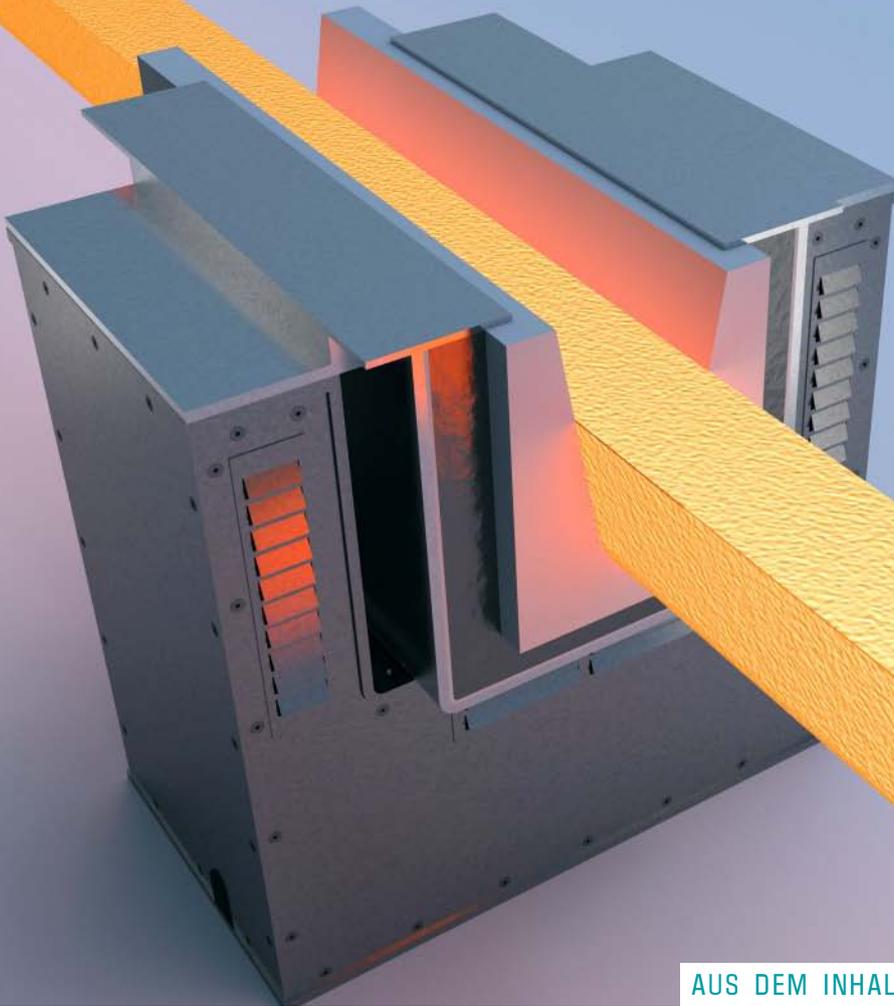


RUNDBRIEF

GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK



AUS DEM INHALT:

HERAUSGEBER
IM AUFTRAG DES VORSTANDES DER GAMM E.V.:
PROF. DR.-ING. JÖRG SCHRÖDER
UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN
PROF. DR. AXEL KLAWONN
UNIVERSITÄT ZU KÖLN

1/2013

www.gamm-ev.de

MANCHE MÖGEN'S HEISS:
STRÖMUNGSMESSUNG IN DER METALLURGIE
EULERS ELASTICA – EIN LEHRBEISPIEL FÜR DIE
ANALYTISCHE BEHANDLUNG STRUKTURELLER
INSTABILITÄTEN

WIE VIEL UNBEKANNTE HAT DAS GRÖSSTE
GLEICHUNGSSYSTEM, DAS MAN HEUTE LÖSEN
KANN?

JAHRESBERICHTE DER GAMM-FACHAUSSCHÜSSE

JUNGE WISSENSCHAFTLER:
KAREN VEROY-GREPL UND CHRISTIAN LINDER

Herausgeber:
 Prof. Dr.-Ing. Jörg Schröder
 Universität Duisburg-Essen
 Prof. Dr. Axel Klawonn
 Universität zu Köln

Schriftleitung:
 Prof. Dr.-Ing. Jörg Schröder
 Universität Duisburg-Essen
 Institut für Mechanik
 Universitätsstraße 15
 45117 Essen
 Tel.: ++49 (0)201 / 183-2708
 Fax: ++49 (0)201 / 183-2708
 E-Mail: j.schroeder@uni-due.de

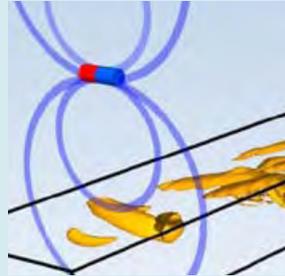
Anzeigenverwaltung
 GAMM Geschäftsstelle
 c/o Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
 Institut für Statik und Dynamik der
 Tragwerke
 Fakultät Bauingenieurwesen
 Technische Universität Dresden
 01062 Dresden
 Tel.: ++49 (0)351 / 46333448
 E-Mail: GAMM@mailbox.tu-dresden.de

Gestaltung:
 Dr. Hein Werbeagentur GmbH, Köln
 www.heinagentur.de
 Peter Liffers, Dortmund
 www.liffers.de

Druck:
 Bauer Satz.Druck.Werbetechnik GmbH
 Am Gewerbering 8
 84069 Schierling
 Tel.: ++49 (0)9451 / 943021 / 943020
 Fax: ++49 (0)9451 / 1837
 E-Mail: info@bauerwerbung.com

Alle Rechte bei den Autoren.

4 Vorstand der GAMM

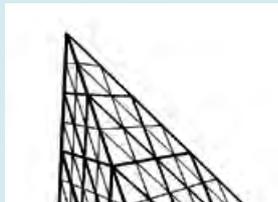


6 Manche mögen's heiss: Strömungsmessung in der Metallurgie
 von André Thess



12 Eulers Elastica – Ein Lehrbeispiel für die analytische Behandlung struktureller Instabilitäten
 von Reinhold Kienzler und Wolfgang H. Müller

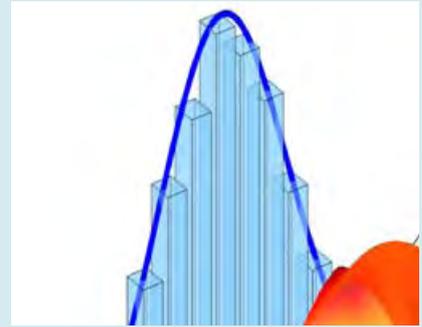
17 Ausschreibung des Richard-von-Mises-Preises der GAMM 2014



18 Wie viel Unbekannte hat das grösste Gleichungssystem, das man heute lösen kann?
 von Björn Gmeiner, Harald Köstler, Ulrich Rude

25 Steckbrief Karen Veroy-Grepl

27 Steckbrief Christian Linder



Berichte aus den Fachausschüssen:

- 29 Biomechanik**
- 29 Angewandte Operatortheorie**
- 30 Numerische Methoden für Partielle Differentialgleichungen**
- 30 Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen**
- 31 Computerunterstützte Beweise und symbolisches Rechnen**
- 31 Dynamik und Regelungstheorie**
- 32 Analysis von Mikrostrukturen**
- 32 Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA)**
- 33 Stochastische Optimierung in der Technik**
- 34 Mathematische Signal- und Bildverarbeitung (MSIP)**
- 35 Uncertainty Quantification**
- 36 Computational Science and Engineering (CSE)**
- 37 Mehrskalenmodelle**
- 38 Nachruf Prof. Hans J. Rath**
- 39 Wissenschaftliche Veranstaltungen**



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER, LIEBE GAMM-MITGLIEDER,

„Manche mögen's heiß“ – wer denkt dabei nicht an Billy Wilders Komödie aus den fünfziger Jahren mit Marilyn Monroe, Tony Curtis und Jack Lemmon? Der erste Beitrag dieser Ausgabe führt uns jedoch nicht in das Chicago der späten 1920er Jahre, sondern in die Welt der Strömungsmessung in der Metallurgie. Während Durchflussmessungen beim Tanken an der Zapfsäule jedem geläufig sind, stellt sich das analoge Problem bei heißen flüssigen Metallen als wesentlich schwieriger dar. Im vorliegenden Beitrag beschreibt André Thess einen Ansatz, wie dies mit berührungslosen elektromagnetischen Messverfahren durchgeführt werden kann. Im zweiten Beitrag greifen Reinhold Kienzler und Wolfgang Müller das klassische Thema des Eulerschen Knickstabes auf und betrachten im neuen Licht die analytische Behandlung struktureller Instabilitäten. „Wie viel Unbekannte hat das größte Gleichungssystem, das man heute lösen kann?“ – um diese Frage beantworten zu können, muss zunächst geklärt werden, welche Art von Gleichungssystem man lösen möchte und auf welcher Rechnerarchitektur. Für den Fall dünnbesetzter Matrizen, wie sie bei der Diskretisierung partieller Differentialgleichungen auftreten, und für die heutigen Supercomputer diskutieren Björn Gmeiner, Harald Köstler und Ulrich Rüde diese Frage im dritten Fachbeitrag dieser Ausgabe.



In unseren Nachwuchswissenschaftlerporträts stellen sich dieses Mal Karen Veroy-Grepl, RWTH Aachen und Christian Linder, Stanford University vor.

Traditionell berichten in der Frühjahrsausgabe des GAMM-Rundbriefes die verschiedenen Fachausschüsse über die Aktivitäten des vergangenen Jahres; derzeit sind 13 Fachausschüsse aktiv.

Hinweisen möchten wir auch auf die Ausschreibung des Richard-von-Mises-Preises, vgl. S. 17.

Als Herausgeber des Rundbriefes bedanken wir uns herzlich bei den Kollegen André Thess, Reinhold Kienzler und Wolfgang Müller, sowie Björn Gmeiner, Harald Köstler und Ulrich Rüde für die Fachartikel, bei Frau Karen Veroy-Grepl und Herrn Christian Linder für die Nachwuchswissenschaftlerportraits und bei den Fachausschussvorsitzenden für Ihre Berichte. Für weitere Anregungen zur Gestaltung des GAMM-Rundbriefes und die Einsendung von Beiträgen schicken Sie bitte eine Email an j.schroeder@uni-due.de (Mechanik) oder axel.klawonn@uni-koeln.de (Mathematik).

Bei der Lektüre der vorliegenden Ausgabe des Rundbriefes wünschen wir Ihnen viel Freude.

Köln und Essen im Januar 2013

Axel Klawonn und Jörg Schröder

Präsident: **Prof. Volker Mehrmann**
Technische Universität Berlin,
Institut für Mathematik, MA 4-5,
Straße des 17. Juni 136, 10623 Berlin

Vizepräsident: **Prof. Peter Wriggers**
Leibniz Universität Hannover
Institut für Kontinuumsmechanik
Appelstraße 11, 30167 Hannover

Sekretär: **Prof. Michael Kaliske**
Technische Universität Dresden
Institut für Statik und Dynamik der
Tragwerke, Fakultät Bauingenieurwesen,
01062 Dresden

Vizesekretär: **Prof. Wolfgang Ehlers**
Universität Stuttgart, Institut für
Mechanik (Bauwesen), Lehrstuhl II,
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Schatzmeister: **Prof. Michael Günther**
Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich C – Fachgruppe
Mathematik, Lehrstuhl für Angewandte
Mathematik/Numerik,
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

Weitere Mitglieder des Vorstandsrates

Prof. Andreas Griewank
Humboldt Universität zu Berlin
Institut für Mathematik,
Unter den Linden 6, 10099 Berlin

Prof. Peter Benner
Max Planck Institute for Dynamics of
Complex Technical Systems,
Sandtorstraße 1, 39106 Magdeburg

Prof. Sergio Conti
Universität Bonn, Institut für Angewandte Mathematik,
Endenicher Allee 60, 53115 Bonn

Prof. Martin Oberlack
Technische Universität Darmstadt
Institut für Strömungsdynamik
Hochschulstr. 1, 64289 Darmstadt

Prof. Lars Grüne
Universität Bayreuth,
Mathematisches Institut,
Universitätsstr. 30, 95440 Bayreuth

Prof. Franz G. Rammerstorfer
Technische Universität Wien,
Institut für Leichtbau und Struktur-Biomechanik
Gußhausstraße 27-29/E317, 1040 Wien, Österreich

Prof. Rolf Lammering
Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg
Fachbereich Maschinenbau, Institut für Mechanik,
22039 Hamburg

Prof. Jörg Schröder
Universität Duisburg-Essen, Institut für Mechanik
Fakultät Ingenieurwissenschaften
Universitätsstraße 15, 45117 Essen

Prof. André Thess
Technische Universität Ilmenau
Fakultät Maschinenbau, Fachgebiet Thermo- und
Magnetofluidodynamik
P.O.Box 10 05 65, 98684 Ilmenau

Prof. Peter Eberhard
Universität Stuttgart, Institut für Technische und Nume-
rische Mechanik, Pfaffenwaldring 95, 70569 Stuttgart

Prof. Christian Wieners
Universität Karlsruhe, Institut für Praktische Mathematik,
Englerstr. 2, 76128 Karlsruhe

Beratende Mitglieder des Vorstandsrates

Prof. em. Dr. Götz Alefeld
Universität Karlsruhe (TH), Fakultät f. Mathematik, Institut f.
Angewandte Mathematik, Postfach 6980, 76128 Karlsruhe

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. h.c. Oskar Mahrenholtz
Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Mechanik und Meerestechnik
Eißendorfer Straße 42, 21071 Hamburg

Prof. em. Dr. rer. nat. Reinhard Mennicken
Universität Regensburg NWF I / Mathematik
93053 Regensburg

o. Prof. i.R. Dr. Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Friedrich Pfeiffer
Technische Universität München, Lehrstuhl B für
Mechanik, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Em. o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h.c. Franz Ziegler
Technische Universität Wien, Zentrum für Allgemeine
Mechanik und Baudynamik, Institut für Hochbau und
Technologie (E206), Karlsplatz 13 / E2063, 1040 Wien

Prof. em. Dr.-Ing., Dr. techn. E.h. Dr. h.c. Jürgen Zierep
Universität Karlsruhe, Institut für Strömungslehre
und Strömungsmaschinen, 76128 Karlsruhe

Kassenprüfer

Prof. Margareta Heilmann
Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich 7 - Mathematik

Prof. Bernd Tibken
Bergische Universität Wuppertal
Elektrotechnik und Informationstechnik

RUNDBRIEF READERS

Save 30% on these SIAM titles:

Linear and Nonlinear Inverse Problems with Practical Applications

Jennifer L. Mueller and Samuli Siltanen

Computational Science and Engineering 10

This book explains how to identify ill-posed inverse problems arising in practice and how to design computational solution methods for them. It explains computational approaches in a hands-on fashion, with related codes available on a website, and it serves as a convenient entry point to practical inversion. The book is well-suited for students in mathematics, engineering, physics, or computer science who wish to learn computational inversion (inverse problems). Professors will find that the exercises and project work topics make this a suitable textbook for advanced undergraduate and graduate courses on inverse problems.

2012 • xiv + 351 pages • Softcover • 978-1-611972-33-7 • List \$84.00 • Rundbrief Reader Price \$58.80 • CS10

Eigenvalues of Matrices, Revised Edition

Françoise Chatelin

Classics in Applied Mathematics 71

This classic textbook provides a modern and complete guide to the calculation of eigenvalues of matrices, written at an accessible level that presents in matrix notation the fundamental aspects of the spectral theory of linear operators in finite dimension. The author has added a new chapter that uncovers reasons why matrices are even more fundamental tools than vectors for the information processing that takes place during the dynamical evolution of systems. Some of these ideas appear in print for the first time.

2012 • xxx + 410 pages • Softcover • 978-1-611972-45-0 • List \$99.00 • Rundbrief Reader Price \$69.30 • CL71

Control and Optimization with Differential-Algebraic Constraints

Edited by Lorenz T. Biegler, Stephen L. Campbell, and Volker Mehrmann

Advances in Design and Control 23

This book presents the latest theory and numerical methods for the optimal control of differential-algebraic equations. Readers will find the following features presented in a readable fashion so the results are accessible to the widest audience: the most recent theory, written by leading experts from a number of academic and nonacademic areas and departments, several state-of-the-art numerical methods, and real-world applications.

2012 • xii + 344 pages • Softcover • 978-1-611972-24-5 • List \$99.00 • Rundbrief Reader Price \$69.30 • DC23

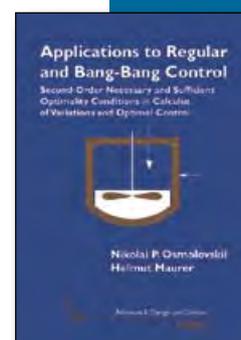
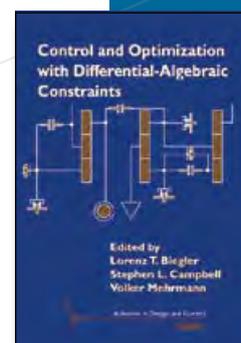
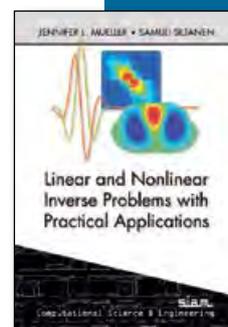
Applications to Regular and Bang-Bang Control: Second-Order Necessary and Sufficient Optimality Conditions in Calculus of Variations and Optimal Control

Nikolai P. Osmolovskii and Helmut Maurer

Advances in Design and Control 24

This book is devoted to the theory and applications of second-order necessary and sufficient optimality conditions in the calculus of variations and optimal control. The authors develop theory for a control problem with ordinary differential equations subject to boundary conditions of equality and inequality type and for mixed state-control constraints of equality type. It is suitable for researchers in calculus of variations and optimal control and researchers and engineers in optimal control applications in mechanics; mechatronics; physics; chemical, electrical, and biological engineering; and economics.

2012 • viii + 376 pages • Softcover • 978-1-611972-35-1 • List \$109.00 • Rundbrief Reader Price \$76.30 • DC24



Be sure to enter code "BKGMI3" to get special discount price.

siam SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS

TO ORDER, SHOP ONLINE AT www.siam.org/catalog.

Use your credit card (AMEX, MasterCard, and VISA) by phone: +1-215-382-9800 (worldwide) or fax: +1-215-386-7999.

Or send check or money order in US dollars to: SIAM, Dept. BKGMI3, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA.

Members and customers outside North America can order SIAM books through Cambridge University Press at www.cambridge.org/siam.

ORDER ONLINE:
WWW.SIAM.ORG/CATALOG

Art is adapted from a paper by A. L. Traud, E. D. Kelsic, P. J. Mucha, M. A. Porter, "Comparing Community Structure to Characteristics in Online Collegiate Social Networks," *SIREV* Vol. 53, pp. 526-543.

MANCHE MÖGEN'S HEISS: STRÖMUNGSMESSUNG IN DER METALLURGIE

VON ANDRÉ THESS

Stahlkocher und Aluminiumschmelzer wünschen sich seit über 100 Jahren eine Möglichkeit, Strömungen heißer Flüssigmetalle exakt zu vermessen. Heute existieren hierfür noch keine kommerziellen Messsysteme, doch könnten elektromagnetische Verfahren bald den Durchbruch ermöglichen. Beim Quantensprung zur Industriereife spielen numerische Simulationen magnetohydrodynamischer (MHD) Strömungen eine Schlüsselrolle.

Wozu Strömungsmessung?

