; man kann dabei eine Situation aus dem Berufsleben eines Mathematikers simulieren, indem der "Chef", der nicht an Mathematik, sondern an der Lösung eines praktischen Problems interessiert ist, eine solche Aufgabe stellt. Es ist hier natürlich entscheidend, daß Kontakte zum Anwender und zur Industrie bestehen - "echte" Probleme stellen für die Studenten einen viel größeren Reiz dar als solche, die aus der Literatur übernommen werden (wo sie auch meist schon gelöst sind). Die Studenten arbeiten dann in Gruppen zu 3-5 während des Semesters an jeweils einem Problem unter der Anleitung eines Professors oder Assistenten, wobei der Betreuer aber möglichst wenig eingreift und den Studenten so originelle Lösungen ermöglicht. Es ist günstig, wenn diese Teams interdisziplinär besetzt sind, d.h. auch ein Student des Anwendungsfachs oder der Informatik teilnimmt; so wird Kommunikation gelernt und die Gruppe hat leichteren Zugang zur Fachliteratur, die sie zum Modellieren braucht. Dann müssen die Modelle analytisch und numerisch ausgewertet und die Ergebnisse visualisiert und interpretiert werden. Während des Semesters geben die Gruppen dem Gesamtseminar Zwischenberichte und am Ende ist in mündlicher und schriftlicher Form ein Abschlußbericht fällig, der auch den "Auftraggeber" von der Qualität der erzielten Lösung überzeugen soll. Diese schriftliche und mündliche Berichterstattung ist ein wesentliches Element im Seminarablauf - auch Mathematiker müssen lernen, ihre Arbeit und ihre Ergebnisse ordentlich und verständlich darzustellen. Natürlich bedeuten Modellierungsseminare einen beträchtlichen Arbeitsaufwand für Studenten und Betreuer - aber da er sich für beide Teile sowohl pädagogisch wie auch forschungsmäßig sehr lohnt, wird er letztlich gerne geleistet. Man muß allerdings eine Anfangsscheu der Studenten überwinden; dazu können "Modellierungsvorlesungen" dienen, die zwar Seminare auf keinen Fall ersetzen, aber den Studenten eine Vorstellung von dem vermitteln, was auf sie zukommt. Wir benutzen solche Vorlesungen, um unsere Projekte für die Lehre aufzubereiten, haben allerdings erst in letzter Zeit damit begonnen.

Zu den bisher beschriebenen Lehrveranstaltungen kommen noch Gastvorlesungen und Kompaktkurse: Da ein Fachbereich selten die gesamte Breite der benötigten Mathematik überdeckt - Technomathematiker sind mathematische Generalisten - organisiert man im europäischen Verbund in den vorlesungsfreien Zeiten Kompaktwochen, in denen ein besonders interessantes Thema von 1 bis 3 auswärtigen Experten dargestellt wird (z.B. "Mathematische Methoden in der Akustik" oder "Fuzzy Control" oder "Parallele Algorithmen"). Man kann etwa 2-4 solcher Kompaktkurse pro Jahr veranstalten. Für Gastvorlesungen sollte man Dozenten aus der Praxis gewinnen; dabei haben sich Vorlesungsreihen, die von verschiedenen Dozenten einer Firma oder eines Instituts unter Titeln wie "Mathematische Probleme in der

Automobilindustrie" oder "Mathematische Probleme in der Medizintechnik" etc. gestaltet werden, als sehr erfolgreich erwiesen. Einzelvorträge von Mathematikern aus Firmen haben sehr unterschiedliche Qualität, können sehr informativ aber auch sehr irreführend sein.

Man kann aus den obigen Ausführungen erkennen, daß das Hauptstudium der Technomathematik deutlich von dem der klassischen Mathematik abweicht. Während wir den Studenten im Anwendungsfach und in der Informatik größere Freiheit einräumen - schließlich hängt das Studium in diesen Fächern von dem Angebot anderer Fachbereiche ab und es kann ohnehin nur paradigmatisch sein, so daß die notwendige Schwerpunktbildung den Studenten überlassen wird (in Informatik haben sich bei uns ein Zyklus zur CAD oder Datenbanken oder Expertensysteme als bevorzugte Schwerpunkte erwiesen) - ist der Mathematikanteil deutlich strukturiert und unterscheidet sich in Thematik und Geist doch von der üblichen Mathematikausbildung. Dies wird, wie schon erwähnt, verstärkt durch das ECMI-Programm: Wir schicken die Teilnehmer an dem ECMI-Block (etwa die Hälfte aller Technomathematiker - sie bewerben sich um die Teilnahme und werden nach Leistungen ausgewählt) für jeweils ein Semester an eine Partneruniversität und empfangen daher auch Studenten von diesen Partnern; dies macht ein regelmäßiges Angebot im Kernbereich und bei den Modellierungsseminaren notwendig. Die Studenten gewinnen damit auch die Sicherheit, daß die wichtigsten Lehrveranstaltungen jährlich durchgeführt werden.

Abschluß des Technomathematikstudiums ist natürlich die Diplomarbeit, die je nach Land 6 bis 12 Monate dauern kann. Wir beginnen damit spätestens zu Beginn des 9. Semesters und halten uns an 12 Monate einschließlich der Einarbeitungszeit. Die ideale Diplomarbeit beschäftigt sich mit einem Problem aus der industriellen Praxis: Das Thema wird zwischen dem Firmenvertreter und dem mathematischen Betreuer an der Hochschule vereinbart und der Student dann einige Monate an der Universität theoretisch vorbereitet (durch Literaturstudium etc.); dann verbringt der Student etwa 3-4 Monate in der Firma (meistens als Werkstudent) und beendet dann in den letzten Monaten die Arbeit wieder an der Hochschule. Anders als oft bei Ingenieuren üblich, ist der verantwortliche Betreuer ein Mathematiker an der Hochschule. Natürlich kann ein ähnliches Schema auch mit anderen Instituten der Hochschule praktiziert werden - die TU Karlsruhe und die TH Darmstadt bevorzugen z.B. diese Lösung. Der direkte Kontakt zu einer Firma erhöht zwar den Druck, daß die Arbeit auch Nutzen für diese Firma hat, verbessert aber den Kontakt zwischen Firma und Hochschule und letztlich auch die Chancen des Absolventen. Praktika ohne Bezug zu einer Diplomarbeit werden an einigen Hochschulen sehr empfohlen und auch vermittelt, andere helfen zwar bei der Suche nach Praktikaplätzen, ohne dies zu forcieren.