Ob Wasseruhr im Bad, Flügelrad an der Zapfsäule oder magnetisch-induktiver Durchflussmesser in der Colafabrik [1] - Durchflussmessgeräte sorgen dafür, dass kostbare Flüssigkeiten genau abgerechnet und präzise dosiert werden. Doch während es bei Raumtemperatur zahlreiche Messmethoden gibt [2], ist es bis heute noch niemandem gelungen, für Flüssigmetalle in Aluminiumhütten, Stahlwerken und Kupfergießereien kommerzielle Durchflussmessgeräte zu entwickeln. Gründe hierfür sind die hohen Temperaturen sowie die Aggressivität von Flüssigmetallen. So würde ein mechanischer Sensor wie beispielsweise ein Flügelrad von flüssigem Stahl binnen weniger Minuten zerfressen. Optische Methoden wie die Laser-Doppler-Anemometrie [3] sind nicht anwendbar, weil Flüssigmetalle undurchsichtig sind. Röntgenverfahren sind aufwändig, weil die Strömungsquerschnitte in der Regel groß sind. Doch warum ist es überhaupt so wichtig, Durchflussmengen in Flüssigmetallen zu messen? Ein Beispiel aus der Aluminiumindustrie soll dies verdeutlichen.

Die Menschheit verbraucht jedes Jahr Aluminium im Wert von fast 100 Milliarden Euro in Gestalt von Coladosen, Alufelgen, Motorblöcken, Flugzeugrümpfen, Fensterrahmen und Schokoladenosterhasenverpackungen. Fast die Hälfte davon wird als sogenanntes Sekundäraluminium aus Schrott hergestellt. Nachdem der Schrott geschmolzen und gereinigt wurde, leitet man das flüssige Aluminium über ein Rinnensystem in sogenannte Warmhalteöfen. Hier werden der Schmelze Silizium und andere Legierungselemente zugesetzt. Da es derzeit unmöglich ist, die genaue Aluminiummenge im Warmhalteofen zu messen, kann es passieren, dass die Aluminiumsuppe versalzen

oder genauer gesagt „versiliziumt“ wird. Die Folge solcher Fehldosierungen ist zeitraubendes, kostspieliges und energieintensives Verdünnen mit teurem Frischaluminium. Die Sekundäraluminiumindustrie wünscht sich deshalb Messsysteme, die in der Lage sind, den Massenstrom von Flüssigaluminium in einer offenen Rinne zeitaufgelöst zu messen. Abbildung 1 zeigt schematisch ein solches Messsystem, welches zur Zeit an der TU Ilmenau entwickelt wird und die Bezeichnung Lorentzkraft-Anemometer trägt. Auf seine Wirkungsweise wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Wären solche Systeme kommerziell verfügbar, so könnten allein in der Sekundäraluminiumindustrie jedes Jahr weltweit hohe dreistellige Millionenbeträge eingespart werden. Analoge Beispiele mit ähnlichem Wertschöpfungspotenzial lassen sich in allen Branchen der Metallurgie finden.

Um das metallurgische Strömungsmessproblem zu lösen, werden verschiedene Wege verfolgt. Dazu gehören Ultraschallmessverfahren [4], Röntgenverfahren [5] und elektromagnetische Verfahren [1]. Da die elektromagnetischen Verfahren in der Metallurgie voraussichtlich als erste die Schwelle zur Industriereife überschreiten werden, wollen wir uns Folgenden auf sie konzentrieren.

Der Begriff elektromagnetische Strömungsmessung bezeichnet Methoden, bei denen die Flüssigkeit durch ein Magnetfeld fließt und die durch elektromagnetische Induktion entstehenden elektrischen Felder als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit entweder direkt oder indirekt gemessen werden. Das am weitesten verbreitete elektromagnetische Strömungsmessverfahren ist die magnetisch-induktive Durchflussmessung [2]. Hier wird die induzierte Spannung mittels zweier in die Flüssigkeit eingetauchter Elektroden direkt gemessen. Magnetisch-induktive Durchflussmesser sind in der Lebensmittelindustrie und in der chemischen Industrie zu zehntausenden im Einsatz. Für metallurgische Strömungsmessung sind sie indessen ungeeignet, weil die Elektroden im direkten Kontakt mit flüssigem Stahl oder Aluminium binnen weniger Minuten zerstört würden.

Für metallurgische Anwendungen kommen ausschließlich berührungslose elektromagnetische Messverfahren in

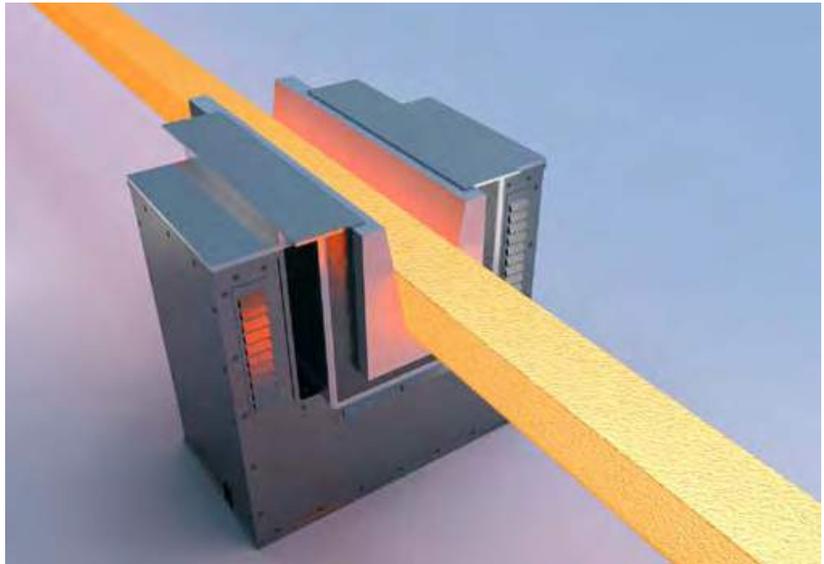


Abb.1: Berührungslose Strömungsmessung in flüssigem Aluminium: Das Flüssigmetall strömt in einer Rinne, die am tiefsten Punkt etwa 10 cm breit ist und nach oben breiter wird. Die Strömung im Bild verläuft von hinten nach vorn. Zur besseren Sichtbarkeit ist nur ein kleineres Segment der Rinne dargestellt, welches aus einem keramischen Futter (hellgrau mit direktem Kontakt zum Flüssigmetall), einem Füllmaterial (dunkelgrau) und einem äußeren Stahlmantel (hellgrau, oben T-förmig) besteht. Das im Rahmen des Graduiertenkollegs GRK 1567 von Dr. Rico Klein (Anwendungsprojekt D-1) entwickelte Lorentzkraft-Anemometer, erkennbar an den Kühlluftschlitzen, hängt am oberen Rand der Rinne, besitzt jedoch ansonsten keinerlei Kontakt mit der Rinnenwand. Im Inneren des Lorentzkraft-Anemometers befinden sich Magnetsystem, Kraftmesssystem, Kühlsystem und Elektronik. Die Magnetfeldlinien durchstoßen das flüssige Aluminium quer zur Strömungsrichtung.

Frage. Hier steht das Messgerät weder mit der Schmelze noch mit dem Wandmaterial in Kontakt. Derzeit werden auf diesem Gebiet international drei Ansätze verfolgt, die Wirbelstrom-Durchflussmessung (Eddy Current Flowmeters) [6], die Magnetfeld-Tomographie (Contactless Inductive Flow Tomography) [7] und die Lorentzkraft-Anemometrie (Lorentz Force Velocimetry) [8-10]. Im Rahmen des Graduiertenkollegs „Elektromagnetische Strömungsmessung und Wirbelstromprüfung mittels Lorentzkraft“ werden an der TU Ilmenau derzeit intensive Forschungsarbeiten auf dem dritten Gebiet durchgeführt. Auf diese soll hier näher eingegangen werden.

Lorentzkraft-Anemometrie

Das Grundprinzip der Lorentzkraft-Anemometrie wurde von den Mitgliedern des Graduiertenkollegs in fünf Sprachen in Wikipedia publiziert und ist in Abbildung 2 dargestellt. Strömt ein Flüssigmetall unter dem Einfluss eines Magnetfeldes durch ein Rohr, so wirkt auf den Permanentmagnet, der das Magnetfeld erzeugt, eine elektromagnetische Kraft – die Lorentzkraft. Die in Strömungsrichtung wirkende Komponente F dieser Kraft lässt sich stark vereinfacht durch die Formel

$$F = csqB^2 \quad (1)$$

ausdrücken. Hierbei ist q die Durchflussmenge in Kilogramm pro Sekunde, s die elektrische Leitfähigkeit des Flüssigmetalls und B die Amplitude des Magnetfeldes an

einem Referenzpunkt im Strömungsquerschnitt. Ist die Zusammensetzung des Metalls und damit die elektrische Leitfähigkeit bekannt und hat man die Kalibrierkonstante c bestimmt, so lässt sich mittels dieser einfachen Formel aus der gemessenen Kraft F die gesuchte Durchflussmenge q als Funktion der Zeit bestimmen. Für die vollständige Theorie der Lorentzkraft-Anemometrie sei auf die Arbeit [9] verwiesen, die im open-access-Modus frei verfügbar ist. Obwohl das geschilderte Grundprinzip recht einfach klingt, müssen für die praktische Realisierung der Lorentzkraft-Anemometrie drei Schwierigkeiten überwunden werden. Hierbei handelt es sich (i) um die Entwicklung und den Bau optimal geformter Permanentmagnetsysteme, (ii) um die zuverlässige Messung sehr kleiner Kräfte und (iii) um die Bestimmung der Kalibrierkonstante c . Da die Problemklasse (iii) eine besondere Herausforderung an die numerische Simulation magnetohydrodynamischer Strömungen darstellt, wollen wir dieses Thema etwas näher beleuchten.

Numerische Kalibrierung

Die in Gleichung (1) definierte Kalibrierkonstante c verknüpft – allgemein ausgedrückt – die gemessene Größe mit dem gesuchten Durchfluss. Ähnliche Kalibrierkonstanten werden bei herkömmlichen Durchflussmessern wie etwa Flügelrädern experimentell in zertifizierten Laboratorien ermittelt. Doch während die Handhabung von Wasser, Bier oder Benzin im Labor relativ unkompliziert ist,

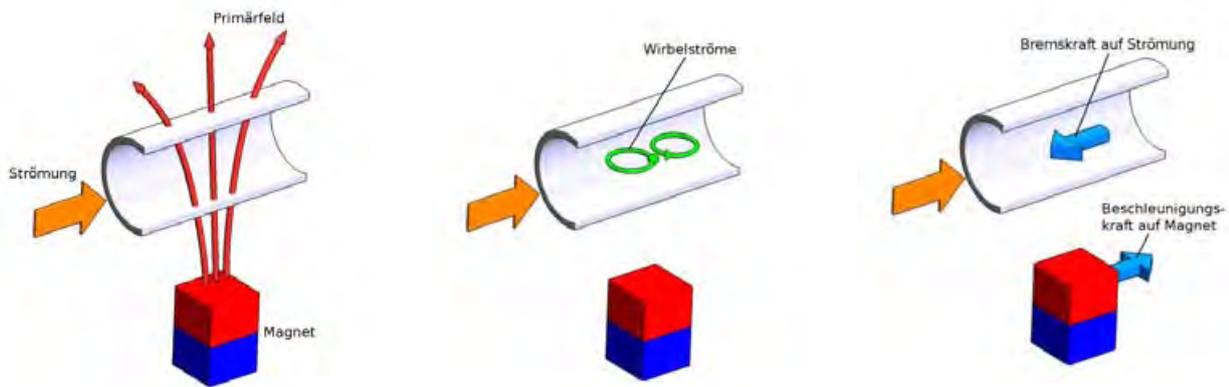


Abb. 2: Grundprinzip der Lorentzkraft-Anemometrie: Trifft eine Flüssigmetallströmung auf die Magnetfeldlinien eines Permanentmagneten (a), so entstehen die in (b) skizzierten elektrischen Wirbelströme. Durch die Wechselwirkung der Wirbelströme mit dem Magnetfeld, dem sogenannten Primärfeld, entsteht im Flüssigmetall eine bremsende Lorentzkraft (c). Diese erzeugt auf Grund des Newtonschen Gesetzes $actio=reactio$ eine Kraft auf den Magnet. Aus einer Messung dieser Kraft lässt sich die Durchflussmenge bestimmen.

lässt sich die in Abbildung 1 dargestellte Aluminiumströmung mit der Querschnittsfläche eines Abwasserrohres und einer Temperatur von 700°C nicht ohne weiteres in einem Labor nachbilden. Ähnliches gilt für viele andere metallurgische Strömungen. Aus diesem Grund ist man bei der Lorentzkraft-Anemometrie in hohem Maße auf eine numerische Bestimmung der Kalibrierkonstanten c angewiesen. Diese Methode wird als numerische Kalibrierung bezeichnet.

Die Kalibrierkonstante c ist nicht ganz so harmlos, wie es beim Betrachten von Gleichung (1) erscheint, denn in ihr stecken die Informationen über die Form des Magnetsystems und die Strömungsgeometrie. Um c zu bestimmen, muss ein aufwändiger mathematischer Apparat in Bewegung gesetzt werden. Konkret ist es notwendig, das in der Informationstafel angegebene System zu lösen, welches aus den Navier-Stokes-Gleichungen für die Strömung des Flüssigmetalls sowie aus den Maxwell-Gleichungen für die Magnetfeldverteilung und die Wirbelströme besteht. Hierzu werden die Geometrie des Strömungskanals, die Stoffdaten sowie die Durchflussmenge q des Flüssigmetalls und die räumliche Verteilung des magnetfelderzeugenden Materials vorgegeben. Derzeit liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf Magnetsystemen, die aus einzelnen zentimetergroßen Nd-Fe-B Permanentmagnetquadern zusammengesetzt sind. In diesem Fall stellt das Vektorfeld $\mathbf{M}(\mathbf{x})$ der Magnetisierungsdichte des Magnetmaterials die das Magnetsystem beschreibende mathematische Größe dar. Im Idealfall liefert die numerische Lösung des Problems das dreidimensionale zeitabhängige turbulente Geschwindigkeitsfeld $\mathbf{v}(\mathbf{x},t)$ im Flüssigmetall sowie die ebenfalls dreidimensionalen Verteilungen von Magnetfeld $\mathbf{B}(\mathbf{x},t)$ und Wirbelstromdichte $\mathbf{J}(\mathbf{x},t)$. Durch Integration der x -Komponente der Lorentzkraftdichte $\mathbf{F}=\mathbf{J}\times\mathbf{B}$ über das Flüssigkeitsvolumen sowie durch zeitliche Mittelung lässt sich die Lorentzkraft \mathbf{F} berechnen. Nach Einsetzen dieser Größe in Gleichung (1) erhält man die Kalibrierkonstante c .

So plausibel diese numerische Strategie auch klingt, so wenig ist sie heute für praxisnahe Strömungen realisierbar.

Dies liegt erstens daran, dass metallurgische Strömungen hochturbulent sind und ihre kleinsten Längenskalen (die Kolmogorov-Skalen) im Submikrometerbereich liegen. Eine sämtliche Längenskalen umfassende numerische Lösung der Navier-Stokes Gleichungen – eine sogenannte direkte numerische Simulation – ist mit den heute verfügbaren numerischen Ressourcen nicht realisierbar. Zweitens führen die magnetischen Felder ein „Eigenleben“ in Form gedämpfter Alfvén-Wellen auf Zeitskalen von Millisekunden. Eine sämtliche Zeitskalen umfassende numerische Lösung der Maxwell-Gleichungen ist für die hier notwendigen physikalischen Zeiten von einigen Minuten ebenfalls nicht möglich.

Um diesem Auflösungs-dilemma zu entkommen, werden im Rahmen des Ilmenauer Graduiertenkollegs zwei numerische Strategien verfolgt. Für stark vereinfachte Strömungsgeometrien und hochgradig idealisierte Magnetsysteme wie etwa den in Abbildung 3 dargestellten Rechteckkanal mit einem punktförmigen magnetischen Dipol werden direkte numerische Simulationen für höchstmögliche Reynoldszahlen durchgeführt. Solche Simulationen besitzen zwar kaum industrielle Relevanz weil die Reynoldszahlen viel kleiner sind als in der metallurgischen Realität. Doch erlauben sie, ein detailliertes physikalisches Bild über die im Magnetfeld induzierten Wirbelstrukturen zu erarbeiten. Die bei diesen Simulationen gelösten Gleichungen sind in der Informationstafel angegeben. Für realitätsnahe Strömungs- und Magnetsystem-Geometrien werden statt der in der Informationstafel angegebenen Navier-Stokes-Gleichungen modifizierte Gleichungen (sogenannte Reynolds-Averaged-Navier-Stokes equations, RANS) gelöst, bei denen die räumlichen Auflösungsanforderungen deutlich geringer sind als in direkten numerischen Simulationen. Zwar sind diese Gleichungen mit gewissen Modellierungsunsicherheiten behaftet, doch stellen sie derzeit die einzige Möglichkeit dar, industrierelevante magnetohydrodynamische Probleme zu lösen [11]. Die enge Verzahnung direkter numerischer Simulationen für idealisierte Geometrien mit RANS-Simulationen für realitätsnahe Geometrien sowie sorgfältige Vergleiche

Informationstafel: MHD-Grundgleichungen

Die Bewegung eines Flüssigmetalls mit der Dichte ρ , der kinematischen Viskosität ν und der elektrischen Leitfähigkeit σ unter dem Einfluss eines Magnetfeldes wird durch die Gleichungen der Magnetohydrodynamik

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{J} \times \mathbf{B}, \quad \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1a,b)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad \mathbf{J} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{B} \quad (2a,b,c)$$

$$\mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (3)$$

beschrieben. Sie umfassen die inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen (1), die Maxwell-Gleichungen in quasistatischer Näherung (2) sowie das Ohmsche Gesetz für bewegte elektrische Leiter (3). Auf der rechten Seite der Navier-Stokes Gleichung (1a) steht die Lorentzkraft $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$, die über (3) vom Geschwindigkeitsfeld sowie über (2) und (3) von der räumlichen Struktur des von außen angelegten statischen Magnetfeldes $\mathbf{B}_0(\mathbf{x})$ (Primärfeld) abhängt. Die numerische Lösung des Systems (1)-(3) liefert das dreidimensionale zeitabhängige Geschwindigkeitsfeld $\mathbf{v}(\mathbf{x},t)$ und das Druckfeld $p(\mathbf{x},t)$ in der Strömung sowie das Magnetfeld $\mathbf{B}(\mathbf{x},t) = \mathbf{B}_0(\mathbf{x}) + \mathbf{B}_1(\mathbf{x},t)$ im gesamten Raum. $\mathbf{B}_1(\mathbf{x},t)$ ist das durch die Fluidbewegung induzierte Magnetfeld, genannt Sekundärfeld.

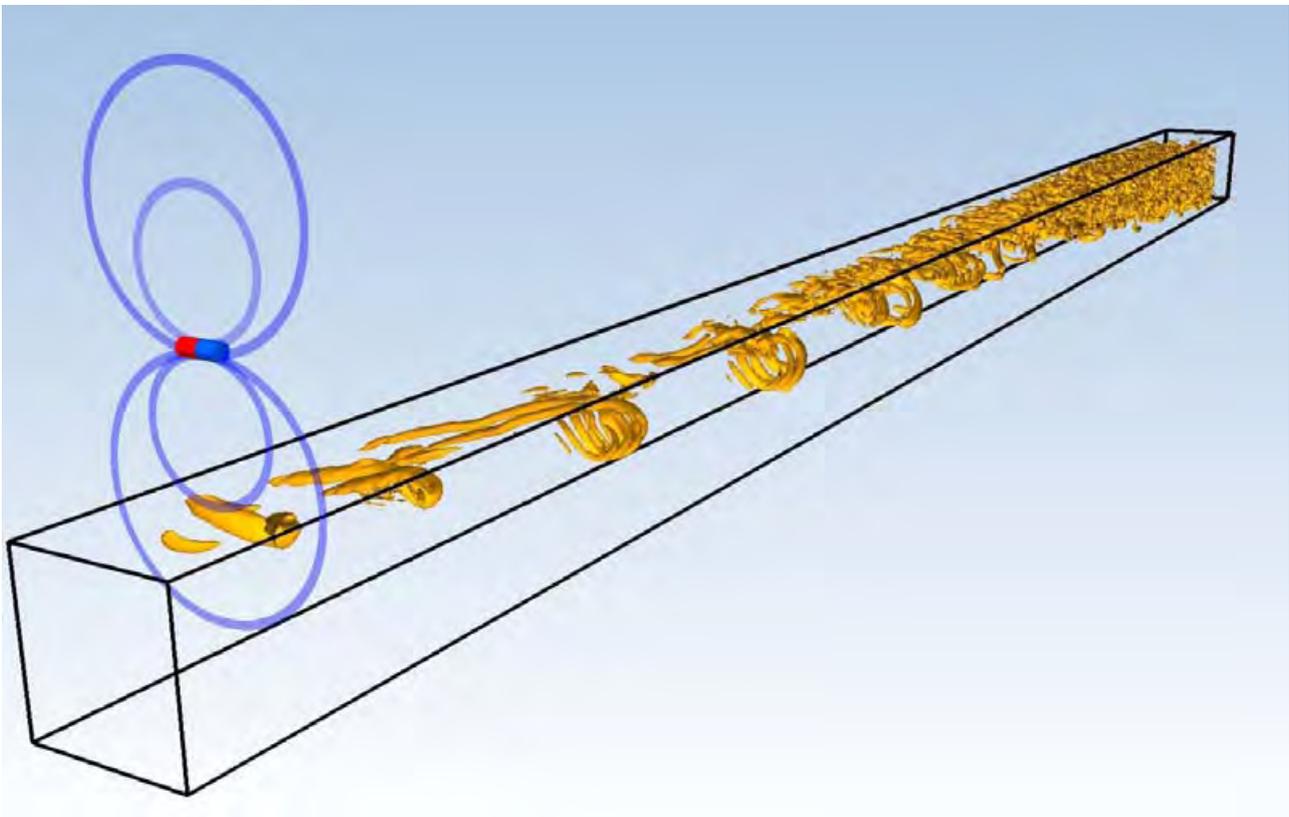


Abb. 3: Magnetfeldlinien erzeugen Haarnadelwirbel: Ein magnetischer Dipol (kleiner rot-blauer Zylinder links oben) umgibt sich mit Magnetfeldlinien (hellblaue Kreise), die in die Flüssigmetallströmung hineinragen. Die wandnahen Magnetfeldlinien erzeugen in dem von links laminar einströmenden Flüssigmetall Wirbelstrukturen, sogenannte Haarnadelwirbel (hairpin vortices), die die gesamte Strömung in einen turbulenten Zustand verwandeln. Die gelben Strukturen sind die Isoflächen des mittleren Eigenwertes des Schertensors, die in der strömungsmechanischen Fachterminologie als „Lambda-2-Kriterium“ bezeichnet werden. Das Bild ist Resultat einer numerischen Strömungssimulation mit der Reynoldszahl $Re=2000$, der Hartmannzahl $Ha=100$ und einem Dipolabstand von $0,8$ Kanalbreiten. Simulation: Saskia Tympel, Graduiertenkolleg GRK 1567, Grundlagenprojekt A-3.

mit Laborexperimenten unter Verwendung des bei Raumtemperatur flüssigen Metalls Ga-In-Sn [13] zeigen, dass mit dem heutigen Stand der Simulationstechnik die Kalibrierkonstanten von Lorentzkraft-Anemometern mit einer Genauigkeit im einstelligen Prozentbereich vorhergesagt werden können. Dies ist für einige Industrieanwendungen

ausreichend. Doch erst wenn die Vorhersagegenauigkeit unter die magische Marke von 1% gedrückt werden kann, wozu das Ilmenauer Graduiertenkolleg beitragen will, kann sich die numerische Simulation als universelles Kalibrierwerkzeug etablieren.

Weitere mathematische Herausforderungen

Die numerische Kalibrierung ist nur eine von zahlreichen mathematischen Herausforderungen, die bei der Anwendung von Lorentzkraften für messtechnische Zwecke zu bewältigen sind. Auf zwei weitere – Magnetfeldoptimierung und Lorentzkraft-Wirbelstromprüfung – sei kurz eingegangen.

Die von der Strömung auf das Magnetfeld ausgeübte Lorentzkraft ist in der Regel viel kleiner als die Gewichtskraft des Magnetsystems. So liegt bei dem in Abbildung 1 dargestellten Lorentzkraft-Anemometer die in Strömungsrichtung wirkende Lorentzkraft in der Größenordnung von 1 Newton, während die Gewichtskraft etwa 100 Newton beträgt. Damit das Messverfahren gut funktioniert, ist es wichtig, eine möglichst hohe Lorentzkraft bei möglichst geringer Magnetfeldmasse zu erreichen. Hierzu muss man bei vorgegebener Magnetsystemmasse diejenige Verteilung der Magnetfeldquellen $\mathbf{M}(\mathbf{x})$ herausfinden, bei der die Lorentzkraft für eine definierte Strömung maximal ist. Bedenkt man, dass ein Magnetsystem aus mindestens 10 bauklötzgroßen Permanentmagnetwürfeln aufgebaut ist und die Magnetisierung jedes Würfels in 6 verschiedene Richtungen zeigen kann, so ergeben sich bereits für diesen einfachen Fall mehr als 60 Millionen Konfigurationen. Die Variantenzahl potenziert sich zusätzlich dadurch, dass die Konfigurationen für verschiedene Formen von Magnetsystemen wie etwa geschlossene Zylinder, lineare Anordnungen oder U-Strukturen variiert werden müssen. Dies stellt neue Herausforderungen an die mathematische Optimierung. Von grundlegendem mathematischem Interesse ist auch die bislang unerforschte Frage, wie weit man das Lorentzkraft-Masse-Verhältnis eines Magnetsystems in die Höhe treiben kann, wenn man statt der grobschlächtigen Bauklötzer legosteingroße oder sandkorngroße Magnetelemente verwendet.

Eine weites Anwendungsgebiet neben der Strömungsmessung bieten Lorentzkraften auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Bei der bekannten Wirbelstromprüfung werden in einem metallischen Werkstück mittels einer mit Wechselstrom betriebenen Spule Wirbelströme induziert und gleichzeitig die Impedanz dieser Spule gemessen. Befindet sich im Werkstoff ein Defekt in Form eines Risses oder eines elektrisch nichtleitenden Einschlusses, so werden die Wirbelströme behindert und die von der Spule gemessene Impedanz wächst. Das Wirbelstromprüfverfahren findet zwar breite industrielle Anwendung, ist jedoch auf die Erkennung von Defekten in unmittelbarer Oberflächennähe beschränkt, weil die

Wirbelströme auf Grund des Skin-Effektes nur einige Millimeter in das Werkstück eindringen können. Die Lorentzkraft-Wirbelstromprüfung [12] überwindet diesen Nachteil, indem die Wirbelströme nicht mittels einer Induktionsspule, sondern mittels eines relativ zum Werkstück bewegten Magnetsystems induziert werden. Misst man wie bei der Lorentzkraft-Anemometrie die auf das Magnetsystem wirkende zeitabhängige Kraft, so macht sich die Anwesenheit eines Defekts als kurzer Einbruch in der Lorentzkraft bemerkbar – ähnlich einem Kratzer auf einer Schallplatte. Derzeit konzentriert sich die Forschung auf die Lösung des Vorwärtsproblems, bei dem man für einen vorgegebenen Defekt sowohl experimentell als auch numerisch die Kraft-Zeit Kurve bestimmt. Künftige Doktorandengenerationen im Graduiertenkolleg sollen auch das inverse Problem angehen und aus Messkurven die Lage und die Form von Defekten berechnen.

Danksagung

Der Autor dankt allen Mitgliedern des Graduiertenkollegs 1567 „Elektromagnetische Strömungsmessung und Wirbelstromprüfung mittels Lorentzkraft“ für die interessante und fruchtbare interdisziplinäre Kooperation seit Beginn der Laufzeit im Januar 2010. Die Mitglieder des Graduiertenkollegs danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung der grundlagenorientierten Projekte sowie dem BMBF, dem BMWi, dem Chinese Scholarship Council und zahlreichen Industriepartnern für die Finanzierung der anwendungsorientierten Projekte.

Literatur

- [1] Shercliff J. A. 1962: Electromagnetic Flow Measurement, Cambridge University Press.
- [2] Bonfig K.W. 2001: Technische Durchflussmessung: Unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Durchflussmessverfahren, Karl Walter Bonfig, Vulkan Verlag.
- [3] Durst F., Melling A., Whitelaw J.H. 1981: Principles and Practice of Laser-Doppler Anemometry, Second Edition, Academic Press London.
- [4] Takeda Y. 1991: Nucl. Eng. Des., vol. 126, 277-284.
- [5] Kakimoto K., Eguchi M., Watnabe H., Hibiya T. 1988: J. Cryst. Growth, vol. 88, 365-370.
- [6] Feng C.C., Deeds W.E., Dodd C.V. 1975: J. Appl. Phys., vol. 46, 2935-2940.
- [7] Stefani F., Gundrum T., Gerbeth G. 2004: Phys. Rev. E, vol. 70, 056306.
- [8] Thess A., Votyakov E., Kolesnikov Y. 2006: Phys. Rev. Lett., vol. 96, 164501.
- [9] Thess A., Votyakov E., Knaepen B., Zikanov O. 2007: New J. Phys., vol. 9, 299.
- [10] Wegfrass A., Diethold C., Werner M., Fröhlich T., Halbedel B., Hilbrunner F., Resagk C., Thess A., 2012: Appl. Phys. Lett., vol. 100, 194103.
- [11] Wang X., Kolesnikov Y., Thess A. 2012: Meas. Sci. Tech., vol. 23, 045005.
- [12] Uhlig R., Zec M., Brauer H., Thess A. 2012: J. Nondestruct. Eval., vol. 112, 124914.



André Thess ist Professor für Thermodynamik und Magnetofluidynamik an der Technischen Universität Ilmenau und Sprecher des DFG-Graduiertenkollegs 1567 „Elektromagnetische Strömungsmessung und Wirbelstromprüfung mittels Lorentzkraft“ (rechts beim Test eines Lorentzkraft-Anemometers). Er studierte von 1982 bis 1987 Physik an der TU Dresden, promovierte 1991 im Fach Theoretischen Physik und sammelte als Postdoktorand in Lyon, Grenoble und Princeton Erfahrungen auf den Gebieten Magnetohydrodynamik und Strömungssimulation. Seit seiner Berufung an die TU Ilmenau im Jahre 1998 führten ihn Gastprofessuren nach Stanford (USA), Nagoya (Japan) und Shenyang (China). Thess setzt sich mit seinem Buch „Das Entropieprinzip – Thermodynamik für Unzufriedene“ für mehr mathematische Sorgfalt bei der Thermodynamik-Ausbildung von Ingenieuren ein.



RUNDBRIEF READERS

Save 30% on these SIAM titles:

Approximation Theory and Approximation Practice

Lloyd N. Trefethen

In a book that will appeal to beginners and experts alike, Oxford University's Nick Trefethen presents approximation theory using a fresh approach for this established field. This is a textbook on classical polynomial and rational approximation theory for the twenty-first century. It uses Matlab® to teach the field's most important ideas and results and differs fundamentally from other works on approximation theory in a number of ways: its emphasis is on topics close to numerical algorithms; concepts are illustrated with Chebfun; and each chapter is a PUBLISHable Matlab M-file, available online.

2012 • xiii + 305 pages • Softcover • 978-1-611972-39-9 • List \$49.00 • Rundbrief Reader Price \$34.30 • OT128

Semidefinite Optimization and Convex Algebraic Geometry

Edited by Grigoriy Blekherman, Pablo A. Parrilo, and Rekha R. Thomas

MOS-SIAM Series on Optimization 13

A self-contained, accessible introduction to the mathematical advances and challenges resulting from the use of semidefinite programming in polynomial optimization. Each chapter addresses a fundamental aspect of this quickly evolving research area. The book begins with an introduction to nonnegative polynomials and sums of squares and their connections to semidefinite programming and quickly advances to several areas at the forefront of current research.

2012 • xx + 475 pages • Softcover • 978-1-611972-28-3 • List \$129.00 • Rundbrief Reader Price \$90.30 • MO13

Algebraic and Geometric Ideas in the Theory of Discrete Optimization

Jesús A. De Loera, Raymond Hemmecke, and Matthias Köppe

MOS-SIAM Series on Optimization 14

This book presents recent advances in the mathematical theory of discrete optimization, particularly those supported by methods from algebraic geometry, commutative algebra, convex and discrete geometry, generating functions, and other tools normally considered outside the standard curriculum in optimization. It offers several research technologies not yet well known among practitioners of discrete optimization, minimizes prerequisites for learning these methods, and provides a transition from linear discrete optimization to nonlinear discrete optimization.

2012 • xx + 322 pages • Softcover • 978-1-611972-43-6 • List \$109.00 • Rundbrief Reader Price \$76.30 • MO14

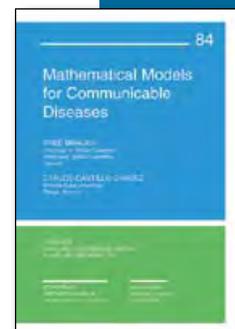
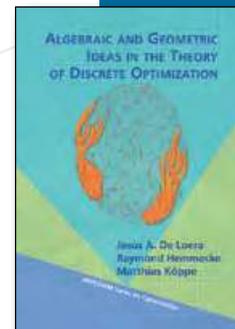
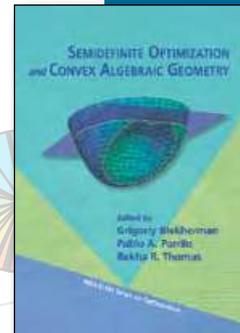
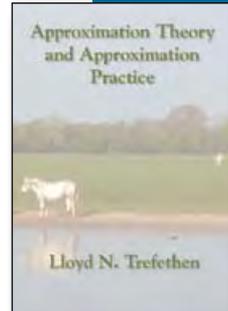
Mathematical Models for Communicable Diseases

Fred Brauer and Carlos Castillo-Chavez

CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 84

This graduate-level monograph appeals to readers interested in the mathematical theory of disease transmission models. It is self-contained and accessible to readers who are comfortable with calculus, elementary differential equations, and linear algebra. The book provides insight into modeling cross-immunity between different disease strains (such as influenza) and the synergistic interactions between multiple diseases (e.g., HIV and tuberculosis); diseases transmitted by viral agents, bacteria, and vectors (e.g., mosquitos transmitting malaria to humans); and both epidemic and endemic disease occurrences.

2012 • xviii + 270 pages • Softcover • 978-1-611972-41-2 • List \$77.00 • Rundbrief Reader Price \$53.90 • CB84



Art is adapted from a paper by A. L. Traud, E. D. Kelsic, P. J. Mucha, M. A. Porter, "Comparing Community Structure to Characteristics in Online Collegiate Social Networks," SIRBY Vol.53, pp.526-543.

siam SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS

TO ORDER, SHOP ONLINE AT www.siam.org/catalog.

Use your credit card (AMEX, MasterCard, and VISA) by phone: +1-215-382-9800 (worldwide) or fax: +1-215-386-7999.

Or send check or money order in US dollars to: SIAM, Dept. BKGM13, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA.

Members and customers outside North America can order SIAM books through Cambridge University Press at www.cambridge.org/siam.

Be sure to enter code "BKGM13" to get special discount price.

ORDER ONLINE:
WWW.SIAM.ORG/CATALOG

EULERS ELASTICA – EIN LEHRBEISPIEL FÜR DIE ANALYTISCHE BEHANDLUNG STRUKTURELLER INSTABILITÄTEN

VON REINHOLD KIENZLER UND WOLFGANG H. MÜLLER

Eingangsbemerkungen – Die mathematische Behandlung struktureller Instabilitäten ist ein Thema, das im Grundkurs Technische Mechanik aus Zeitgründen normalerweise sehr stiefmütterlich behandelt wird. Typischerweise bleibt hier gerade einmal Zeit, die vier Eulerschen Knickfälle konzeptionell zu erläutern und Formeln für die zugehörige kritische Knicklast $P_c = \pi^2 EI / (\kappa l)^2$ in Abhängigkeit vom Lagerungsfall κ anzugeben (vgl. die in Abb. 1 dargestellten vier Konfigurationen mit den Beiwerten $\kappa_i = 2, 1, 0,7, 0,5$ der Balkenlänge l und der Biegesteifigkeit EI). Die Frage nach der Berechnung der Durchbiegung bei Überschreiten des kritischen Lastwertes $P > P_c$, also die Frage nach dem Nachknickverhalten, verbunden mit quantitativen Bifurkationsdiagrammen und Gleichungen für die Reststeifigkeit des verformten Stabes als Funktion von P , wird im Grundkurs jedoch i. A. nicht beantwortet und selbst in einem Kurs zur höheren Festigkeitslehre oft als numerisch zu klärendes Problem angesehen, für das gewisse Näherungsformeln gälten, die mit dem Verfahren von Rayleigh-Ritz hergeleitet werden könnten. (Abb.1)

Gerade für den Eulerschen Knickstab ist es jedoch möglich, solche Fragen in mathematisch geschlossener Form zu beantworten. Diese Erkenntnis ist keineswegs neu und in der Tat wussten bereits die Klassiker (siehe etwa [1] oder [2]) davon. Ein Preis für die geschlossene Lösung war jedoch zu bezahlen und zwar in Gestalt elliptischer Integrale, für deren Auswertung man früher auf Tabellenwerke angewiesen war. Das mag ein Grund dafür sein, weshalb die ganze Methode in Vergessenheit geriet. Mit dem Aufkommen analytisch-mathematischer Programmsysteme, wie beispielsweise Mathematica®, ist dieser Grund jedoch obsolet. Unser Artikel ist daher ein Plädoyer dafür, die Post-Instabilitätsanalyse von Strukturen und die dabei notwendigen Begriffe am Beispiel des Knickstabes analytisch-geschlossen einzuführen und so, in didaktisch sinnvoller Weise, Näherungen und numerische Prozeduren hiervon klar zu trennen. Um den Aufsatz nicht zu überlasten, werden wir das Vorgehen möglichst kurz am Beispiel des 2. Eulerfalls (Lagerung durch ein Fest- und ein Loslager) erläutern und uns auf den für die Praxis relevantesten Fall des einseitigen Knickens beschränken.

Voraussetzungen und wichtige Formeln der exakten Lösung – Um das post-kritische Verhalten von Knickstäben mathematisch geschlossen zu beschreiben, setzen wir Folgendes voraus:

- Es gibt keine Normalkraftverformung, d. h. $EA \rightarrow \infty$ (E : Elastizitätsmodul, A : Stabquerschnitt) und die Stablänge $l = \int ds$ bleibt konstant (ds : Element der Bogenlänge s mit $0 \leq s \leq l$).
- Die Biegesteifigkeit ist über der Bogenlänge s des Stabes konstant ($EI = \text{const.}$), und das Flächenträgheitsmoment I wird im Schwerpunktssystem des undefor-mierten Stabes berechnet: $I = \int_A z^2 dA$ (vgl. das Koordinatensystem in Abb. 2).
- Verteilte Normal- und Querbela-stungen sind ausgeschlossen: $n(s) = 0$, $q(s) = 0$.
- Der Stab ist beidseitig gelenkig gelagert (2. Eulerfall). Für den Fall anderer Lagerungen siehe [3].