Das Technomathematikstudium ist - ich hoffe, daß dies aus den Ausführungen hervorgeht - ein praxisbezogener Studiengang, der allerdings an den Fachbereich und den Studenten hohe Anforderungen stellt. Vorstellungen, die im politischen Raum insbesondere in NRW auftraten und die das Studium als geeignet für Fachhochschulen oder für Kurzzeitstudiengänge an

Gesamthochschulen ansahen, sind mittlerweile (auch von der zuständigen Ministerin in NRW) als absurd erkannt worden und deshalb auch verschwunden. Technomathematik ist ein breites Studium, das Generalisten hervorbringt. Es gibt eine Empfehlung der GAMM, diesen Studiengang an allen Hochschulen mit technischen Fächern einzuführen. Seinen Erfolg verdankt er möglicherweise der Tatsache, daß Technomathematik die ursprünglichen Ideen des Diplommathematikers, die in den 50 Jahren seit seiner Einführung etwas aus dem Blick geraten sind, wieder realisiert.

Ich hoffe, daß die vorstehenden Ausführungen auch deutlich gemacht haben, daß Technomathematik ein eigenständiger Studiengang und keine Vertiefungsrichtung sein soll. Man kann dafür noch folgende Argumente anführen:

1. Ein eigenständiger Studiengang hat eine wesentlich deutlichere Ausstrahlung sowohl für die Studierwilligen (man besucht eine Universität nicht, weil es dort eine besondere Vertiefungsrichtung gibt, sondern wegen eines besonderen Studiengangs) als auch für die Abnehmer der Absolventen (man sucht heute schon in Annoncen Diplom-Technomathematiker).
2. Sowohl Studenten wie auch Dozenten identifizieren sich eher mit einem Studiengang als mit einer Vertiefungsrichtung; es hat sich an den anderen Universitäten gezeigt, daß die Studenten sich sehr wohl für ihren Studiengang engagieren und daß die für den Studiengang verantwortlichen Dozenten diese Verantwortung auch wirklich wahrnehmen.
3. Der Studiengang existiert an vielen Universitäten und diese haben sich zu einem Verbund zum Austausch von Erfahrungen und zur Abwehr von Verfälschungen der Grundideen zusammengeschlossen; eine Vertiefungsrichtung kann am Verbund nicht teilnehmen.
4. Auch eine Teilnahme an dem europäischen Netz ist nur für Studiengänge, nicht für Vertiefungsrichtungen möglich.
5. Im allgemeinen nehmen auch die Ministerien Studiengänge wesentlich ernster als Vertiefungsrichtungen.

Nimmt man diese Proargumente zusammen und bedenkt, daß sich der Aufwand dafür doch im überschaubaren Rahmen hält, so kann die Wahl eigentlich kaum zweifelhaft sein. So ist es zu erklären, daß bisher kein Fachbereich in Deutschland bzw. Österreich die "Minimallösung" Vertiefungsrichtung Technomathematik gewählt hat.

III. Die Verbindung mit der Praxis und mit anderen Disziplinen

In den meisten Abschnitten habe ich bereits die vielfältigen Möglichkeiten einer Praxisverbindung vorgestellt; ich will diesen Aspekt hier nur nochmals kurz zusammenstellen. Es ist klar, daß in diesem Feld die Verbindung von Forschung und Lehre besonders eng ist: Wer keine Forschungsk Kooperationen mit der Praxis hat, kann keine Modellierungsseminare und Diplomarbeiten wie in II. beschrieben betreuen. Umgekehrt verstärken solche Lehrveranstaltungen den Kontakt mit dem Partner und regen verstärkte Forschungsk Kooperationen an. Deshalb ist nur der Start schwierig - später laufen diese Dinge von selbst. Für den Start schlage ich vor

1. Informationsveranstaltungen, die von der Handelskammer oder ähnlichen Verbänden organisiert werden und in denen Firmen Probleme, Mathematiker ihr anwendbares Wissen vorstellen (hier bedarf es pädagogischen Geschicks und guten Willens von beiden Seiten).
2. Kontaktaufnahme mit Hilfe eines Partners aus dem Anwendungsfach; dazu muß allerdings schon eine gute Zusammenarbeit zwischen dem Partner und dem Mathematiker bestehen - ohne Vertrauen wird der Anwender den Mathematiker nicht in einen Firmenkontakt einbeziehen.
3. Firmenbesuche von einzelnen Mathematikern oder von Mathematikerteams; hier muß man natürlich zunächst offen für jede Problemstellung sein - wer nur nach Anwendungen seines Spezialgebiets sucht, wird kaum Erfolg haben. Es ist allerdings erstaunlich, wie oft man findet, wonach man sucht: Es gibt so viele Probleme in der Praxis und die Modelle sind ja nicht eindeutig - auch durch enge Filter fallen so immer wieder passende Aufgabenstellungen. "No man sees what things are that knows not what they ought to be." (J. Richardson, 1715)
4. Industrietage sind erweiterte Informationsveranstaltungen, in denen auch auswärtige Kollegen ihre Erfahrungen und Projekte vorstellen können.

Wichtig ist - ich muß das immer wieder betonen -, daß die Mathematiker offen für Fragen aller Art sind; sie müssen zunächst als mathematische Generalisten arbeiten - nach einiger Zeit wird dann auch das Spezialgebiet wieder zur Geltung kommen, wenn auch oft in etwas veränderter Form.