Der Freischnitt aus Abb. 2 (Mitte) führt sofort auf das Ergebnis $M(s) = Pw(s)$, wobei P die aktuelle überkritische Last und $w(s)$ die (hier willkürlich nach unten, in positive Richtung z eingezeichnete) Durchbiegung an der Stelle s des Stabes bezeichnet. Abb. 2 (links bzw. rechts) entnehmen wir die geometrischen Beziehungen

$$f = l - x(l), \quad dw/ds = -\sin \varphi, \quad dx/ds = \cos \varphi \quad (1)$$

Das Hookesche Gesetz in eindimensionaler Form liefert durch eine geometrische Betrachtung am verformten Bogenlinienelement die Beziehung $\rho^{-1} = -M(s)/EI$

für den Radius ρ des Schmiegekreises an die neutrale Faser, Eulers „Elastica“. ρ^{-1} wiederum ist nichts anderes als die lokale Krümmung κ im Punkt s . Aufgrund differentialgeometrischer Überlegungen ist die Krümmung gegeben durch die Änderung des Biegewinkels φ mit der Bogenlänge: $\kappa = d\varphi/ds$. Indem man die genannten Gleichungen miteinander verknüpft, resultiert schließlich die folgende, nichtlineare Differentialgleichung 2. Ordnung für den Biegewinkel:

$$\frac{d^2 \varphi}{ds^2} + \frac{\lambda^2}{l^2} \sin \varphi = 0, \quad \lambda^2 = \frac{Pl^2}{EI} \equiv \pi^2 \frac{P}{P_c} \quad (2)$$

An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die Krümmung nicht genähert wurde und große Deformationen, man könnte auch sagen nichtlineare Geometrie, ausdrücklich zugelassen sind.

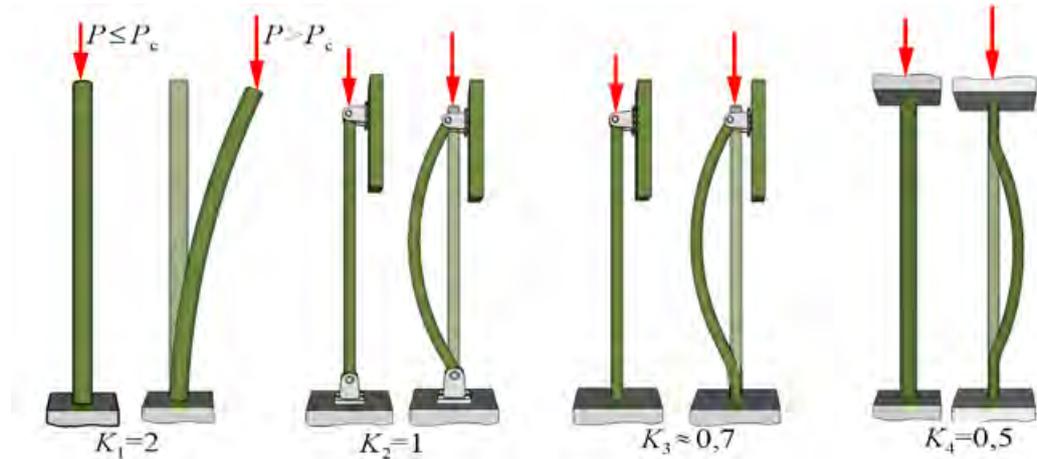


Abb. 1: Die vier Eulerschen Knickfälle.

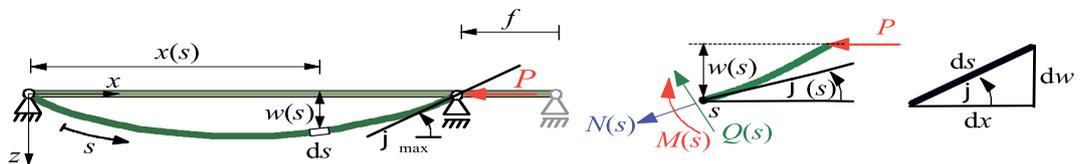


Abb. 2: 2. Eulerfall mit Freischnitt des rechten Endes und Geometrie am Bogenelement.

Die Differentialgleichung (2) gilt es nun zu lösen. Zusätzlich benötigt man zwei weitere Bedingungen. Zum einen muss das Moment am rechten Auflager verschwinden, also ist $d\varphi/ds|_{s=l} = 0$. Zum anderen ergibt sich am rechten Lager unter der Last P gerade der maximale (positive) Biegewinkel $\varphi|_{s=l} = \varphi_{\max}$, der zum jetzigen Zeitpunkt noch unbekannt ist. Im Folgenden wird er aus ersichtlichem Grund auch „Anstellwinkel“ genannt. Aufgrund der Identität

$$\frac{d^2\varphi}{ds^2} = \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{d\varphi}{ds} \right) \frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} \left[\left(\frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \right]$$

lassen sich die Veränderlichen trennen, und es folgt durch Integration von einem beliebigen Bogenpunkt s bis zum rechten Auflager:

$$\frac{d\varphi}{ds} = \pm \sqrt{2} \frac{\lambda}{l} \sqrt{\cos\varphi - \cos\varphi_{\max}} \quad (3)$$

Da der Biegewinkel vom linken Lager an von einem negativen Wert $-\varphi_{\max}$ über den Wert Null beim Durchbiegungsmaximum an der Stelle $s = l/2$ stetig auf den positiven Wert φ_{\max} am rechten Lager ansteigt, ist in Gleichung (3) das positive Vorzeichen zu wählen.

Eine zweite Integration von der beliebigen Stelle s bis zum Loslager bei $S = l$ bringt nach Trennung der Veränderlichen:

$$l - s = \frac{l}{\sqrt{2}\lambda} \int_{\varphi=\varphi}^{\varphi=\varphi_{\max}} \frac{d\varphi}{\sqrt{\cos\varphi - \cos\varphi_{\max}}} \quad (4)$$

Das verbliebene Integral muss nun noch auf Normalform gebracht werden. Dies gelingt mit folgender Substitution von der Variablen φ auf die Variable t :

$$k \sin t = \sin \frac{\varphi}{2}, \quad k^2 = \sin^2 \frac{\varphi_{\max}}{2}, \quad -\frac{\pi}{2} \leq t \leq \frac{\pi}{2}, \quad -\varphi_{\max} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}, \quad \frac{d\varphi}{dt} = 2 \frac{k \cos t}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 t}} \quad (5)$$

Es resultiert:

$$\frac{s}{l} = 1 - \frac{1}{\lambda} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\tilde{t}}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \tilde{t}}} = 1 - \frac{1}{\lambda} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \dots - \int_0^t \frac{d\tilde{t}}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \tilde{t}}} \right) = 1 - \frac{1}{\lambda} [K(k) - F(k, t)] \quad (6)$$

mit dem unvollständigen und vollständigen elliptischen Integral erster Art:

$$F(k, t) = \int_0^t \frac{d\tilde{t}}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \tilde{t}}}, \quad K(k) = F(k, \frac{\pi}{2}) \quad (7)$$

Gleichung (6) kann man speziell bei $t = 0$ (entspricht der Symmetriebedingung $\varphi(s = l/2) = 0$) auswerten. Dann muss die linke Seite 1/2 ergeben, und es folgt eine Beziehung zwischen dem Lastverhältnis (gegeben durch den Faktor λ , Gleichung (2)) und den zugehörigen Anstellwinkeln $\pm\varphi_{\max}$ (enthalten im Faktor k , Gleichung (5)) an den Lagern:

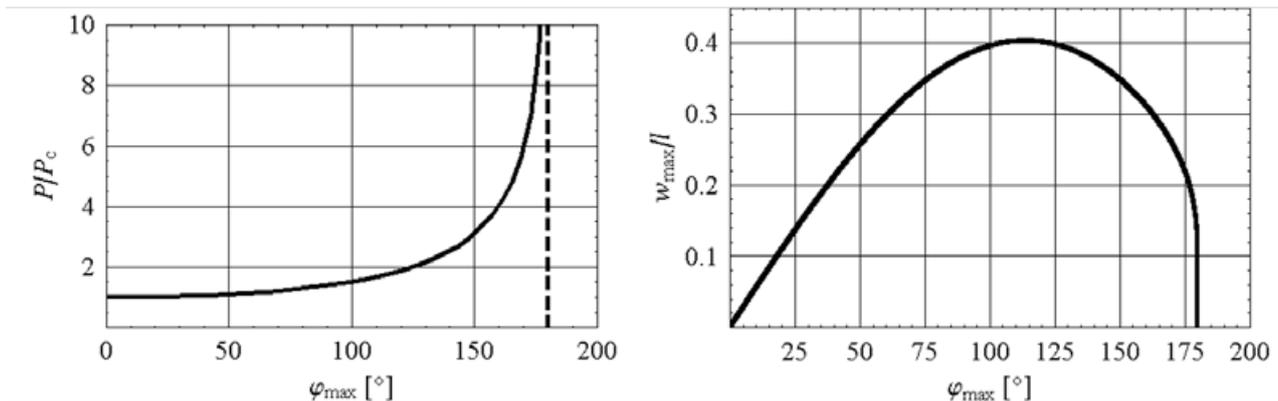


Abb. 3: Normierte Kraft und normierte maximale Durchbiegung (sog. „Freiheitsgrad“) als Funktion des Anstellwinkels an den Enden des Knickstabes.

$$\lambda = 2K(k) \quad \text{bzw.} \quad \frac{P}{P_c} = \left(\frac{2}{\pi} K\left(\sin \frac{\varphi_{\max}}{2}\right) \right)^2. \quad (8)$$

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 3 (links) zu sehen. Bemerkenswert ist, dass es zunächst einer relativ geringen Kraftsteigerung bedarf, um große Änderungen des Winkels φ_{\max} zu erreichen (z. B. ist bei einer Überschreitung der kritischen Last von lediglich 10 %, d. h. $P/P_c = 1,1$, der Anstellwinkel φ_{\max} bereits ungefähr 49°). φ_{\max} kann zwischen 0° (realisiert bei Erreichen der kritischen Last) und 180° variieren. Je näher man jedoch an den Wert 180° kommt, umso größer wird die erforderliche Kraft, und um 180° zu erreichen, ist sogar eine unendlich große Kraft nötig. Dies wird weiter unten anschaulich begründet.

Damit ist auch schon alles Wesentliche zu Gleichung (6) gesagt. Wir integrieren nun als nächstes die geometrischen Beziehungen (1 b, c) unter Beachtung der Randbedingungen $x(0)=0$ und $w(0)=0$ sowie der Substitution nach Gleichung (5), um zu finden, dass:

$$\frac{x(t)}{l} = \frac{1}{K(k)} \left[E(k, t) + E(k) - \frac{1}{2} F(k, t) \right] - \frac{1}{2}, \quad \frac{w(t)}{l} = \frac{k \cos(t)}{K(k)} \quad (9)$$

mit dem unvollständigen und vollständigen elliptischen Integral zweiter Art:

$$E(k, t) = \int_{\tilde{t}=0}^{\tilde{t}=t} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \tilde{t}} \, d\tilde{t}, \quad E(k) = E\left(k, \frac{\pi}{2}\right). \quad (10)$$

Gleichung (9) ist nichts anderes als die Parameterdarstellung der deformierten Elastica im 2. Eulerfall und zwar ungenähert bei beliebig großen Anstellwinkeln φ_{\max} (enthalten in k). Die Berechnung der Lastpunktsverschiebung ist damit auch geschlossen und näherungsfrei möglich:

$$\frac{f}{l} = 1 - \frac{x(s=l)}{l} = 1 - \frac{x\left(t = \frac{\pi}{2}\right)}{l} = 2 \left[1 - \frac{E(k)}{K(k)} \right]. \quad (11)$$

In der Stabilitätsanalyse ist es üblich, sog. Freiheitsgrade, auch generalisierte Koordinaten genannt, zu verwenden

und zwar im Fall des Nachknickverhaltens des 2. Eulerfalls die maximale Auslenkung in der Stabmitte, also:

$$\frac{w_{\max}}{l} = \frac{k}{K(k)} \quad \text{mit} \quad w_{\max} = w(t=0). \quad (12)$$

Diese Größe ist in Abb. 3 (rechts) als Funktion des maximalen Biege winkels an den Balkenenden dargestellt. Auffällig ist, dass die maximale Durchbiegung, wie man es auch intuitiv erwarten würde, zunächst ansteigt, dann aber ab einem Maximalwert von ca. 0,403 bei $k^2 \approx 0,8375$, also bei $\varphi_{\max} \approx 113,7^\circ$ wieder abfällt. Warum das so sein muss, zeigt die aus Gleichung (9) resultierende Darstellung einiger Verformungskurven in Abb. 4: Bei kleinen Anstellwinkeln ähnelt die deformierte Elastica einem Sinusbogen. Bei höheren Anstellwinkeln zieht jedoch das Loslager am Festlager (bei $x=0$) nach links vorbei (beide Lager liegen für $\varphi_{\max} \approx 130,7^\circ$ übereinander), und die Elastica wird eine Art Schlaufe. Die Maximalauslenkung erreicht ein Maximum, wird danach aber wieder kleiner, um beim Anstellwinkel 180° auf Null zu fallen. Wie man mit (11) nachrechnet, ist dann die auf l normierte Lastpunktsverschiebung maximal gleich 2, und das macht auch anschaulich Sinn: Das Loslager kann bei fester Gesamtbogenlänge l höchstens bis zur Stelle $-l$ verschoben werden. Andererseits wird die zugehörige Kraft P theoretisch unendlich groß (vgl. Abb. 3, links), da es nicht möglich ist, die Schlaufe „glatt“ zu ziehen, ohne eine unendlich große Krümmung zu erzeugen.

In der Tat findet man auch bei Timoshenko und Gere [1] Bilder der in Abb. 4 gezeigten Art. Allerdings wird nicht erläutert, wie und für welche Anstellwinkel diese numerisch berechnet wurden. Dies ist nicht verwunderlich, denn in der damaligen Zeit war die Auswertung sicherlich nur mühsam über Tabellenwerke möglich. Wenigstens das hat sich in unserer Zeit zum Positiven hin gewendet.

Mit Hilfe der Gleichungen (11) und (12) lassen sich schließlich noch die ungenäherten Bifurkations- und Reststeifigkeitsdiagramme zeichnen: Abb. 5. Während das Reststeifigkeitsdiagramm wie aus der linearisierten Nachknickanalyse gewohnt eine monoton wachsende

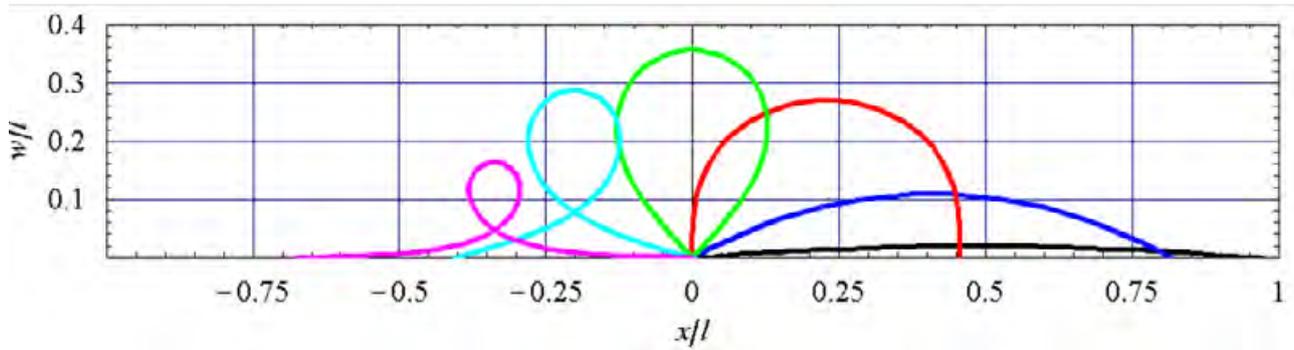


Abb. 4: Die verformte Elastica für die Anstellwinkel 20° (schwarz), 50° (blau), 90° (rot), 130° (grün), 165° (türkis) und 179° (lila).

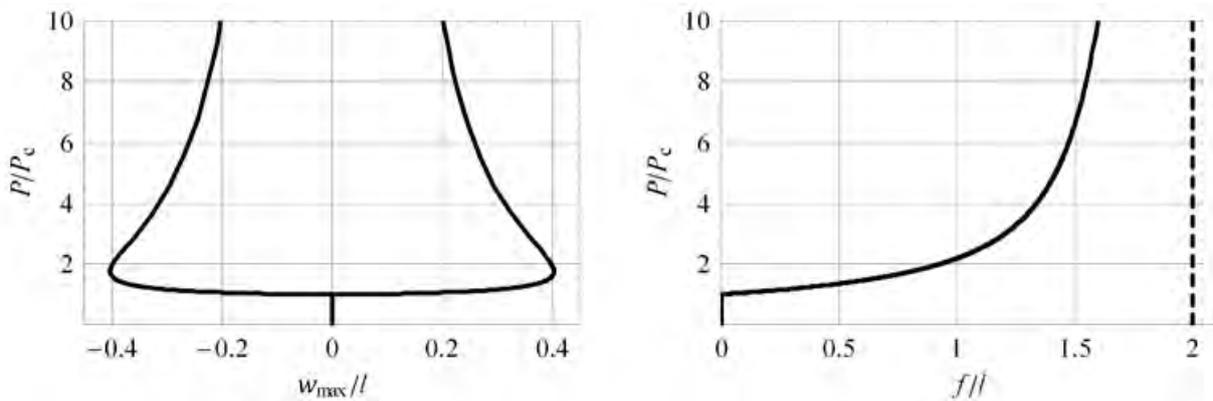


Abb. 5: Ungenähertes Bifurkations- und Reststeifigkeitsdiagramm.

Kurve zeigt (Anfangssteigung ungleich Null), zeigt das Bifurkationsdiagramm nicht den gewohnten monotonen Anstieg. Vielmehr erreicht der Freiheitsgrad w_{max}/l ein Maximum und fällt danach mit wachsender Kraft ab, so wie es nach Abb. 4 auch zu erwarten ist. In der linearisierten Nachknickanalyse werden ja Kraftzustände in der Nähe der kritischen Last analysiert und man kommt gar nicht in diese Bereiche hinein. Das soll jetzt noch etwas tiefer untersucht werden.

Näherungslösungen – Um die dargestellten Integrationen zu umgehen, sucht man nach Näherungslösungen, indem man die Winkelfunktionen entwickelt und nach dem ersten Glied abbricht, also $\sin \varphi \approx \varphi$, $\cos \varphi \approx 1 - \frac{1}{2}\varphi^2$ und $K(k) \approx \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{k^2}{4}\right)$ setzt. Ist jedoch die exakte Lösung wie in unserem Fall bekannt, kann man auch die obigen

Endergebnisse in Reihen entwickeln und jeweils nach dem ersten Glied abbrechen. Beide Vorgehensweisen führen auf dasselbe Ergebnis und man erhält:

$$\varphi(s) \approx -\varphi_{max} \cos \frac{\pi s}{l}, \quad w(s) \approx \frac{\varphi_{max}}{\pi} \sin \frac{\pi s}{l}, \quad x(s) \approx s \left(1 - \frac{1}{4} \varphi_{max}^2 - \frac{l}{8\pi s} \sin \frac{2\pi s}{l} \right). \quad (13)$$

$$\text{Also ist: } \frac{f}{l} = 1 - \frac{x(l)}{l} \approx \frac{1}{4} \varphi_{max}^2 \quad (14)$$

Ferner ist die Gleichung (8) für kleine k zu entwickeln und dann die Substitution (5b) linearisiert vorzunehmen:

$$\frac{P}{P_c} \approx 1 + \frac{1}{8} \varphi_{max}^2. \quad (15)$$

Mithin folgen für die Bifurkationskurve bzw. Reststeifigkeitsfunktion die folgenden wohlbekannten quadratischen bzw. linearen Zusammenhänge:

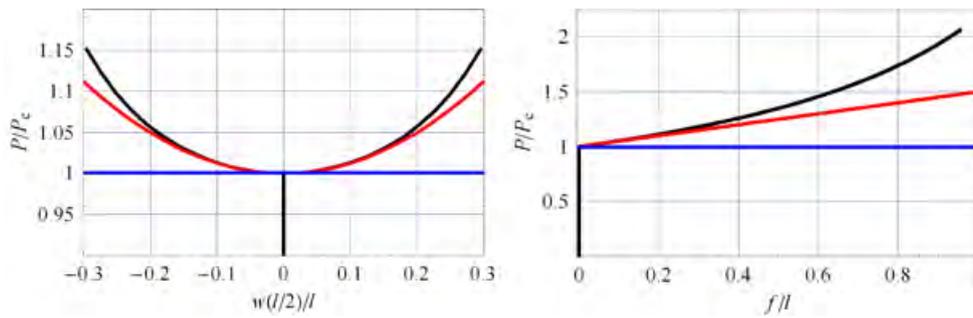


Abb. 6: Bifurkations- und Reststeifigkeitsdiagramme im Vergleich (blau: 0. Näherung, rot: 1. Näherung, schwarz: exakte Lösung).