Was macht man mit den identifizierten Problemen?

Einige (wenige) werden zu schwer sein - hochturbulente Strömungen in gekrümmten Rohren kann man noch nicht zuverlässig rechnen. Einige sind aber vielleicht nur außerhalb der Kompetenz des Problemfinders - er soll sich im Fachbereich oder in Netzwerken (wie ECMI) nach Spezialisten umsehen und das Problem weitervermitteln.

Einige sind leicht: Man kann sie meist immer noch in Modellierungsseminaren verwenden (wir organisieren Modellierungswochen für sehr gute Schüler der 12. Jahrgangsstufe an Gymnasien - da hat man viel Bedarf an "leichten" Problemen, wobei die Modellierung selbst oft gar nicht so einfach ist).

Etwas schwierigere Probleme passen für Diplomarbeiten - falls sie nicht unter Zeitdruck stehen.

Komplexe oder drängende Probleme sollte man in Kooperationsprojekten bearbeiten: Sie sind Quelle von Drittmitteln, die zu Beginn oft allerdings zu spärlich und vor allem zu unregelmäßig fließen, um junge Wissenschaftler dafür einzustellen. Hier ist eine Starthilfe durch die öffentliche Hand absolut nötig und auch lohnend.

Ein Stichwort betrifft eine weitere, vielversprechende Methode zur Kontaktaufnahme mit der Praxis: "Weiterbildung". Es gibt viele Untersuchungen, die nachweisen, daß der Quartärbereich, die Modernisierung wissenschaftlicher Kenntnisse von Menschen im Beruf, ein wichtiges Zukunftsfeld für Hochschulen ist. Die Begründung leuchtet vollkommen ein: Die oft atemberaubende Geschwindigkeit, mit der die wissenschaftliche Forschung und die mit ihr verbundene technologische Entwicklung in vielen Bereichen fortschreitet, führt dazu, daß Hochschulwissen, das vor 10-20 Jahren erworben wurde, schon veraltet ist; Weiterbildung hat neben einer emanzipatorischen Funktion schlicht die Aufgabe der "Nachbesserung".

Da gibt es im Prinzip auch viel für Mathematiker zu tun, sei es in "Modebereichen" wie Fuzzy Logik oder Neuroinformatik oder im Bereich der Verbesserung von Algorithmen; wir haben in ECMI und insbesondere in Kaiserslautern in den letzten Jahren viele Anstrengungen in dieser Richtung unternommen - mit sehr bescheidenem Erfolg. Ich glaube heute, daß nur 2 Formen der mathematischen Weiterbildung Aussicht auf Erfolg haben:

- (a) Kompaktseminare, in denen die praxisrelevanten Aspekte eines neuen Begriffs oder einer neuen Methode leicht verständlich dargestellt werden.
- (b) Aufbaustudiengänge, die in Abend- und Wochenendkursen zu einer verbesserten Berufsqualifikation führen.

Nicht so aussichtsreich sind etwa Weiterbildungswochen, in denen man ein bestimmtes Thema ordentlich abhandeln könnte: Es gibt zu wenige Firmen, die an den Nutzen solcher mathematischer Fortbildung ihrer Mitarbeiter glauben - und es gibt zu wenige Mitarbeiter, die etwa ihren Bildungsurlaub der Mathematik widmen wollen. Natürlich kann man hin und wieder

auch dreitägige Kurse z.B. über "Wavelets" durchführen und findet 10-20 Teilnehmer aus der Industrie - der relativ große Aufwand auf Seiten der Dozenten würde sich aber nur lohnen, wenn sich eine solche Veranstaltung regelmäßig wiederholen ließe. Der einzige mir bekannte Fall mit mehreren Wiederholungen war ein zweitägiger Kurs in Finanzmathematik zum Thema "Option pricing", der von Oxford in GB sehr oft mit 25 Teilnehmern veranstaltet wurde; allerdings hatte derselbe Kurs (mit den gleichen Dozenten) in Deutschland keinen Erfolg.

In Aufbaustudiengängen mit Berufsqualifikation kann Mathematik wohl selten die tragende Rolle spielen; es ist mir bisher kein solcher Studiengang bekannt, in dem dies der Fall wäre. In sehr erfolgreichen Ansätzen wie etwa Medizintechnik spielt Mathematik bisher nur eine bescheidene Servicerolle. Man könnte daran denken, die Ausbildung zum "mathematisch-technischen Assistenten" neu zu gestalten und auszubauen, aber dazu gibt es bisher nur Vorüberlegungen.

Kurzseminare als Weiterbildungsveranstaltung können kombiniert werden mit einem Service der Technomathematiker für andere Fachbereiche, den ich jetzt diskutieren will.

Servicevorlesungen für Naturwissenschaftler, Wirtschaftswissenschaftler, Informatiker, Ingenieure etc. stellen eine wichtige (in Ländern wie Schweden fast die einzige) Lehraufgabe mathematischer Fachbereiche dar. Als Kunden eines solchen Services kommen die Studenten nahezu aller Fachrichtungen infrage, aber ich beschränke mich hier, da es um Technomathematik geht, auf Ingenieure und Naturwissenschaftler. Im Grundstudium laufen diese Lehrveranstaltungen oft unter dem Namen "Höhere Mathematik I-IV" o.ä. und umfassen typischerweise 24 SWS oder etwas weniger; damit übernimmt die Mathematik einen ansehnlichen Prozentsatz der Ausbildung dieser Studenten (der an vielen Hochschulen der Mathematik nicht in vollem Umfang gutgeschrieben wird). Es ist vielerorts Tradition, daß dieser "HM-Service" reihum von nahezu allen Mathematikern übernommen wird. Natürlich ist dies nicht die optimale Lösung: Es wäre wünschenswert, daß die Mathematikdozenten über die Probleme, die ihre Studenten mit der von ihnen gelehrt Mathematik lösen wollen, Bescheid wissen. Die Idee, daß Mathematik "in ihrer eigenen Logik" auch für Anwender ohne Beachtung der Anwendungen gelehrt werden soll, ist sicher nicht zu halten. Technomathematiker wären also die geeigneten Dozenten für diese HM-Veranstaltungen. Dies würde aber vermutlich zu einer extrem unterschiedlichen Lehrbelastung innerhalb der Gruppe der Mathematiker führen; deshalb ist es heute und in absehbarer Zukunft absolut notwendig, diese Aufgabe auf möglichst viele Dozenten zu verteilen. Allerdings sollen jene Dozenten, die gute Kontakte zu den Anwendungsbereichen haben - und das sind sicher auch und vor allem die Technomathematiker - diese Kontakte nutzen, um eine bessere und eine fortlaufend sich verbessernde Anpassung der mathematischen Lehre an die Bedürfnisse der Anwendung zu bewirken. Was ich damit meine, können vielleicht 3 kurze Beispiele erläutern: Ich halte es nicht für wichtig, daß Ingenieure die vollständige Induktion ausführlich üben - dagegen sollten Ingenieure wissen, daß rekursive Folgen überall auftreten und sehr unterschiedliches Verhalten zeigen; man sollte nicht über den Satz über inverse Funktionen sprechen, ohne das

mehrdimensionale Newtonverfahren zu besprechen; man sollte Konzepte der linearen Algebra anhand einfacher Fragestellungen über Zustandsraummodelle der Kontrolltheorie erläutern.

Eine Kommission, bestehend aus Industrievertretern und Hochschullehrern, die sich mit der Grundausbildung der Elektrotechniker befaßten, hat bzgl. der Mathematik die Forderung erhoben, numerische Methoden in die HM-Ausbildung zu integrieren. Die Lösung von Integrationsaufgaben etwa mit Mathematica können kurz geübt werden, stellen nach meiner Auffassung aber keine zentrale Aufgabe der Mathematikausbildung dar.

In diesem Bereich können also Technomathematiker eine Vorreiterrolle übernehmen, die auch hier notwendige Kopplung von Forschung und Lehre herstellen und Impulse für eine fortlaufende Verbesserung und Modernisierung der Lehre aller Mathematikdozenten geben. Ob man dies organisatorisch verankert oder durch ein kollegiales Miteinander regelt, hängt von der speziellen Situation ab; man kann selbstverständlich einzelnen Personen oder kleinen Kommissionen die Verantwortung für die Gestaltung der HM in enger Verbindung mit den Anwendern übertragen - hier läge dann sicher eine Aufgabe für Technomathematiker.

Eine genuin "technomathematische" Aufgabe stellten mathematische Vorlesungen im Hauptstudium der Ingenieure dar; doch obwohl solche aus mancherlei Gründen sehr vorteilhaft wären, sind sie bisher in sehr geringem Umfang realisiert. Mehr als eine 4-stündige Vorlesung etwa über Numerik und/oder Stochastik gibt es fast nirgends: Die Kollegen der Ingenieurfächer sehen i.a. keine Möglichkeit, Pflichtstunden für die Mathematik freizumachen - und freiwillige Vorlesungen finden wenig Resonanz in Fächern, die stundenmäßig relativ hoch belastet sind. Man sollte also versuchen, noch die eine oder andere zweistündige Vorlesung zu technomathematischen Themen in die Stundenpläne zu integrieren - einen großen Durchbruch kann man hier nicht erwarten.

Dies wird anders, wenn man jene Ingenieure anspricht, die in ihrer täglichen Arbeit mit mathematischen Problemen konfrontiert werden: Ich denke vor allem an Diplomanden und Doktoranden, Assistenten und Kollegen in den Ingenieurwissenschaften. Es ist ja keine Frage, daß die Arbeit eines Ingenieurs heute in bedeutendem Umfang aus Simulation und Optimierung besteht; und obwohl hierfür meist fertige Softwarepakete benutzt werden, wächst der Bedarf an Hintergrundwissen stark. Diese Interessenlage ist an der Hochschule und in der Praxis ähnlich. Mein Vorschlag ist daher, daß Technomathematiker in enger Abstimmung mit den Anwendern ein System der oben erwähnten Kompaktseminare entwickeln. Solche Seminare, die etwa einen ganzen Tag füllen können, wären z.B. verschiedenen numerischen Aspekten der Berechnung von Wärmeübergängen gewidmet; ein Seminar könnte neuere Entwicklungen von FEM-Methoden beschreiben, ein anderes auf Multigrid eingehen, ein drittes über parallele Algorithmen in diesem Bereich, ein weiteres über Methoden zur Berechnung von Strahlungstransport berichten. Dazu müssen natürlich auch Dozenten aus den Ingenieurwissenschaften, aus Softwarehäusern und aus F&E-Abteilungen gewonnen werden. Der Aufbau solcher einem Themenbereich gewidmeten, aber voneinander relativ unabhängiger (um jederzeit Ein- und Ausstieg zu ermöglichen) Kompaktseminare stellt ein wichtiges Angebot der

Technomathematiker an die Anwender dar und könnte ein Problem verringern, auf das der Forschungschef von Daimler-Benz, Prof. H. Weule, in einem Brief an mich hinwies: "Voraussetzung für einen breiteren Einsatz mathematischer Methoden in der Industrie ist aus meiner Sicht, daß sich die Hochschulen zunehmend in ihrer Arbeit auf industrielle Belange konzentrieren und daß andererseits die Industrie den Dialog mit der Wissenschaft verstärkt sucht. Letzteres wird dadurch erschwert, daß Ingenieure in ihrer mathematischen Ausbildung nur wenig darüber erfahren, wie durch Einsatz mathematischer Methoden reale Probleme gelöst werden können. Dies erkennen die Ingenieure erst im späteren Verlauf der Ausbildung - meistens zu spät. So ist es mir ergangen und nach vielen Kontakten mit jungen Ingenieuren habe ich den Eindruck gewonnen, daß es heute in großem Umfang auch noch so ist."