φ_{\max}	P/P_c			w_{\max}/l			f/l		
	Näherung	exakt	Δ in %	Näherung	exakt	Δ in %	Näherung	exakt	Δ in %
2°	1,000152	1,000152	-	0,01110	0,01111	0,09	0,00030	0,00030	-
4°	1,000609	1,000609	-	0,02222	0,02221	0,04	0,00122	0,000122	-
8°	1,0024371	1,002441	0,0004	0,04444	0,04437	0,17	0,00487	0,00487	-
16°	1,009748	1,009816	0,007	0,08889	0,08817	0,82	0,01950	0,01940	0,5
32°	1,0390	1,0401	0,1	0,17780	0,17206	3,3	0,0780	0,0767	1,7
64°	1,1560	1,1752	1,6	0,35560	0,31120	14	0,3120	0,2924	6,7

$$\frac{P}{P_c} \approx 1 + \frac{\pi^2}{8} \left(\frac{w_{\max}}{l} \right)^2, \quad \frac{P}{P_c} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{f}{l} \quad \text{bzw.} \quad \frac{w_{\max}}{l} \approx \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \sqrt{\frac{P}{P_c} - 1}, \quad \frac{f}{l} \approx 2 \left(\frac{P}{P_c} - 1 \right) \quad (16)$$

Diese Beziehungen 1. Ordnung sind im Vergleich mit der exakten Lösung und der 0. Näherung (lineares Knicken) in Abb. 6 dargestellt. Wie in den übrigen Diagrammen wurden die diversen elliptischen Integrale mit Hilfe von Mathematica® berechnet und dann geplottet. Handarbeit, z. B. mit den im Bronstein/Semendjajew angegebenen diskreten Tabellenwerten, ist aber auch leicht möglich und durchaus sinnvoll. Mit der Hilfe dieser Daten wurde nämlich die vorstehende Tabelle erstellt, welche die Güte der Näherung im Vergleich zur exakten Lösung untersucht und die zeigt, dass sich der Fehler selbst bei mehr als dreißig Grad Anstellwinkel im Bereich von nur wenigen Prozent bewegt.

Literatur

[1] Timoshenko, S.P., Gere, J.M. (1961): Theory of Elastic Stability. 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
 [2] Pflüger, A. (1964): Stabilitätsprobleme der Elastostatik. Zweite neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, New York.
 [3] Hauck, T., Müller, W.H., Schmadlack, I. (2010): Nonlinear Buckling Analysis of Vertical Wafer Probe Technology. Engineering Microsystem Technologies, 16(11), pp. 1909-1920.



Reinhold Kienzler studierte Bauingenieurwesen (Konstruktiver Ingenieurbau) an der Technischen Hochschule Darmstadt (THD) und promovierte am Fachbereich Mechanik an der THD mit einer Arbeit zur Schalentheorie. Nach einem einhalbjährigen Forschungsaufenthalt als visiting scholar an der Stanford University arbeitete er am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik in Freiburg. Während dieser Zeit habilitierte er sich extern an der Universität Karlsruhe für das Fach Technische Mechanik. Seit 1991 leitet er als Universitätsprofessor das Fachgebiet Technische Mechanik-Strukturmechanik im Fachbereich Produktionstechnik - Maschinenbau/Verfahrenstechnik der Universität Bremen. 1996 wurde er mit dem Preis für ausgezeichnete Lehre und ihre Innovation (Berninhausen-Preis der Universität Bremen) ausgezeichnet und 2011 zum Honorary Member of the Polish Society of Theoretical and Applied Mechanics ernannt. Von 2002-2010 war Reinhold Kienzler Vizesekretär der GAMM und ist seit 2004 Editor-in-Chief des Archive of Applied Mechanics. Seine Forschungsgebiete umfassen Flächentragwerke, Ermüdungs- Bruch- und Schädigungsmechanik sowie Konfigurationsmechanik (Mechanik im materiellen Raum).



Wolfgang H. Müller studierte von 1977-1982 Physik an der Technischen Universität Berlin. Der Schwerpunkt seiner Diplomarbeit lag auf kontinuumsmechanischen Fragestellungen. 1986 promovierte er am Fachbereich Physikalische Ingenieurwissenschaft der TU Berlin mit einer Arbeit zur Bruchmechanik und Werkstoffmodellierung umwandlungsverstärkter Keramiken. Es folgten Postdoczeiten in Stanford und Santa Barbara sowie Lehr- und Wanderjahre durch die Industrie. 1993 erging ein Ruf auf eine C2- Hochschuldozentur für Strukturmechanik an der Universität Paderborn, wo er sich 1997 mit einer Arbeit zur Mikromechanik heterogener Werkstoffe habilitierte. 1998 erfolgte ein Ruf an die Heriot-Watt University in Edinburgh-Schottland, zunächst als Reader for Mechanical Engineering und schließlich 1999 als Full Professor and Chair of Mechanical Engineering. 2001 folgte er einem Ruf an die TU Berlin auf die Professur für Kontinuumsmechanik und Materialtheorie. Sein Hauptarbeitsgebiet war und ist die Kombination kontinuumsmechanischer Modellvorstellungen mit einschlägigen Experimenten an Festkörpern.

AUSSCHREIBUNG DES RICHARD-VON-MISES-PREISES DER GAMM 2014

CALL FOR NOMINATIONS FOR THE RICHARD VON MISES PRIZE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS (GAMM) 2014

Seit dem Jahr 1989 verleiht die GAMM jährlich den Richard-von-Mises-Preis für hervorragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Angewandten Mathematik und Mechanik.

Traditionsgemäß erfolgt die Verleihung dieses Preises im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung der Jahrestagung der GAMM. Der Preisträger oder die Preisträgerin wird dazu seine/ihre Forschungsergebnisse in einem Hauptvortrag präsentieren.

Der Preis dient der Förderung jüngerer Wissenschaftler/-innen, deren Forschungsarbeiten wesentliche Fortschritte im Bereich der Angewandten Mathematik und Mechanik darstellen.

Der oder die Preisträger/-in sollte nicht älter als 36 Jahre sein, wobei unterbrochene Laufbahnen berücksichtigt werden können.

Vorschlagsberechtigt sind Hochschullehrer/-innen und Personen in entsprechenden Stellungen in der Forschung. Auch die Möglichkeit der eigenen Bewerbung ist gegeben. Vorschläge bzw. Bewerbungen sollten ein Begründungsschreiben und folgende Unterlagen des Kandidaten/ der Kandidatin enthalten:

- Lebenslauf,
- Publikationsliste,
- Kopien der wichtigsten wissenschaftlichen Arbeiten (max. 4).

Diese sind zu richten an den Präsidenten der GAMM, Prof. Dr. Volker Mehrmann, vorzugsweise in elektronischer Form.

Der Einreichungstermin ist der 30. September 2013.

Der Präsident der GAMM führt den Vorsitz des Richard-von-Mises-Preiskomitees, das folgende Mitglieder hat:

A. Bertram, Magdeburg (2011–2016)
 S. Müller, Bonn (2011–2016)
 U. Langer, Linz (2009–2015)
 H. C. Kuhlmann, Wien (2013–2018)

Präsident der GAMM
 V. Mehrmann, Berlin (Vorsitz) (2011–2013)

Since 1989, the Richard von Mises Prize is awarded every year by GAMM to a scientist for exceptional scientific achievements in the field of Applied Mathematics and Mechanics.

Traditionally, GAMM will present the prize during the opening ceremony of the GAMM Annual Meeting and the prize winner will present his research in a plenary talk.

The aim of the prize is to reward and encourage young scientists whose research represents a major advancement in the field of Applied Mathematics and Mechanics.

The winner should not be older than 36 years except if he or she has a broken career.

Nominations can be made by university professors or academic persons in similar positions. Self nomination is accepted.

Nominations should contain a justification letter by the nominating persons and the following material concerning the nominee:

- curriculum vitae,
- list of publications,
- copies of the most important scientific works (max. 4).

Nominations should be sent to the president of GAMM, Prof. Dr. Volker Mehrmann, preferably in electronic form.

The deadline for nomination is September 30th, 2013.

The Richard-von-Mises Prize committee has the following members:

Prof. Volker Mehrmann
 Technische Universität Berlin
 Institut für Mathematik, MA 4-5
 Straße des 17. Juni 136
 10623 Berlin

Tel.: +49-(0)30-314-25736
 Fax: +49-(0)30-314-79706
 E-Mail: mehrmann@math.tu-berlin.de

WIE VIEL UNBEKANNTE HAT DAS GRÖSSTE GLEICHUNGSSYSTEM, DAS MAN HEUTE LÖSEN KANN?

VON BJÖRN GMEINER, HARALD KÖSTLER, ULRICH RÜDE

Not all systems are created equal. Warum soll man sich heute noch für Verfahren zur Lösung von linearen Gleichungssystemen interessieren? Unter Kollegen wird bisweilen diskutiert, ob man das klassische Gaußsche Eliminationsverfahren überhaupt noch im Curriculum unterrichten soll, da heutzutage natürlich niemand mehr selbst den Algorithmus implementieren muss, sondern er in vielen ausgereiften Softwarepaketen bereits verfügbar ist, wie etwa in matlab, wo er bei der Anwendung des backslash-Operators genutzt wird. Was könnte dann das Thema auch heute noch interessant machen, und warum sind große Gleichungssysteme mit sehr vielen Unbekannten so wichtig? Dieser Artikel möchte einige Überlegungen dazu präsentieren.

Auf den ersten Blick scheint es, als würde die Frage nach dem größten lösbaren System zunächst eine einfache Antwort in Form einer Zahl haben. Aber bevor wir uns an einer Antwort versuchen, müssen wir zuerst die Frage präzisieren, denn wir interessieren uns offensichtlich nicht für Gleichungssysteme, die trivial lösbar sind. Hat z.B. die Systemmatrix Diagonalgestalt, benötigt man pro Unbekannte nur eine Rechenoperation. In diesem Fall könnte man auch auf einem Taschenrechner ein System mit beliebig vielen Unbekannten lösen, solange nur der Strom an Eingabedaten anhält. Solche Systeme, bei denen die Unbekannten unabhängig voneinander bestimmt werden können, sollen hier keine Rolle spielen.

Wir sind in diesem Artikel aber auch nicht besonders am anderen Extrem interessiert, nämlich allgemeinen voll besetzten Matrizen, die man mit dem Gaußschen Eliminationsverfahren mit kubischem Aufwand lösen kann. Dieser Fall verdient es aber, aus anderer Perspektive angesehen zu werden, denn die Bestmarke im Gleichungssystemlösen wird für diesen Fall halbjährlich in der TOP-500 Liste¹ dokumentiert. In diesem Archiv wird die Rechenleistung anhand des Linpack-Benchmarks charakterisiert, für den ein voll besetztes Gleichungssystem mit Gauß-Elimination gelöst wird. Bei der aktualisierten Datensammlung liegt im November 2012 das Maximum bei $N=12.681.215$ Unbekannten.

Supercomputer. Dieses System mit mehr als zwölf Millionen Unbekannten wurde auf der derzeit zweitschnellsten Maschine der Welt, einer „Blue Gene Q“ am Livermore

National Laboratory in Kalifornien berechnet. Dabei kamen mehr als 1,5 Millionen Rechenkerne zum Einsatz, die eine nominelle Spitzenleistung von ca. 20 PetaFlops ($= 2 \cdot 10^{16}$) Gleitpunktoperationen pro Sekunde) erreichen können. Die Leistungsaufnahme dieses Rechners liegt dabei bei fast 8 MWatt, was aber angesichts der verfügbaren Rechenleistung als energieeffizient gilt. Dieser Computer ist die viermal größere Ausführung des aktuell schnellsten Rechners in Europa namens JUQUEEN, der am Forschungszentrum in Jülich installiert ist und über 393.216 Rechenkerne verfügt. Dies sind beeindruckende Werte, die uns aber vor allem deshalb interessieren, weil damit der Stand der Rechnertechnik dokumentiert wird und wir so die technische Leistungsfähigkeit der aktuellen Rechner abschätzen können.

Als Ausgangspunkt können wir in diesem Sinn festhalten, dass solch leistungsfähige Supercomputer durch sehr hohe Parallelität charakterisiert sind und bis zu einer Million Prozessorkerne und darüber hinaus besitzen. Dies spiegelt einen Technologiebruch wider, der zum Aufkommen der Multi-Core-Architekturen geführt hat. Ein prominentes Beispiel ist hier die Verwendung von Graphikkarten als eine spezielle Spielart dieser Architekturen für numerische Berechnungen. Aus Sicht des Numerikers bedeutet dies, dass die Parallelisierung der Algorithmen zur unabwendbaren Pflicht geworden ist, einfach weil es keine sequentiellen Computer mehr gibt. Dieser Trend wird sich verstärkt fortsetzen, so dass auch kleinere Computer, wie sie in Ingenieurbüros oder Universitätsdepartments angeschafft werden, am Ende des laufenden Jahrzehnts zehntausend oder gar hunderttausend Rechenkerne besitzen werden. Ihre Leistungsfähigkeit wird ungenutzt bleiben, wenn die Algorithmen nicht parallelisiert werden.

Es sei nebenbei angemerkt, dass wir diesen Wandel in Forschung und Lehre noch lange nicht genügend umgesetzt haben. Eine Ausbildung in angewandter und numerischer Mathematik, die Absolventen nur klassische sequentielle Algorithmen vermittelt, muss nach heutigem Wissensstand als realitätsfremd eingestuft werden. Aber zurück zum Hauptthema des Artikels.

Dünn besetzte Gleichungssysteme. Große Gleichungssysteme sind außer für Benchmarking-Zwecke nur dann von Bedeutung, wenn sie aus interessanten Anwen-

¹ <http://www.top500.org/>

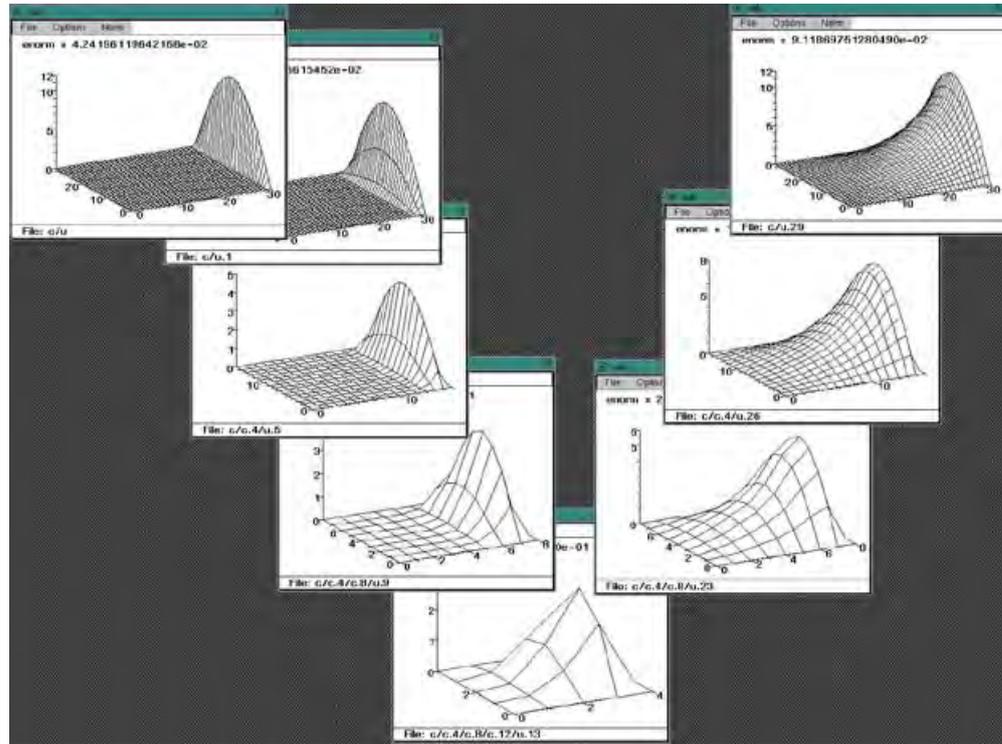


Abb. 1: Illustration eines Mehrgitter-V-Zyklus für die 2D-Laplace-Gleichung anhand der berechneten Zwischenlösungen. Beginnend von der Startlösung = 0, in der nur die Randwerte korrekt gesetzt sind (links oben), werden jeweils zwei Glättungsschritte und dann eine Restriktion auf das nächst gröbere Gitter durchgeführt. Auf dem größten Gitter (hier 5x5) wird exakt gelöst. Die rechte Hälfte des Diagramms zeigt, wie die Grobgitterkorrektur zu den nächst feineren Gittern interpoliert und dort zu der existierenden Lösung addiert wird. Nach einem weiteren Nachglättungsschritt wird weiter interpoliert. Am Ende entsteht rechts oben eine Approximation der Lösung, deren Fehler gegenüber der Anfangssituation um mehr als den Faktor 10 reduziert ist, was einer Konvergenzrate von besser als 0.1 entspricht. Die Bildfolge illustriert die Ausbreitung der Information im Diskretisierungsgitter. Jeder Glättungsschritt, der einer Matrix-Vektor-Multiplikation entspricht, kann Information nur zu den nächsten Nachbarn transportieren. Nur durch die volle Grobgitterhierarchie ist der Datenaustausch von jedem Gitterpunkt zu jedem anderen gewährleistet.

dungen stammen. Aus diesen Anwendungen heraus bekommen die Gleichungssysteme meist eine spezielle Struktur, die es auszunützen gilt, wenn man nicht teure Ressourcen unnützlich vergeuden will. Uns werden hier im Folgenden vor allem Gleichungssysteme interessieren, die aus der Diskretisierung von Differentialgleichungen entstehen. Sie sind von der Struktur her häufig dünn besetzt, denn die Koeffizienten der Systemmatrix beschreiben lokale Abhängigkeiten zwischen „räumlich benachbarten“ Freiheitsgraden der Lösung. Im Lösungsprozess muss aus diesen lokalen Bedingungen die globale Struktur der Lösung erzeugt werden.

Im Folgenden wollen wir gerade diesen Aspekt hervorheben und werden uns dazu speziell auf skalare elliptische Gleichungen konzentrieren, deren prominentester Prototyp die Poisson-Gleichung ist. Diese Gleichung und ihre vielen Verallgemeinerungen haben große Bedeutung, da sie als Baustein für die Lösung von ganz unterschiedlichen Problemstellungen gebraucht werden. Um nur zwei von vielen Beispielen zu nennen, sei auf die Druckkorrektur hingewiesen, die in Lösern für die inkompressiblen Navi-

er-Stokes-Gleichungen genutzt wird oder gitterbasierte Verfahren der Molekulardynamik mit langreichweitiger Coulomb-Wechselwirkung. Tatsächlich geht ein nicht unerheblicher Teil der Gesamtrechnenzeit, die auf Supercomputern verbraucht wird, auf das Konto von Poisson-Lösern, die in jedem Zeitschritt dieser Anwendungen auf sehr feinen Gittern berechnet werden müssen.

Die wohl einfachste Diskretisierung der Poisson-Gleichung in 3D würde ein uniformes strukturiertes Gitter und einen 7-Punkt-Stern verwenden, also eine Matrix mit maximal nur 7 Einträgen in jeder Zeile. Finite-Element-Diskretisierungen mit Elementen niedriger Ordnung erzeugen bei asymptotisch vergleichbarer Genauigkeit dichtere Systeme. Typischerweise entstehen 27 Einträge für trilineare Hexaeder-Elemente und 15 Einträge pro Zeile bei linearen Tetraeder-Elementen. Die Matrizen sind symmetrisch positiv definit und irreduzibel, d.h. sie zerfallen nicht auf einfache Weise in kleinere Systeme.

Rechenaufwand. Wenn es die Struktur der Gitter und des Gebietes erlaubt, dann gehören FFT-basierte Verfahren zu den besten bekannten Lösungsverfahren, da sie N Unbe-

kannte mit einem Aufwand von $O(N \log N)$ Operationen berechnen können. Für allgemeinere Systeme, bei denen FFT-Verfahren nicht anwendbar sind, werden oft iterative Verfahren eingesetzt, denn bei dünn besetzten Systemen wächst die Anzahl der für eine Matrix-Vektor-Multiplikation benötigten Operationen nur linear mit der Zahl der Unbekannten. Dies wird oft als wichtigste Begründung dafür angeführt, warum iterative Verfahren günstiger sind als direkte, bei denen die Elimination unvermeidlich einen Fill-In erzeugt, d.h. Nulleinträge der Systemmatrix werden zerstört, was den Speicher- und Rechenaufwand aufbläht. Unter den iterativen Verfahren gehören Mehrgitterverfahren zu den effizientesten, da sie in der „Full-Multigrid“-Variante schon mit linearem Aufwand, also $O(N)$ Rechenoperationen, eine Lösung erzeugen, die besser ist als die Genauigkeit der Diskretisierung. Dies werden die Verfahren sein, die wir hier weiter betrachten wollen. Die hierarchische Struktur und der Ablauf eines Mehrgitterverfahrens werden in Abbildung 1 illustriert.

Leider gibt es relativ wenige mathematisch fundierte Aussagen darüber, wie groß die Konstanten sind, die sich hinter der O-Notation verbergen. Gerade bei den asymptotisch (fast) optimalen Verfahren, die uns primär interessieren, sind es aber letztlich die Konstanten, die über die Laufzeit des Verfahrens entscheiden. Nur in klassischen Arbeiten finden sich konkrete Aufwandsberechnungen. So benötigt z.B. das beste bekannte Verfahren für die Lösung der Poisson-Gleichung in 2D (siehe Griebel 1989) weniger als 30 Operationen pro Unbekannte. Erreicht wird dies durch eine geschickte Optimierung, bei der redundante Zwischenergebnisse weggelassen werden. Im 3D-Fall ist den Autoren kein analoges Resultat bekannt. Einfach abschätzen lässt sich jedoch, dass die Lösung der Poisson-Gleichung in 3D mit der 7-Punkt-Diskretisierung mit weniger als 100 Operationen pro Unbekannte möglich ist. Anzumerken ist noch, dass FE-Diskretisierungen in diesem Fall wegen der etwas dichteren Besetzung der Steifigkeitsmatrizen deutlich teurer sind. Allein eine einfache Multiplikation mit der Steifigkeitsmatrix und der Massenmatrix für Hexaeder-Elemente kostet zusammen mehr als 100 Operationen pro Unbekannte.

Da bereits einzelne Kerne einer modernen CPU eine Spitzenleistung von mehr als 10 GFlops ($=10^{10}$) Operationen pro Sekunde haben, kann man leicht hochrechnen, dass das 3D-Poissonproblem mit einer Million Unbekannten schon auf einem Rechenkern in weniger als 10^8 Operationen/ 10^{10} FLOPs = 0,01 Sekunden lösbar sein müsste. Jeder, der numerische Software nutzt, weiß jedoch, dass diese Abschätzung um Größenordnungen zu optimistisch ist. Selbst eine Lösung in einer Sekunde, d.h. um den Faktor 100 langsamer, ist nicht einfach zu erreichen. Noch drastischer wäre der Leistungsverlust, wenn Standardsoftware, also z.B. kommerzielle FE-Programme, zur Lösung eingesetzt würde, die oft das theoretische Optimum um mehr als vier Größenordnungen verfehlt. Die Diskrepanz zwischen der theoretischen Vorhersage der Laufzeit und der beobachteten Praxis ist so dramatisch, dass sie auch nicht einfach mit den oft gehörten Aussagen wie „wir haben unser Programm noch nicht optimiert“ oder „die Peak-Performance ist ja sowieso nicht zu erreichen“ abge-

tan werden kann. Hier liegt ein fundamentales Problem vor: Einerseits ist die effiziente Nutzung moderner Rechner viel schwieriger geworden und erfordert selbst innerhalb eines Rechnerkerns spezielle Maßnahmen, andererseits ist in vielen Fällen nicht mehr der Durchsatz der Gleitpunktarithmetik im Computer der beschränkende Faktor bei der Laufzeit, sondern der Datentransport. Da dies bei Parallelrechnern in noch viel stärkerem Maße gilt, wollen wir dieses Phänomen etwas genauer beleuchten.

Kommunikationsaufwand. Ein charakteristisches Merkmal der diskretisierten PDE-Systeme ist, dass jede Gleichung und jede Komponente der rechten Seite Einfluss auf jede Unbekannte haben, obwohl die Gleichungen selbst nur die Abhängigkeiten zwischen benachbarten Freiheitsgraden beschreiben. Die inverse Matrix enthält eine diskrete Variante der Greenschen Funktion und ist dicht besetzt, deshalb darf man keinesfalls versuchen, sie explizit zu berechnen.

Aus der Sicht der Informatik ist es entscheidend, zu verstehen, welche Kommunikationsstruktur die Probleme und die Algorithmen benötigen. Dies ist für uns speziell bedeutsam, weil die grundlegende Notwendigkeit zur Kommunikation in den Algorithmen begründet ist, also dem Datenaustausch zwischen denjenigen Teilen des Rechners, die zur Lösung des Systems genutzt werden. Unter den Begriff Kommunikation fällt dabei jegliche Bewegung von Daten, die auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen eines modernen Rechners stattfinden kann. Dies kann also die globale Kommunikation zwischen entfernten Prozessoren des Systems sein oder die Kommunikation zwischen den Rechenkernen, die in einem sogenannten Knoten zusammengefasst sind (und die meist auf einen gemeinsamen Speicher zugreifen können). Kommunikation ist aber auch erforderlich durch die Zugriffe jedes Rechenkerns auf seinen Speicher und sogar für den Transport von Daten innerhalb eines Chips. Um die Bedeutung der Kommunikation zu verdeutlichen, kann man folgende Gedankenexperimente durchführen: Geht man davon aus, dass auf dem Chip die Daten für die Durchführung einer Operation ca. 3 cm weit transportiert werden müssen, so kann bei einer Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum) von $3 \cdot 10^8$ m/s die Ausführung einer Operation nicht schneller als in 10^{-10} Sekunden erfolgen. Ein strikt sequentieller Rechner auf einem Chip mit 3 cm Durchmesser könnte allein deshalb nicht schneller als 10 GFlops sein.

Wenn man analog berechnet, wie lange die Latenz zum Verschicken von Nachrichten in einem Supercomputer mit ca. 30 m Durchmesser wäre, so ergeben sich 10^{-7} Sekunden. In der Praxis ist die Kommunikation natürlich noch wesentlich langsamer. Damit ist es physikalisch unmöglich, einen Superrechner zu konstruieren, bei dem jeder Prozessor gleichermaßen schnellen Zugriff auf einen globalen Speicher hat. Zu noch drastischeren Konsequenzen führt das Gedankenexperiment, wenn man vorsehen würde, dass jeder Teil des Rechners mit jedem gleichzeitig kommunizieren kann. Wir werden im Folgenden zeigen, dass FE-Probleme mit 10^{12} Unbekannten mit Mehrgitterverfahren lösbar sind. Würden wir dies nun dadurch erreichen wollen, dass von jeder der 10^{12}

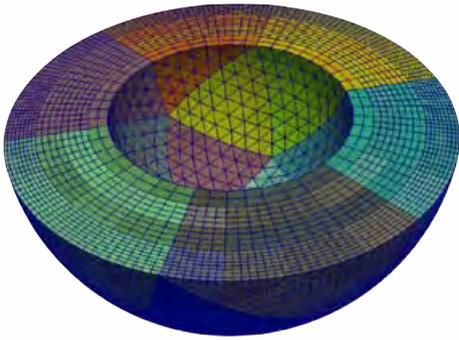


Abb. 2: Grobgitter für die Lösung des Erdmantelkonvektionsproblems. Die prismatischen Elemente werden zunächst in Tetraeder zerlegt und diese dann über bis zu sieben weitere Stufen regulär verfeinert.

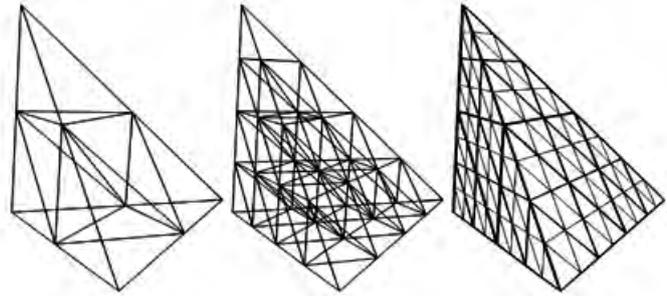


Abb. 3: Strukturierte Verfeinerung eines Tetraeders, wie in HHG genutzt.

Gleichungen ein numerischer Beitrag zu jeder der Unbekannten geschickt wird, so wie es bei einer Multiplikation mit der inversen Matrix erforderlich wäre, dann müssten 10^{24} Nachrichten im System verschickt werden. Jeder dieser Kommunikationsschritte benötigt ein Minimum an Energie. Bei Übertragungsstrecken von bis zu 30 m und mit aktueller Technologie würde ein Nanojoule bereits als sehr energieeffizient gelten. Insgesamt würde aber diese „All-to-All“-Kommunikation dann 10^{15} Joule kosten, oder 277 Gigawattstunden. Das wiederum entspricht einer Explosion von 240 Kilotonnen TNT, einer veritablen Wasserstoffbombenexplosion, was zugegeben eine drastische Strafe für die Verwendung schlechter algorithmischer Ansätze wäre. Generell wird der Energieverbrauch zunehmend zu einem begrenzenden Faktor der Rechnertechnik. Zusammenfassend ist es im Supercomputing wichtig, für große Probleme Algorithmen zu finden, die nicht nur den Rechenaufwand, sondern auch den Transport von Daten so gering wie möglich halten. Andererseits ist der Transport von Information der entscheidende Beitrag zum Energieverbrauch in einem Computer. Dies spiegelt sich aber in den existierenden theoretischen Komplexitätsmodellen bislang nicht wider, so dass die Grundlagen zur realitätsnahen Bewertung von Algorithmen fehlen. Somit erzeugt der technologische Wandel auch neue theoretische Forschungsfragen, die auf kreative Forscher warten.

Für diskretisierte elliptische Differentialgleichungen und die daraus resultierenden Gleichungssysteme stellen Mehrgitterverfahren bezüglich des Rechenaufwands asymptotisch optimale Verfahren dar. Das bedeutet, dass bis auf die Konstanten keine besseren Verfahren möglich sind. Bezüglich des Kommunikationsaufwands in Mehrgitterverfahren sind den Autoren bislang keine ähnlichen theoretischen Untersuchungen bekannt. Da jedoch nur $O(N)$ Operationen benötigt werden, kann auch der Kommunikationsaufwand nicht höher sein. In der Praxis gelten Mehrgitterverfahren aber als nicht ideal parallelisierbar, was einerseits an der relativ komplexen algorithmischen Nutzung der Gitterhierarchie selbst, aber auch an der Existenz der groben Gitter liegt, die auf massiv parallelen Systemen zum Stillstand von Prozessoren führen müssen.

Diese groben Gitter sind aber essentiell für die effiziente Kommunikation zwischen den Unbekannten des Systems. Jeder Versuch, sie anders zu ersetzen, führt entweder zu einer schlechteren Konvergenzrate und damit mehr Kommunikation auf feineren Ebenen, oder zur Notwendigkeit, ein relativ feines Grobgittersystem mit anderen Mitteln lösen zu müssen. Dies benötigt wiederum mindestens so viel Kommunikation wie das ursprüngliche Mehrgitterverfahren. Aus diesen Überlegungen heraus stellen wir die Hypothese auf, dass Mehrgitterverfahren nicht nur bezüglich der Rechenoperationen asymptotisch optimal sind, sondern auch bezüglich des Kommunikationsaufwands, der zur Lösung benötigt wird.

Lösung großer FE-Systeme mit dem HHG-Ansatz.

Abschließend wollen wir diesen Exkurs in die Lösung großer Systeme mit der Vorstellung numerischer Experimente beenden. Hierzu kommt das Programm HHG zum Einsatz, dessen Urversion von B. Bergen am Lehrstuhl für Systemsimulation an der FAU Erlangen-Nürnberg realisiert wurde und das seither von T. Gradl und B. Gmeiner kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Das Programmpaket ist derzeit auf einfache knotenbasierte Diskretisierungen und skalare Gleichungen beschränkt, da es als Testbett für die Entwicklung von Algorithmen und Programmiermethoden für hybride, massiv parallele Rechnerarchitekturen dient. Es wird im Zusammenhang mit dem neu genehmigten DFG SPP für Exa-Scale-Software als einer der Ausgangspunkte dienen, um im Projekt TERRA-Neo eine Neukonzeption eines Simulators für die Erdmantelkonvektion in der Geophysik zu entwickeln.

HHG basiert auf einem unstrukturierten Ausgangsgitter mit Tetraedern, das dann strukturiert verfeinert wird, wie in Abbildung 3 illustriert. Dabei können auch Techniken zur Adaption genutzt werden. In der Entwicklung von HHG wurde besonderer Wert auf die effiziente Parallelisierung und Abarbeitung im Sinne einer Hardware-angepassten Algorithmik gelegt. Die Datenstrukturen sind dazu so konzipiert, dass moderne CPU-Architekturen bestmöglich genutzt werden können. Gleichzeitig wurde bei der Parallelisierung mit dem Message-Passing-System MPI großer Wert darauf gelegt, dass unnötige Nachrichten, aber auch

Anzahl der Threads	Anzahl der Unbekannten	Zeit pro V-Zyklus	Anzahl der Threads	Anzahl der Unbekannten	Zeit pro V-Zyklus
64	$1.33 \cdot 10^8$	2.34 s	16 384	$3.43 \cdot 10^{10}$	3.15 s
128	$2.67 \cdot 10^8$	2.41 s	32 768	$6.87 \cdot 10^{10}$	3.28 s
256	$5.35 \cdot 10^8$	2.80 s	65 536	$1.37 \cdot 10^{11}$	3.39 s
512	$1.07 \cdot 10^9$	2.82 s	131 072	$2.75 \cdot 10^{11}$	3.56 s
1 024	$2.14 \cdot 10^9$	2.82 s	262 144	$5.50 \cdot 10^{11}$	3.68 s
2 048	$4.29 \cdot 10^9$	2.84 s	524 288	$1.10 \cdot 10^{12}$	3.76 s
4 096	$8.58 \cdot 10^9$	2.96 s	1 048 576	$2.20 \cdot 10^{12}$	4.07 s
8 192	$1.72 \cdot 10^{10}$	3.09 s	1 572 864	$3.29 \cdot 10^{12}$	4.03 s

Tabelle 1: „Weak-Scaling“-Experiment mit HHG auf JUQUEEN zur Lösung eines FE-Problems mit maximal $3.29 \cdot 10^{12}$ Unbekannten.

	JUGENE	JUQUEEN	SuperMUC
System	IBM BlueGene/P	IBM BlueGene/Q	IBM System x iDataPlex
Prozessor	IBM PowerPC 450	IBM PowerPC A2	Intel Xeon E5-2680 8C
Taktfrequenz	0.85 GHz	1.6 GHz	2.8 GHz
Anzahl der Knoten	73 728	24 576	9 216
Kerne pro Knoten	4	16	16
Hardware Threads pro Kern	1	4	2
Hauptspeicher pro Thread	0.5 GB	0.25 GB	1 GB
Netzwerk Topologie	3D Torus	5D Torus	Tree
GFlops pro Watt	0.44	2.54	0.94

Tabelle 2: Leistungskennzahlen von drei aktuellen Supercomputern in Deutschland.

Kopien in Pufferspeicher soweit wie möglich vermieden werden.

Abbildung 2 zeigt ein typisches Grobgitter, wie es in HHG zum Einsatz kommen kann. Hierzu müssen allerdings die in der Abbildung sichtbaren prismatischen Elemente erst noch in Tetraeder aufgeteilt werden. Darauf aufbauend erstellt HHG dann eine Multilevelhierarchie, im einfachsten Fall durch sukzessive uniforme Verfeinerung dieses Ausgangsgitters, wie in Abbildung 3 illustriert.

Als numerische Experimente präsentieren wir hier typische Skalierungsläufe, bei denen mit jeder Vergrößerung des Parallelitätsgrades auch das Problem proportional mit vergrößert wird. Im Idealfall erwartet man bei diesem sogenannten „Weak Scaling“, dass die Rechenzeit konstant bleibt. Dies kann natürlich nur dann erreicht werden, wenn der Algorithmus skaliert, also asymptotisch im Rechenaufwand optimal ist. Darüber hinaus darf aber auch die Implementierung keine Engpässe erzeugen, und das Rechnersystem selbst darf ebenfalls bis zu diesen Größenordnungen keine Einschränkungen erzeugen, was keine Selbstverständlichkeit ist, wie die Experimente auf unterschiedlichen Architekturen zeigen. Im Kontext eines Mehrgitterlösers ist auch wichtig, dass die V-Zyklen unabhängig von der Größe des Problems eine Konvergenzrate von ca. 0.11 liefern, so dass ein V-Zyklus pro Level in einem Full-Multigrid-Ansatz ausreicht, um für lineare Elemente das System mit einer Genauigkeit zu lösen, die unter dem Diskretisierungsfehler liegt.

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse eines Skalierungslaufes gezeigt. Der Ausgangspunkt ist ein System von

etwas mehr als 10^8 Unbekannten auf einem Rechenknoten, das pro V(3,3)-Zyklus 2.3 Sekunden benötigt. In den weiteren Zeilen der Tabelle werden jeweils die Zahl der Rechenkerns und auch die Größe des Problems verdoppelt. Dies geschieht so lange, bis in der Spitze ein Gleichungssystem mit $3.3 \cdot 10^{12}$ Unbekannten gelöst wird. Dabei werden 300 des knapp 400 Terabyte großen Arbeitsspeichers durch den Mehrgitterlöser genutzt. Um einen Rechenkern zu sättigen, werden vier Hardware-Threads pro Rechenkern benötigt, was zu mehr als einer Million Threads führt. Man beachte, dass die Rechenzeit dabei zwar nicht perfekt konstant bleibt, aber nur sehr moderat ansteigt. Dies ist im Sinne der Skalierbarkeit ein bemerkenswert gutes Ergebnis.

Abbildung 4 zeigt die parallele Effizienz dieses und zweier weiterer Skalierungsläufe auf den aktuell schnellsten Supercomputern in Deutschland. Die Randdaten aller drei Systeme sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Abbildung 4 zeigt, dass es auf allen der drei Cluster möglich ist, in weniger als der doppelten Zeit die Größe des Gleichungssystems über mehr als vier Größenordnungen zu skalieren. Für die größten Läufe musste eine hybride Parallelisierungsstrategie implementiert werden. Hybride Parallelisierung bedeutet hierbei, dass zusätzlich zu dem Nachrichtenaustausch mittels MPI eine explizite Kommunikation über den gemeinsamen Speicher innerhalb der Rechenknoten des Supercomputers erfolgt. Dafür gab es auf JUQUEEN und SuperMUC verschiedene Gründe:

Bei JUQUEEN war der Hauptspeicher von 256 MB pro Prozess zu klein, um das Grobgitter für die größten

beiden Läufe aufzubauen. Eine hybride Parallelisierung stellt jedem Prozess mehr Arbeitsspeicher zur Verfügung. Der schlechtere Verlauf zeigt jedoch, dass die hybride Parallelisierung noch verbessert werden muss, um keine Nachteile bezüglich der Effizienz durch eine zusätzliche Parallelisierung mittels OpenMP zu erhalten.