Es ist allerdings hier an der Zeit, darauf hinzuweisen, daß auch Technomathematiker nur beschränkt belastbar sind: Aufbau und Durchführung eines Studiengangs Technomathematik, Pflege der Kontakte und Forschungskooperationen mit der Praxis, Koordinierung der HM-Grundausbildung und Entwicklung eines Systems von Kompaktseminaren zur Fort- und Weiterbildung - das alles kann nur geleistet werden, wenn dafür erfahrene und begeisterte Kollegen zur Verfügung stehen, die von Land, Hochschule und Wirtschaft vielerlei Hilfe erhalten.

FOLGENDE BERICHTE SIND ERSCHIENEN:

- 1983**
- Nr. 1 FORSCHUNG
W.G. Eschmann und Ralph Götz
Optimierung von Gelenksehnen
- 1984**
- Nr. 2 WEITERBILDUNG
H. Neunzert, M. Schulz-Reese
Mathematische Weiterbildung
- Nr. 3 FORSCHUNG
W. Krüger
The Trippstadt Problem
- Nr. 4 WEITERBILDUNG
H. Neunzert, M. Schulz-Reese, K.E. Hoffmann
Mathematics in the University and Mathematics in Industry - Complement or Contrast?
- Nr. 5 FORSCHUNG
A.K. Louis
The Limited Angle Problem in Computerized Tomography
- Nr. 6 FORSCHUNG
W. Krüger
Regression für Ellipsen in achsenparalleler Lage
- Nr. 7 FORSCHUNG
Th. Mietzner
Umströmung von Ecken und Kanten, Teil 1
- 1985**
- Nr. 8 FORSCHUNG
W. Krüger, J. Petersen
Simulation und Extrapolation von Rainflow-Matrizen
- Nr. 9 FORSCHUNG
W. Krüger, M. Scheutzw u. A. Beste, J. Petersen
Markov- und Rainflow-Rekonstruktionen stochastischer Beanspruchungszeitfunktionen
- Nr. 10 FORSCHUNG
Th. Mietzner
Umströmung von Ecken und Kanten, Teil 2
- Nr. 11 FORSCHUNG
H. Ploss
Simulationsmethoden zur Lösung der Boltzmann-Gleichung
- 1986**
- Nr. 12 FORSCHUNG
M. Keul
Mathematische Modelle für das Zeitverhalten stochastischer Beanspruchungszeitfunktionen
- Nr. 13 AUSBILDUNG
W. Krüger, H. Neunzert, M. Schulz-Reese
Fundamentals of Identification of Time Series
- Nr. 14 FORSCHUNG
H. Moock
Ein mathematisches Verfahren zur Optimierung von Nocken
- Nr. 15 FORSCHUNG
F.-J. Pfreundt
Berechnung und Optimierung des Energiegewinnes bei Anlagen zur Luftherwärmung mittels Erdkanal
- Nr. 16 FORSCHUNG
F.-J. Pfreundt
Berechnung einer 2-dimensionalen Kanalströmung mit parallel eingeblasener Luft
- Nr. 17 FORSCHUNG
G. Alessandrini
Some remarks on a problem of sound measurements from incomplete data
- Nr. 18 AUSBILDUNG
W. Diedrich
Einfluß eines Latentwärmespeichers auf den Wärmefluß durch eine Ziegelwand
- Nr. 19 FORSCHUNG
M. Stöhr
Der Kalman-Filter und seine Fehlerprozesse unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkung von Modellfehlern
- Nr. 20 FORSCHUNG
H. Babovsky
Berechnung des Schalldrucks im Innern eines Quaders
- Nr. 21 FORSCHUNG
W.G. Eschmann
Toleranzuntersuchungen für Druckmessgeräte
- 1987**
- Nr. 22 FORSCHUNG
G. Schneider
Stratification of solids, a new perspective in three dimensional computer aided design
- Nr. 23 FORSCHUNG
H.-G. Stark
Identifikation von Amplituden und Phasensprüngen im Intensitätsverlauf eines Nd-YAG Festkörperlaser
- Nr. 24 FORSCHUNG
M. Scheutzw
Einfache Verfahren zur Planung und Auswertung von Navigationsversuchsfahrten
- Nr. 25 FORSCHUNG
G.R. Dargahi-Noubary
A Parametric Solution for Simple Stress-Strength Model of Failure with an Application
- Nr. 26 FORSCHUNG
U. Helmke, D. Prätzel-Wolters
Stability and Robustness Properties of Universal Adaptive Controllers for First Order Linear Systems
- Nr. 27 FORSCHUNG
G. Christmann
Zeitreihen und Modalanalyse
- 1988**
- Nr. 28 FORSCHUNG
H. Neunzert, B. Wetton
Pattern recognition using measure space metrics
- Nr. 29 FORSCHUNG
G. Steinebach
Semi-implizite Einschrittverfahren zur numerischen Lösung differential-algebraischer Gleichungen technischer Modelle
- Nr. 30 FORSCHUNG
M. Brokate
Properties of the Preisach Model for Hysteresis

Nr. 31 FORSCHUNG
H.-G. Stark, H. Trinkaus, Ch. Jansson
The Simulation of the Charge Cycle in a Cylinder of a Combustion Engine

Nr. 32 FORSCHUNG
H. Babovsky, F. Gropengießer, H. Neunzert,
J. Struckmeier, B. Wiesen
Low Discrepancy Methods for the Boltzmann Equation

Nr. 33 FORSCHUNG
M. Brokate
Some BV properties of the Preisach hysteresis operator

1989

Nr. 34 FORSCHUNG
H. Neunzert
Industrial Mathematics: General Remarks and Some Case Studies

Nr. 35 FORSCHUNG
M. Brokate
On a Characterization of the Preisach Model for Hysteresis

Nr. 36 FORSCHUNG
C.-P. Fritzen, P. Hackh
Optimization of a Spring for Dental Attachments

Nr. 37 FORSCHUNG
U. Helmke, D. Prätzel-Wolters, S. Schmid
Adaptive Synchronization of Interconnected Linear Systems

Nr. 38 FORSCHUNG
U. Helmke, D. Prätzel-Wolters, S. Schmid
Sufficient Conditions for Adaptive Stabilization and Tracking

Nr. 39 FORSCHUNG
U. Helmke, D. Prätzel-Wolters, S. Schmid
Adaptive Tracking for Scalar Minimum Phase Systems

Nr. 40 FORSCHUNG
F.-J. Pfreundt
Nähen als dynamisches System

1990

Nr. 41 FORSCHUNG
H.-G. Stark
Multiscale Analysis, Wavelets and Texture Quality

Nr. 42 FORSCHUNG
I. Einhorn, H. Mook
A Deterministic Particle Method for the Simulation of the Boltzmann Transport Equation of Semiconductors

Nr. 43 FORSCHUNG
F. Gropengießer, H. Neunzert, J. Struckmeier
Computational Methods for the Boltzmann Equation

Nr. 44 FORSCHUNG
S. Nikitin, S. Schmid
Universal Adaptive Stabilizers for One-Dimensional Nonlinear Systems

Nr. 45 FORSCHUNG
P. Hackh
Quality Control of Artificial Fabrics

Nr. 46 FORSCHUNG
S. Körber, B. Wiesen
A Comparison of a Microscopic and a Phenomenological Model for a Polyatomic Gas

Nr. 47 FORSCHUNG
F. Gropengießer, H. Neunzert, J. Struckmeier,
B. Wiesen
Several Computer Studies on Boltzmann Flows in Connection with Space Flight Problems

Nr. 48 FORSCHUNG
M. Brokate
Some Remarks on the Discretization of the Preisach Operator

Nr. 49 FORSCHUNG
M. Brokate
On the Moving Preisach Model

1991

Nr. 50 FORSCHUNG
W. Wagner
A Stochastic Particle System Associated with the Spatially Inhomogeneous Boltzmann Equation

Nr. 51 AUSBILDUNG
I.M. Sobol
Punkte, die einen mehrdimensionalen Würfel gleichmäßig ausfüllen

Nr. 52 FORSCHUNG
M. Brokate, A.H. Siddiqi
Sensitivity in the Rigid Punch Problem

Nr. 53 FORSCHUNG
S. Nikitin, D. Prätzel-Wolters
Multiparameter, Polynomial Adaptive Stabilizers

Nr. 54 FORSCHUNG
S. Schmid, D. Prätzel-Wolters
Synchronization through System Interconnections

Nr. 55 FORSCHUNG
D. Prätzel-Wolters, R.D. Reinke
Simple Adaptive Control of a Discrete Almost Strict Positive Real Heat Treatment System

Nr. 56 FORSCHUNG
S. Chen, D. Prätzel-Wolters
Modelling and Controller Design for Heat Treatment Processing of Enamelled Wires

Nr. 57 FORSCHUNG
B. Wiesen
On the Dependence of the Solution of Generalized Boltzmann Equation on the Scattering Cross Section: The Inverse Problem

Nr. 58 FORSCHUNG
G. Engl, R. Rösch
Studien zum Programmsystem PROM (Berechnung des instationären Ladungswechsels von zündenden Mehrzylinder- Verbrennungsmotoren)

Nr. 59 FORSCHUNG
J. Hoffmann, D. Prätzel-Wolters
Controllability Tests for Behaviour Systems in AR-Representations

Nr. 60 FORSCHUNG
M. Bäcker, H. Neunzert, S. Sundar, S. Younis
A 2-D Kaniel Kinetic Scheme for the Isentropic Compressible Flow

Nr. 61 FORSCHUNG
F.-J. Pfreundt, J. Struckmeier
On the Efficiency of Simulation Methods for the Boltzmann Equation on Parallel Computers