Die Skalierung auf dem SuperMUC brach bei 65 536 MPI-Prozessen zusammen. Dies hatte mehr als eine Vervielfachung der Laufzeiten und Laufzeitschwankungen um bis zu 15 Sekunden zwischen einzelnen V-Zyklen zur Folge. Abbildung 4 weist auf die Problematik bei bereits 32 768 MPI-Prozessen hin. Eine hybride Parallelisierung erlaubt uns hier, den größten Programmlauf mit nur 16 384 MPI-Prozessen auszuführen, was zu einer Verbesserung der parallelen Effizienz führt.

Zusammenfassung. Am Ende des Artikels haben wir auf die im Titel gestellte Frage keine erschöpfende Antwort gefunden. Wir haben aber gezeigt, dass es mit modernen Rechnerarchitekturen, ausgefeilten numerischen Algorithmen und einer sorgfältigen Implementierung heute möglich ist, Systeme mit mehr als 10^{12} Unbekannten aus FE-Diskretisierungen zu lösen. Dies sind nach unserem Kenntnisstand die größten bislang behandelten FE-Systeme. Auflösungen dieser Feinheit sind aber nur in wenigen Anwendungen nötig. Ein Beispiel wird im SPP „Software for Exascale Computing“ angegangen werden, wo diese Ansätze für Probleme der Geophysik nutzbar gemacht werden sollen. Dabei muss der gesamte Erdmantel zur Berechnung von Vorwärtsproblemen und von inversen Problemen möglichst fein aufgelöst werden.

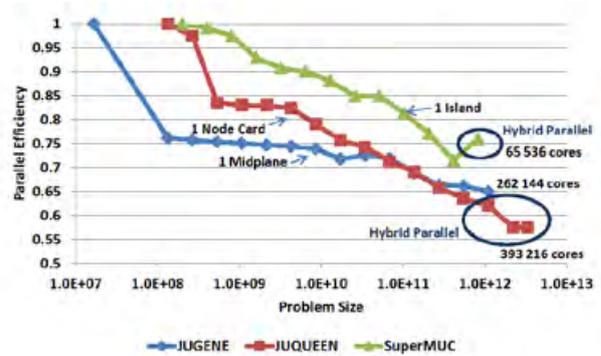


Abb. 4: Parallele Effizienz bei der Lösung von Problemen mit bis zu $3.3 \cdot 10^{12}$ Unbekannten auf den drei der aktuell schnellsten Supercomputer in Deutschland. Bei den größten Läufen wurde eine hybride Parallelisierungsstrategie verwendet. Einige Hardwarestrukturen (Node Card, Midplane, Island) der Cluster sind durch den Verlauf der parallelen Effizienz zu erkennen.

Kontakt:

Ulrich Ruede

e-mail: ruede@cs.fau.de

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Systemsimulation



Prof. Dr. Ulrich Ruede, 1978-84 Studium der Mathematik und Informatik an der TU München und an der Florida State University, 1984 Master of Science, 1988 Promotion an der TU München, 1989 Post Doc an der University of Colorado Boulder, 1993 Habilitation für Angewandte Mathematik und Praktische Informatik an der TU München, 1993-94 Gastprofessor an der TU Chemnitz, 1996-1998 Professor für Numerische Mathematik und Scientific Computing an der Universität Augsburg, seit 1998 Lehrstuhl für Systemsimulation an der Universität Erlangen-Nürnberg, 2000-01 Gastprofessor an der University of Colorado, 2003-05 Prodekan der Technischen Fakultät, 2006 ISC-Award for Application Scalability, 2010 PRACE Award for Outstanding Research in Peta-Scale Computing, 2005-11 Hauptherausgeber des SIAM J. Scientific Computing, 2010 Fellow of the SIAM, 2009-10 Program Director und ab 2013 Chair der SIAM Activity Group in CSE, seit 2011 Sprecher des Zentralinstituts für Scientific Computing an der Universität Erlangen-Nürnberg, seit 2012 Forschungsbeirat der TU Kaiserslautern, Sprecher des GAMM FA CS&E; Forschungsinteressen: Computational Science and Engineering, Mathematische Modellierung, Numerische Analysis, Hoch- und Höchstleistungsrechnen, Skalierbare Algorithmen, Software Engineering für Scientific Computing, Datenanalyse und Visualisierung.



Dr. Harald Köstler, 1998-2003 Studium der Informatik an der FAU Erlangen-Nürnberg und der BWL an der Fernuniversität Hagen, 2008 Promotion in Informatik im Bereich Mehrgittermethoden in der Bildverarbeitung. Seit 2008 Akademischer Rat an der FAU Erlangen-Nürnberg. Forschungsinteressen: HPC Software Engineering, Programmier- und Simulationstechniken für hochparallele Systeme, Mehrgittermethoden, Simulation physikalischer Prozesse, medizinische Bildverarbeitung.



Björn Gmeiner, 2004-2009 Studium des Computational Engineering an der FAU Erlangen-Nürnberg. 2007-2009 Master of Science with Honours im Elitenetzwerk Bayern. Seit 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Informatik an der FAU Erlangen-Nürnberg. Forschungsinteressen: hochparallele Mehrgittermethoden, HPC Software Engineering, Numerische Methoden für die Mantel Konvektion.

RUNDBRIEF READERS

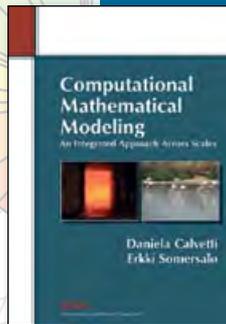
Save 30% on these SIAM titles:

Computational Mathematical Modeling: An Integrated Approach Across Scales

Daniela Calvetti and Erkki Somersalo
Mathematical Modeling and Computation 17

This textbook concentrates on two modeling paradigms: the macroscopic, in which the authors describe phenomena in terms of time evolution via ordinary differential equations, and the microscopic, which requires knowledge of random events and probability. The text emphasizes the development of computational skills to construct predictive models and analyze the results. To elucidate the concepts, a wealth of examples and portions of MATLAB® code used by the authors are included.

2012 • xii + 222 pages • Softcover • 978-1-611972-47-4
List \$69.00 • Rundbrief Reader Price \$48.30 • MM17

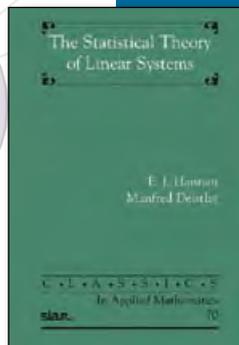


The Statistical Theory of Linear Systems

E. J. Hannan and Manfred Deistler
Classics in Applied Mathematics 70

Originally published in 1988, this book deals with identification (in the sense of obtaining a model from data) of multi-input and multi-output linear systems, in particular systems in ARMAX and state space form. This edition includes an extensive new introduction that outlines central ideas and features of the subject matter, as well as developments since the book's original publication, such as subspace identification, data-driven local coordinates, and the results on post-model-selection estimators.

2012 • xlvii + 380 pages • Softcover • ISBN 978-1-611972-18-4
List \$99.00 • Rundbrief Reader Price \$69.30 • CL70



Be sure to enter code "BKGM13" to get special discount price.

siam.

SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS

TO ORDER, SHOP ONLINE AT www.siam.org/catalog.

Use your credit card (AMEX, MasterCard, and VISA) by phone: +1-215-382-9800 (worldwide) or fax: +1-215-386-7999. Or send check or money order in US dollars to: SIAM, Dept. BKGM13, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA. Members and customers outside North America can order SIAM books through Cambridge University Press at www.cambridge.org/siam.

ORDER ONLINE:

WWW.SIAM.ORG/CATALOG

siam.e-books

SIAM e-books: It's your turn

Libraries and institutions have already discovered the ease and convenience of SIAM e-books.

Now it's your turn.

Enjoy new and classic SIAM titles on your personal e-reader, tablet, smartphone, or computer. Access your favorite SIAM titles on Google Play™ whenever you want and wherever you go. Read top-quality SIAM publications valued by applied mathematicians and computational scientists throughout the world on popular e-book platforms, including

- Apple™ and Android™ devices
- Nook™
- Sony® eReader
- most tablets, laptops, smartphones, and desktop computers.

To purchase SIAM e-books, visit play.google.com and search for your desired title. Follow the instructions to buy and download (or use from Cloud storage). It's a new and easy way to access the knowledge and insight you'll find in every SIAM book.

SIAM e-books...coming to a screen near you!

play.google.com

 Google play
Google Play is a trademark of Google, Inc.

siam.
Society for Industrial and Applied Mathematics

Art is adapted from a paper by A. L. Traud, E. D. Keisic, P. J. Mucha, M. A. Porter. "Comparing Community Structure to Characteristics in Online Collaborative Social Networks." *SIRV* Vol. 53, pp. 526-543.

Jun.-Prof. Dr. Karen Veroy-Grepl studierte Physik an der Ateneo de Manila University in den Philippinen, wo sie 1996 das Studium mit dem Bachelor of Science (magna cum laude) abschloss. Im Jahr 1997 zog sie in die USA um am Massachusetts Institute of Technology (MIT) Bauingenieurwesen zu studieren. Das Studium am MIT beendete sie 2000 mit dem Master of Science und 2003 mit dem Doctor of Philosophy. In ihrer Dissertation beschäftigte sie sich mit der Reduzierten Basis (RB) Methode für die Gleichungen der linearen Elastizitätslehre. Nach ihrer Promotion arbeitete Frau Veroy-Grepl als PostDoc im "Department of Mechanical Engineering" am MIT, wobei der Schwerpunkt auf der inkompressiblen Navier-Stokes Gleichung lag. Im Jahr 2005 kam Frau Veroy-Grepl nach Deutschland und erhielt eine Stelle im Trainee-Programm der Robert Bosch GmbH. Nach einer zweijährigen beruflichen Auszeit ging sie 2009 zurück an die Universität und wurde Nachwuchsgruppenleiterin am Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES) an der RWTH Aachen. Seit 2010 ist sie als Juniorprofessorin mit der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH assoziiert. Im Jahr 2011 wurde sie in das Junge Kolleg der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und Künste aufgenommen.

Frau Veroy-Grepl ist auf den Philippinen aufgewachsen, einem Land, das häufig von Naturkatastrophen heimgesucht wird. Die Bilder von durch Erdbeben beschädigten oder zerstörten Gebäuden waren einer der Gründe für ihre Entscheidung, am MIT das Studium im Bereich Bauingenieurwesen aufzunehmen. Ihre Masterarbeit auf dem Gebiet der Wavelet-Analyse von Plattenwellen für zerstörungsfreie Prüfmethode war eine Mischung aus experimenteller und numerischer Arbeit. Während dieser Zeit wuchs ihr Interesse an der Numerik. Bei einer Vorlesung über Numerische Methoden für partielle Differentialgleichungen (PDGI) lernte sie Prof. A. T. Patera kennen, der ihr Doktorvater und Mentor wurde. Frau Veroy-Grepl arbeitete mehr als fünf Jahre mit Prof. Patera zusammen: Zuerst entwickelte sie die RB Methode für die Gleichungen der linearen Elastizitätslehre und später für die inkompressiblen Navier-Stokes Gleichungen.

Die RB Methode ist ein Modellreduktionsverfahren für parametrisierte PDGI [1]. Die Diskretisierung von PDGI mit Standardverfahren, wie z.B. der Finite Elemente (FE) Methode, ergibt im Allgemeinen sehr hoch-dimensionale Gleichungssysteme mit Tausenden bis Millionen von Freiheitsgraden. Das Ziel der RB Methode ist, diese hoch-dimensionalen Systeme durch sehr niedrig-dimensionale Modelle mit nur noch 10-100 Freiheitsgraden zu approximieren, wodurch sie sehr viel effizienter und schneller gelöst werden können. Die Methode ist vor allem in der Optimierung, Regelung oder für Parameterschätzverfahren von großem Wert, da die PDGI zur Lösung dieser Probleme für viele verschiedene Parameter ausgewertet werden muss. Der Erfolg basiert auf der Tatsache, dass die Zustandsvariable, d.h. die Lösung der PDGI, nicht zufällig im unendlich-dimensionalen Lösungs-

raum der PDGI verteilt ist, sondern in einer durch die Parameterabhängigkeit induzierten sehr niedrig-dimensionalen Mannigfaltigkeit liegt (siehe Abb. 1). Die größte Errungenschaft der RB Methode besteht darin, dass die Berechnung der RB Approximation nicht nur kostengünstig, sondern

vor allem verlässlich ist, d.h. dass effizient berechenbare Fehlerschranken für die RB Approximation existieren. Die niedrigen Berechnungskosten und Fehlerschranken erlauben es, Simulationen sehr schnell durchzuführen und gleichzeitig den Approximationsfehler explizit zu überwachen. Die Methode erlaubt es Naturwissenschaftlern und Ingenieuren daher, Echtzeit-Entscheidungen basierend auf verlässlichen Informationen zu treffen.

In letzter Zeit forschte Frau Veroy-Grepl hauptsächlich an der Entwicklung der RB Methoden für inkompressible Strömungen [2,3,4]. Im Gegensatz zu vielen anderen Problemen erbt die RB Approximation in diesem Fall nicht automatisch die Stabilitätseigenschaften des ursprünglichen hoch-dimensionalen Problems [3]. Aus diesem Grund entwickelte Frau Veroy-Grepl mit ihrer Gruppe kürzlich ein Verfahren, das die

Erstellung von stabilen und gleichzeitig niedrigdimensionalen RB Approximationsräumen ermöglicht. Außerdem leitete sie a posteriori Fehlerschranken für die primale und duale Variable (z.B. Geschwindigkeit und Druck im Falle der Stokes Gleichung) her [4] (siehe Abb. 2). Derzeit arbeitet Frau Veroy-Grepl an Sattelpunktproblemen, die in der Optimierung und optimalen Regelung auftreten. Ein weiteres Ziel der Forschung von Frau Veroy-Grepl ist die Entwicklung der RB Methodik für Probleme in der Festkörpermechanik mit nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen, nichtlinearen Materialgesetzen und/oder Randbedingungen.

STECKBRIEF



Wie bereits erwähnt, ist die RB Methode für Anwendungen gedacht, in denen die PDGI sehr häufig oder in Echtzeit gelöst werden muss. Frau Veroy-Grepl forscht daher an der Fragestellung, wie die RB Approximation effizient und effektiv als Ersatzmodell in Inversen Problemen und Optimierungs- und Parameterschätzproblemen eingesetzt werden kann (siehe z.B. Abb. 3). Eines der langfristigen Ziele von Frau Veroy-Grepl ist die Anwendung von Modellreduktionsverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Gebäuden. Somit knüpft sie auch an die ursprüngliche Motivation für ihr Studium an und versucht durch ihre Forschung ihre Ziele zu verwirklichen.

Literatur

[1] C. Prud'homme, D. Rovas, K. Veroy, Y. Maday, A.T. Patera, G. Turinici. Reliable real-time solution of parametrized partial differential equations: Reduced-basis output bound methods. *J. Fluids Eng.*, 124(1):70-80, March 2002.

[2] K. Veroy, A.T. Patera. Certified real-time solution of the parametrized steady incompressible Navier-Stokes equations: Rigorous reduced-basis a posteriori error bounds. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 47(8-9):773-788, 2005.

[3] G. Rozza, K. Veroy. On the stability of the reduced basis method for Stokes equations in parametrized domains. *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 196(7): 1244-1260, 2007.

[4] A.-L. Gerner, K. Veroy. Certified reduced basis methods for parametrized saddle point problems. *SIAM J. Sci. Comput.*, 34(5):2812-2836, 2012.

[5] M. Grepl, K. Veroy. A level set reduced basis approach to parameter estimation. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 349(23):1229-1232, 2011.

Kontakt:

Jun.-Prof. Dr. Karen Veroy-Grepl
 RWTH Aachen
 Aachen Institute for Advanced Study of
 Computational Engineering Science (AICES)
 Schinkelstrasse 2 • D-52072 Aachen
 Email: veroy@aices.rwth-aachen.de

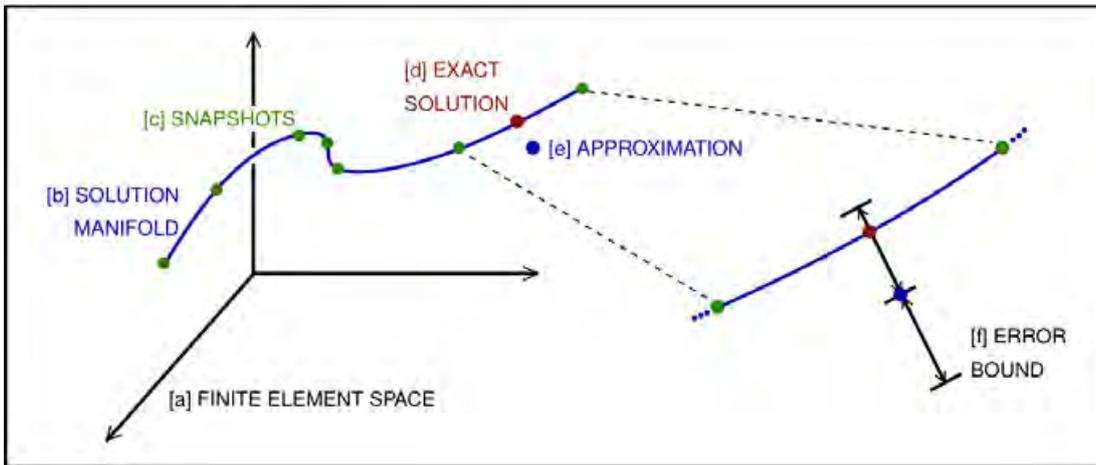


Abb. 1: Die RB Methode basiert auf der Tatsache, dass die Lösung einer parameterabhängigen PDGI nicht zufällig in dem hoch-dimensionalen FE Raum (a) verteilt ist, sondern in einer sehr niedrig-dimensionalen Mannigfaltigkeit (b) liegt, die durch die Parameterabhängigkeit induziert wird. Für eine gegebene Anzahl von "Snapshots", d.h. Lösungen der PDGI für verschiedene Parameterwerte (systematisch ausgewählt mit Hilfe eines "Greedy" Algorithmus), wird die Lösung an einem beliebigen Parameterwert (d) durch eine Galerkin Projektion (e) auf den Raum, der durch die Snapshots aufgespannt wird, approximiert. Darüber hinaus liefert die RB Methode obere Schranken für den Fehler in der Approximation (f) und ermöglicht somit eine schnelle und verlässliche Näherungslösung der PDGI.

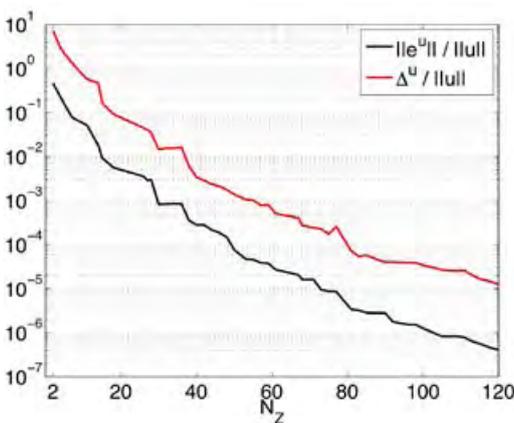


Abb. 2: Numerische Ergebnisse für ein Stokes-Strömungsproblem [4]. Die schwarze Linie zeigt den relativen Fehler zwischen der RB Approximation für die Geschwindigkeit und der exakten FE Lösung; die rote Linie zeigt die entsprechende Fehlerschranke. Die Ergebnisse bestätigen sowohl die schnelle Konvergenz der RB Methode als auch die Schärfe der Fehlerschranke.