Nr. 62 FORSCHUNG
M. Schreiner
Weighted particles in the finite pointset method

- Nr. 63 FORSCHUNG
D. Prätzel-Wolters, R. Reinke
Discrete Positive Real Systems and High Gain Stability
- Nr. 64 FORSCHUNG
J. Hoffmann, D. Prätzel-Wolters
Dipolynomial minimal bases and linear systems in AR-representation
- Nr. 65 FORSCHUNG
P. Krejci
Global behaviour of solutions to the wave equations with hysteresis
- Nr. 66 FORSCHUNG
P. Krejci
Asymptotic stability of periodic solutions to the wave equations with hysteresis
- Nr. 67 FORSCHUNG
J. Hoffmann, D. Prätzel-Wolters
Controllability indices for Behaviour Systems in AR-Representations
- 1992
- Nr. 68 FORSCHUNG
S. Nikitin
Stabilizability of Nonlinear Systems
- Nr. 69 FORSCHUNG
S. Nikitin
Decoupling Normalizing Transformation and Local Stabilization of Nonlinear Systems
- Nr. 70 FORSCHUNG
R. Illner, W. Wagner
A Random Discrete Velocity Model and Approximation of the Boltzmann Equation
- Nr. 71 FORSCHUNG
L. Arkeryd, R. Illner
The Broadwell Model in a Box: Strong L1-Convergence to Equilibrium
- Nr. 72 FORSCHUNG
J. Weickert
A Mathematical Model for Diffusion and Exchange Phenomena in Ultra Napkins
- Nr. 73 FORSCHUNG
S. Rjasanow
Optimierung einer doppelwandigen Rohrleitung
- Nr. 74 FORSCHUNG
M. Brokate, K. Dressler, P. Krejci
On the Mróz Model
- Nr. 75 FORSCHUNG
S. Nikitin
Sensitivity of Luenberger observers, ϵ -observability and uncertainty relations
- Nr. 76 FORSCHUNG
M. Brokate, J. Theel
Some numerical simulations of pseudoelastic hysteresis in shape memory alloys
- Nr. 77 FORSCHUNG
S. Nikitin, A. Ilchmann, D. Prätzel-Wolters
Multiparameter, polynomial adaptive tracking for minimum phase systems
- Nr. 78 FORSCHUNG
S. Nikitin
Topological necessary conditions of smooth stabilization in the large
- Nr. 79 FORSCHUNG
J. Hoffmann, P.A. Fuhrmann
Remarks on orthogonal polynomials and balanced realizations
- Nr. 80 FORSCHUNG
P.A. Fuhrmann, R. Ober
State space formulas for coprime factorization
- Nr. 81 FORSCHUNG
P.A. Fuhrmann
An algebraic approach to Hankel norm approximation problems
- Nr. 82 FORSCHUNG
R. Ober, P.A. Fuhrmann
Diffeomorphisms between sets of linear systems
- Nr. 83 FORSCHUNG
J. Struckmeier, K. Steiner
Boltzmann simulations with axisymmetric geometry
- Nr. 84 FORSCHUNG
M. Reissel
On a transmission boundary-value problem for the time-harmonic Maxwell equations without displacement currents
- Nr. 85 FORSCHUNG
M. Reissel
Artificial boundary conditions for a transmission boundary-value problem for the time-harmonic Maxwell equations without displacement currents
- Nr. 86 FORSCHUNG
M. Reissel
On the equivalence of two transmission boundary-value problems for the time-harmonic Maxwell equations without displacement currents
- 1993
- Nr. 87 FORSCHUNG
K. Steiner
An Analysis of Baganoff's Shuffle Algorithm
- Nr. 88 FORSCHUNG
W. Freeden, T. Gervens, M. Schreiner
Tensor spherical harmonics and tensor spherical splines
- Nr. 89 FORSCHUNG
M. Hack
Construction of Particlesets to Simulate Rarefied Gases
- Nr. 90 FORSCHUNG
R. Illner, H. Neunzert
Domain decomposition: linking kinetic and aerodynamic descriptions
- Nr. 91 FORSCHUNG
J. Struckmeier, K. Steiner
A Comparison of Simulation Methods for Rarefied Gas Flows
- Nr. 92 FORSCHUNG
J. Fröhlich, K. Schneider
An Adaptive Wavelet Galerkin Algorithm for One and Two Dimensional Flame Computations
- Nr. 93 FORSCHUNG
J. Struckmeier
Fast Generation of Low-Discrepancy Sequences
- Nr. 94 FORSCHUNG
M. Reissel
3D Eddy-Current Computation Using Krylov Subspace Methods

- Nr. 95 FORSCHUNG
J. Franke, T. Subba Rao
Multivariate first-order integer-valued autoregressions
- Nr. 96 FORSCHUNG
H. Neunzert
Modelling and Numerical Simulation of Collisions
- Nr. 97 FORSCHUNG
W. Freeden, M. Schreiner
Nonorthogonal Expansions on the Sphere
- Nr. 98 FORSCHUNG
W. Freeden and R. Franke
Generalized Weighted Spline Approximation on the Sphere
- Nr. 99 FORSCHUNG
A.V. Bobylev
Exact Solutions of Discrete Kinetic Models and Stationary Problems for the Plane Broadwell Model
- Nr. 100 FORSCHUNG
J. Struckmeier
On a Kinetic Model for Shallow Water Waves
- 1994
- Nr. 101 FORSCHUNG
P. Prasad
A Nonlinear Ray Theory
- Nr. 102 FORSCHUNG
P.A. Fuhrmann, J. Hoffmann
Factorization theory for stable inner functions
- Nr. 103 FORSCHUNG
P.A. Fuhrmann, J. Hoffmann
On balanced realizations of bounded real and positive real functions
- Nr. 104 FORSCHUNG
J. Fröhlich, J. Weickert
Image Processing Using a Wavelet Algorithm for Nonlinear Diffusion
- Nr. 105 FORSCHUNG
M. Hack
Lifetime estimation in the car industry
- Nr. 106 FORSCHUNG
R. v. Sachs, K. Schneider
Wavelet smoothing of evolutionary spectra by non-linear thresholding
- Nr. 107 FORSCHUNG
J. Struckmeier
Generation of Random Variates Using Asymptotic Expansions
- Nr. 108 AUSBILDUNG
J. Struckmeier
Tutorial on Asymptotic Analysis I
- Nr. 109 FORSCHUNG
W. Freeden, M. Schreiner
A: *New Wavelet Methods for Approximating Harmonic Functions*
B: *Satellite Gradiometry - from Mathematical and Numerical Point of View*
- Nr. 110 FORSCHUNG
J. Weickert
Scale-Space Properties of Nonlinear Diffusion Filtering with a Diffusion Tensor
- Nr. 111 FORSCHUNG
Th. Grünholz
On the Computation of Stress in Stationary Loaded Journal Bearings
- Nr. 112 FORSCHUNG
H. Neunzert, J. Struckmeier
Boltzmann Simulation by Particle Methods
- Nr. 113 FORSCHUNG
J. Mohring
Partikelapproximation von Wahrscheinlichkeitsmaßen mit minimalem Lipschitzabstand
- Nr. 114 FORSCHUNG
C. Bardos, F. Golse, J.F. Colonna
Diffusion Approximation and Hyperbolic Automorphisms of the Torus
- Nr. 115 WEITERBILDUNG
H. Neunzert
Particle Methods
- Nr. 116 POPULÄRWISS. VORTRÄGE
H. Neunzert
*Von der neuen Rolle der Mathematik
· Vom Nutzen der Mathematik
· Mathematik und Computersimulation:
Modelle, Algorithmen, Bilder*
- Nr. 117 FORSCHUNG
A. Klar
Convergence of alternating domain decomposition schemes for kinetic and aerodynamic equations
- Nr. 118 FORSCHUNG
F. Golse, A. Klar
A numerical method for computing asymptotic states and outgoing distributions for kinetic linear half-space problems
- Nr. 119 FORSCHUNG
A. Klar
Domain Decomposition for Kinetic Problems with Strongly Contrasted Knudsen Numbers
- Nr. 120 FORSCHUNG
Y. Arkhipov, A. Klar, V. Vedenyapin
On the Connection of the Formulae for Entropy and Stationary Distribution
- Nr. 121 FORSCHUNG
A. Klar
Computation of Nonlinear Functionals in Particle Methods
- Nr. 122 FORSCHUNG
A.V. Bobylev
Nonstandard Hydrodynamics for the Boltzmann Equation
- Nr. 123 FORSCHUNG
A.V. Bobylev, J. Struckmeier
Implicit and Iterative Methods for the Boltzmann Equation
- Nr. 124 FORSCHUNG
A.V. Bobylev
Quasistationary Solutions of the Boltzmann Equation
- Nr. 125 FORSCHUNG
W. Freeden, U. Windheuser
Spherical Wavelet Transform and its Discretization
- 1995
- Nr. 126 FORSCHUNG
J. Schneider
Direct Coupling of Fluid and Kinetic Equations: I

- Nr. 127 FORSCHUNG
J. Struckmeier, K. Steiner
Second order scheme for the spatially homogeneous Boltzmann equation with Maxwellian molecules
- Nr. 128 FORSCHUNG
A.V. Bobylev, J. Struckmeier
Numerical simulation of the stationary one-dimensional Boltzmann equation by particle methods
- Nr. 129 FORSCHUNG
J.W. Hoffmann
Normalized Coprime Factorizations in Continuous and Discrete Time - a Joint State-Space Approach
- Nr. 130 FORSCHUNG
R. Brand, W. Freeden, J. Fröhlich
An Adaptive Hierarchical Approximation Method on the Sphere Using Axisymmetric Locally Supported Basis Functions
- Nr. 131 FORSCHUNG
J. Weickert
A Model for the Cloudiness of Fabrics
- Nr. 132 FORSCHUNG
M.H. Neumann, R. von Sachs
Wavelet Thresholding in Anisotropic Function Classes and Application to Adaptive Estimation of Evolutionary Spectra
- Nr. 133 FORSCHUNG
M.H. Neumann, R. von Sachs
Wavelet Thresholding: Beyond the Gaussian I.I.D. Situation
- Nr. 134 FORSCHUNG
K. Dreßler, M. Hack, W. Krüger
Stochastic Reconstruction of Loading Histories from a Rainflow Matrix
- Nr. 135 FORSCHUNG
K. Dreßler, M. Hack
Fatigue Lifetime Estimation Based on Rainflow Counted Data Using the Local Strain Approach
- Nr. 136 FORSCHUNG
W. Freeden, E. Groten, M. Schreiner, W. Söhne, M. Tücks
Deformation Analysis Using Navier Spline Interpolation (with an Application to the Lake Blåsjø Area)
- Nr. 137 FORSCHUNG
A. Klar
Asymptotic-Induced Domain Decomposition Methods for Kinetic and Drift Diffusion Semiconductor Equations
- Nr. 138 FORSCHUNG
R. Wegener, A. Klar
A Kinetic Model for Vehicular Traffic Derived from a Stochastic Microscopic Model
- Nr. 139 FORSCHUNG
J. Weickert
Multiscale Texture Enhancement
- Nr. 140 FORSCHUNG
M. Schreiner
Locally Supported Kernels for Spherical Spline Interpolation
- Nr. 141 FORSCHUNG
M. Schreiner
On a New Condition for Strictly Positive Definite Functions on Spheres
- Nr. 142 FORSCHUNG
J. Cui, W. Freeden
Equidistribution on the Sphere
- Nr. 143 FORSCHUNG
R. Reinke, D.H. Owens, D. Prätzel-Wolters
Learning and Replication of Periodic Signals in Neural-Like Networks
- Nr. 144 FORSCHUNG
W. Freeden, U. Windheuser
Combined Spherical Harmonic and Wavelet Expansion - A Future Concept in Earth's Gravitational Determination
- Nr. 145 FORSCHUNG
R. von Sachs, R. Dahlhaus, M.H. Neumann
Nonlinear Wavelet Estimation of Time-Varying Autoregressive Processes
- Nr. 146 AUSBILDUNG
Claus Müller
Lectures on the Problem of Space and Time in Einstein's Theory of Gravitation
- Nr. 147 AUSBILDUNG
Raimund Wegener
Statistische Mechanik und Kinetische Gleichungen auf Quantenmechanischer Grundlage
- Nr. 148 FORSCHUNG
Jens Struckmeier
Simulation of Boundary Value Problems for the Boltzmann Equation
- Nr. 149 FORSCHUNG
Frank Schneider
The Solution of Linear Inverse Problems in Satellite Geodesy by Means of Spherical Spline Approximation
- Nr. 150 FORSCHUNG
Andris Buikis, Harijs Kalis
The Mathematical Simulation of an Electrolytic Cell for Aluminium Production

Die Berichte der Arbeitsgruppe Technomathematik können angefordert werden bei:

UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Fachbereich Mathematik
Arbeitsgruppe Technomathematik
Postfach 3049

67653 Kaiserslautern

Die Preprints sind auch über den WWW-Server des Fachbereichs Mathematik zugänglich. Über den dort angebotenen Technical Report Service kann auch eine Volltextrecherche (auch über Preprints anderer Mathematik-Fachbereiche) durchgeführt werden.

URL: <http://www.mathematik.uni-kl.de/~harvest/> bzw.
<http://www.mathematik.uni-kl.de/~wwwtecm/>