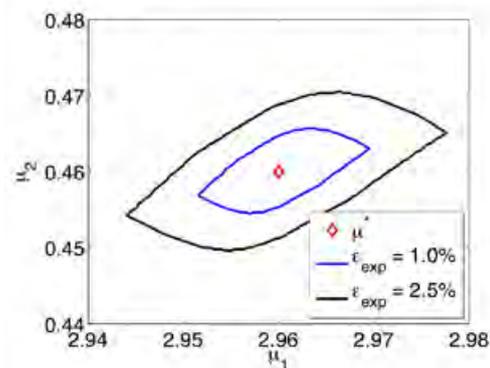


Abb. 3: Numerische Ergebnisse für ein Parameterschätzproblem. Die beiden Parameter kennzeichnen die Position einer Verschmutzungsquelle (exakte Position = rote Raute). Die blauen und schwarzen Kurven umschließen den Parameterbereich, der im Einklang mit simulierten Messwerten ist [5].

Prof. Christian Linder, Ph.D.

absolvierte nach dem Studium des „Bauingenieurwesens“ an der Technischen Universität Graz das M.Sc. Programm für „Computational Mechanics of Materials and Structures (COMMAS)“ der Universität Stuttgart. Der Erwerb eines Fulbright Stipendiums ermöglichte ihm seine weitere akademische Laufbahn in den USA zu verfolgen. Nach dem Erwerb eines M.A. in „Mathematics“ an der renommierten University of California, Berkeley, schloss er im Dezember 2007 seine Promotion unter der Leitung von Prof. Francisco Armero am Department of Civil and Environmental Engineering der UC Berkeley ab. Nach zwei kurzen Postdoc Aufenthalten in Berkeley sowie an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg erhielt er den Ruf auf eine Juniorprofessur des Exzellenzclusters „Simulation Technology“ der Universität Stuttgart. Dort leitete er von 2008 bis 2012 seine Forschergruppe zum Thema „Micromechanics of Materials“ am Institut für Mechanik des von Prof. Christian Miehe geleiteten Lehrstuhls und hat sich im Herbst 2012 auf dem Fachgebiet „Mechanik“ habilitiert. Seit Januar 2013 ist er Assistant Professor am Civil and Environmental Engineering Department der Stanford University.

In Stanford widmet sich Christian Linder der Entwicklung numerischer Berechnungsmethoden, welche in der Lage sind, in der Natur beobachtbare Phänomene auf ingenieurbasierte Materialien zu übertragen. Man denke dabei an selbstheilende Mechanismen in biologischen Materialien oder an solche, welche sich spontan an Änderungen ihrer Umgebung anpassen können. Diese Prozesse numerisch zu simulieren erfordert Kenntnisse auf verschiedenen Fachgebieten, die sich Christian Linder in den bisherigen Stationen seiner akademischen Laufbahn aneignen konnte.

Dazu gehört in erster Linie eine ausgezeichnete Grundausbildung, die er an exzellenten Universitäten in Österreich, Deutschland und den USA in unterschiedlichen Fakultäten, wie dem Bauingenieurwesen, dem Maschinenbau, der Mathematik und in der Physik erwerben konnte. Seine Leidenschaft zur Numerik, eine weitere substantielle Grundlage zur Bearbeitung seines jetzigen Forschungsschwerpunktes, konnte während seiner Diplomarbeit an der TU Graz geweckt werden.

Diese hat sich dann im COMMAS Studiengang weiter verstärkt. Seine Begeisterung für die Finite Elemente Methode (FEM) wurde vor allem durch den Betreuer seiner Masterarbeit, Prof. Ekkehard Ramm, derart verstärkt, dass sich Herr Linder 2003 zum Ziel setzte, seine Promotion an der University of California zu absolvieren. Nach Erwerb des Fulbright Stipendium konnte er mit Prof. Francisco Armero einen international angesehenen Betreuer an der UC Berkeley finden, der ihn für die Thematik der Entwicklung von numerischen Berechnungsmethoden für die Modellierung von Materialversagen begeistern konnte. Sein Interesse an der funktionalanalytischen Grundlage der FEM bewog ihn während seiner Promotion zur Absolvierung eines Masters der Mathematik. In Berkeley konnte er eine Vielzahl von neuen Finiten Elementen entwickeln [1-3], welche in der Lage sind, Sprünge im Verschiebungsfeld ohne dem Auf-

treten von „Locking Effekten“ mathematisch konsistent zu approximieren. Wie in Abb. 1 ersichtlich, dienen solche Diskontinuitäten zur Beschreibung von Rissen oder Scherbändern in unterschiedlichsten ingenieurbasierten

aber auch biologischen Materialien [4-5]. Eine Erweiterung auf elektromechanisch gekoppelte Materialien, wie piezoelektrische Keramiken, in denen zusätzlich zu den Sprüngen im Verschiebungsfeld noch Diskontinuitäten im elektrischen Potential modelliert werden müssen, ist ihm in [6] gelungen.

Die Expertise auf dem Gebiet der Numerik allein reicht jedoch nicht aus, um seine heutigen Forschungsvorhaben zu realisieren. Dazu bedarf es auch einer tiefen Kenntnis der Materialtheorie. Diese konnte sich Herr Linder am Institut für Mechanik der Universität Stuttgart im Rahmen seiner Juniorprofessur aneignen. Die enorme Kompetenz in der Arbeitsgruppe von Prof. Christian Miehe auf diesem Gebiet motivierte ihn zu seinen Arbeiten im Bereich der Entwicklung von Homogenisierungsmethoden

für Materialien mit intrinsisch netzwerkartigen Mikrostrukturen. Dazu gehören Elastomere, Hydrogele, weiche biologische Gewebe, vliesartige Textilien oder zelluläre Schaumstoffe. In [7] konnten er ein auf der Brown'schen Bewegung basiertes viskoses Materialgesetz für Elastomere entwickeln (siehe Abb. 2) und in [8] wurde ein neuartiges Homogenisierungsverfahren, gültig für eine Vielzahl von faserartigen Materialien basierend auf sogenannten „maximal advance paths“ vorgestellt. Im konstitutiven Verhalten piezo- und ferroelektrischer Keramiken konnte er in [9] durch das Aufzeigen der Bedeutung des physikalischen Phänomens der Sättigung des elektrischen Verschiebungsfeldes aufzeigen, wie das Bruchverhalten solcher Materialien mit größerer Genauigkeit simuliert werden kann. In Zusammenarbeit mit Chemikern und Physikern konnte Herr Linder in [10] einen Beitrag zur Finite

STECKBRIEF



Elemente basierten Modellierung von Elektronenstrukturberechnungen im Rahmen der Dichtefunktionaltheorie leisten und so seine numerischen Kenntnisse auf physikalische Problemstellungen anwenden (siehe Abb. 3). Seine erworbenen Kenntnisse der Numerik und deren Anwendung auf strukturmechanische Problemstellungen, seine Beiträge zur mikromechanisch basierten Materialmodellierung und seine Bereitschaft zur Interdisziplinari-

tät bilden die Grundlage zur Bearbeitung seines jetzigen Forschungskonzeptes in Stanford. Dort interessiert ihn vor allem die Entwicklung von Modellen für physikalische Mechanismen in biologischen Materialien sowie deren Adaption zur Anwendung in ingenieursrelevanten Problemstellungen mittels mathematisch konsistenter Homogenisierungsmethoden.

Literatur

- [1] C. Linder, F. Armero, Int. J. Numer. Methods Eng. 72 (2007) p.1391.
- [2] F. Armero, C. Linder, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 197 (2008) p.3137.
- [3] C. Linder, F. Armero, Finite Elem. Anal. Des. 45 (2009) p.280.
- [4] C. Linder, A. Raina, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 253 (2013) p.558.
- [5] C. Linder, X. Zhang, Int. J. Numer. Methods Eng. (2012) submitted.
- [6] C. Linder, D. Rosato, C. Miehe, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 200 (2011) p.141.
- [7] C. Linder, M. Tkachuk, C. Miehe, J. Mech. Phys. Solids 59 (2011) p.2134.
- [8] M. Tkachuk, C. Linder, Philos. Mag. 92 (2012) p.2779.
- [9] C. Linder, C. Miehe, J. Mech. Phys. Solids 60 (2012) p.882.
- [10] V. Schauer, C. Linder, J. Comput. Phys. (2012) submitted.

Kontakt:

Christian Linder, PhD
 Assistant Professor
 Stanford University
 Department of Civil & Environmental Eng.
 Yang & Yamazaki Env. & Energy Bldg.
 473 Via Ortega, Room 287
 Stanford, CA 94305-4020, USA
 Tel.: +1 650 723-2918
 E-Mail: linder@stanford.edu
 Web: <http://www.stanford.edu/~linder>

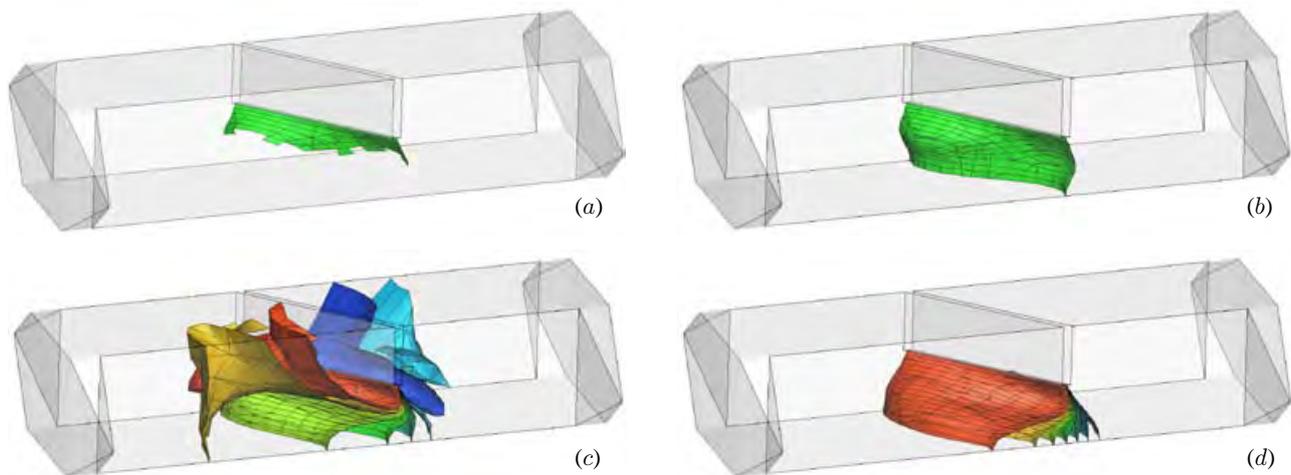


Abb. 1: Darstellung des Rissverlaufes (a,b) eines eingekerbten Betonbalkens unter Torsionsbelastung mittels Finiter Elemente mit eingebetteten starken Diskontinuitäten unter Verwendung eines neuartigen Propagierungsalgorithmus zur Vorhersage möglicher Versagensflächen (c,d).

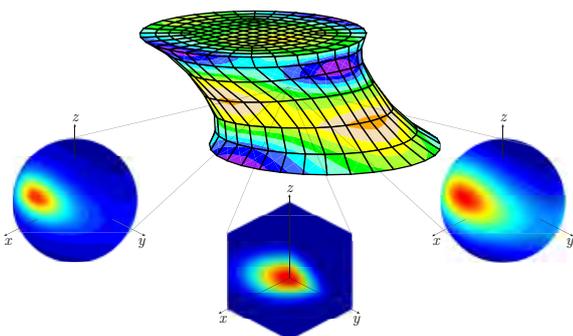


Abb. 2: Polymerkettenstreckungsvektorenverteilung (Mitte), ODF-Verteilung (links) und Mikrostretchungsverteilung (rechts) im Inneren eines gummiartigen Polymernetzwerkes unter Schubbelastung.

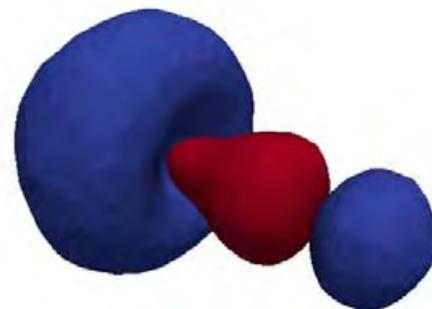


Abb. 3: Orbitalverteilung in einem CO Molekül berechnet mittels selbst entwickelter Finite Elemente basierter Ansatzfunktionen zur Lösung der Kohn-Sham Dichtefunktionaltheorie.

BIOMECHANIK



Wolfgang Ehlers



Bernd Markert

Die Biomechanik und Mechanobiologie sind nach wie vor innovative und zukunftsweisende Forschungsfelder, deren Ziel die theoretische Modellierung und die numerische Simulation biologischer Systeme darstellt. Hierbei sind makroskopische Untersuchungen des Bewegungsapparats und die kontinuumsmechanische Beschreibung weicher und harter Gewebe ebenso im Fokus wie Modelle auf der zellularen Ebene, die sich mit Fragen der Mechanotransduktion und Mechanosensation auseinandersetzen. Dank der modernen Simulationstechnologie geht der Trend in Richtung einer integrativen Modellbildung lebender Organismen und ihrer Substrukturen unter Einbeziehung systembiologischer Methoden.

Der Fachausschuss (FA) fördert das Interesse an diesen Themen, indem seine Mitglieder auf nationalen und internationalen Konferenzen aktiv als Organisatoren von Minisymposia und Sektionen auftreten.

Dem FA ist es seit seiner Gründung im Jahr 2003 gelungen, die Biomechanik als eine eigenständige Disziplin in der Mechanik-Community zu etablieren. In diesem Zusammenhang hat der FA bereits drei GAMM-Seminare organisiert und 2012 u. a. folgende Aktivitäten gezeigt:

- Minisymposium „Computational Biomechanics“, ECCOMAS 2012, Wien
- Sektion „Biological Porous Media“, InterPore 2012, Purdue University, West Lafayette.

Die erfolgreiche Arbeit des FA wird auch 2013 fortgeführt. Weiterführende Informationen über den FA und seine Aktivitäten finden sich auf der Internetseite www.mechbau.uni-stuttgart.de/ls2/gammFA-biomech

Interessierte GAMM-Mitglieder sind herzlich zur Mitarbeit eingeladen.

ANGEWANDTE OPERATORTHEORIE



Christiane Tretter



Jussi Behrndt

Der Fachausschuss Angewandte Operatortheorie fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, deren Arbeitsgebiet in der Anwendung und Theorie von operatortheoretischen Methode liegt. Ein Hauptanliegen ist die Weiterentwicklung und Vertiefung operatortheoretischer Methoden in Hinblick auf ihre effiziente Umsetzung und Anwendbarkeit in konkreten physikalischen und ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen.

Aktivitäten des Fa 2012

- Miniworkshop „Spectral Geometry“, MFO Oberwolfach, Januar 2012. Organisation: J. Behrndt (Graz), K. Pankrashkin (Paris), O. Post (Cardiff).
- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2012, Organisation: J. Behrndt (Graz) und C. Trunk (Ilmenau).
- Tagung „Spectral Theory and Differential Operators“ an der TU Graz im August 2012. Organisation: J. Behrndt (Graz), K. Fellner (Graz), G. Teschl (Wien), H. Woracek (Wien).

Geplante Aktivitäten des Fa 2013

- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2013. Organisation: A. Batkai (Budapest) und C. Wyss (Wuppertal).
- Tagung „Operator and System Realizations of Analytic Functions“, Februar 2013, Lorentz Center Leiden (Niederlande). Organisation: J. Behrndt (Graz), S. Hassi (Vaasa), H.S.V. de Snoo (Groningen), F.-H. Szafraniec (Krakau).
- 30.-31.Mai 2013: Fünf Jahre Gründungsjubiläum „Fachausschuss Angewandte Operatortheorie“, Workshop mit Festvortrag des Gründungspräsidenten Prof. K.-H. Förster, TU Berlin. Organisation: J. Behrndt, B. Jacob, C. Tretter und C. Trunk.

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

NUMERISCHE METHODEN FÜR PARTIELLE DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Christian Wieners



Stefan A. Sauter

Ausgewählte Aktivitäten von Ausschussmitgliedern:

- 28. GAMM-Seminar Leipzig on „Analysis and Numerical Methods in Higher Dimensions“, MPI, 16.-18.01.2012. Organisation: L. Grasedyck, W. Hackbusch, B. Khoromskij. <http://www.mis.mpg.de/scicomp/gamm28>
- ACE 2012 - 7th Workshop on “Advanced Computational Electromagnetics“, KIT, 29.02-02.03.2012. Organisation: W. Dörfler, R. Hiptmair. <http://ace2012.math.kit.edu>
- Conference on „Isogeometric Analysis and Applications (IGAA2012)“, Linz, 12.-16.03.2012. Organisation: U. Langer, B. Jüttler <http://www.ag.jku.at/2012igaa>
- Sektion „History of Theoretical and Experimental Material Mechanics“, GAMM-Tagung 2012, Darmstadt 26.-30.3 2012. Organisation: E. Stein, L. Gaul <http://www.gamm2012.tu-darmstadt.de>
- “European Multigrid Conference“, Schwetzingen, 13.-16.8.2012. Organisation: G. Wittum. <http://gcsc.uni-frankfurt.de/simulation-and-modelling/european-multigrid-conference-2012>
- 7th Summerschool 2012, „A Posteriori Error Control and Adaptivity“, Zurich, 20.8.-24.8. 2012. Organisation: R. Hiptmair, S.A. Sauter, Ch. Schwab, <http://www.math.uzh.ch/zss12>

- Konferenz SCEE 2012 “Scientific Computing in Electrical Engineering“, Zürich, 11.-14.9.2012. Organisation: R. Hiptmair <http://www.scee2012.ethz.ch>
- 25. FEM Symposium, Chemnitz, 24.-26.9. 2012. Organisation: T. Apel, O. Steinbach <http://www.tu-chemnitz.de/mathematik/fem-symposium>
- 10. Workshop on “Fast Boundary Element Methods in Industrial Applications“, Hirschegg, 27.-30.9.2012. Organisation: U. Langer, O. Steinbach. <http://www.numerik.math.tu-graz.ac.at/tagungen>
- Seminar „Subspace Correction Methods“, Oberwolfach, 18.11.-24.11.2012. Organisation: R. Kornhuber, J. Xu, H. Yserentant, <http://www.mfo.de/occasion/1247a>
- Mini-Workshop „Efficient and Robust Approximation of the Helmholtz Equation“, Oberwolfach, 25.11.-1.12.2012. Organisation: M. Melenk, P. Monk, C. Wieners, <http://www.mfo.de/occasion/1248a>

Die Zielsetzungen des Ausschusses, weitere Veranstaltungen und die aktuelle Liste der Mitglieder finden Sie auf der Webseite des Fachausschusses <http://gamm-sc.math.kit.edu>

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

OPTIMIERUNG MIT PARTIELLEN DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Volker Schulz



Roland Herzog

Der Fachausschuss fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit aller an *Optimierung mit Partiellen Differentialgleichungen* interessierten Personen oder Gruppen aus wissenschaftlichen Einrichtungen und Industrie und vertritt das Fachgebiet innerhalb der GAMM. Das FA Treffen 2012 fand im Rahmen des GAMM Jahrestagung (März 2012) in Darmstadt statt. Der Fachausschuss wurde im Jahr 2012 positiv evaluiert.

Viele Mitglieder stehen im Rahmen des SPP 1253 Optimization with PDE Constraints in engem fachlichen Austausch miteinander. Mitglieder des FA haben an zahl-

reichen Konferenzen und Workshops teilgenommen und mehrere Veranstaltungen mit organisiert.

Zu nennen sind hier u.a. der Workshop OCIP 2012, (März, Vexler/Kaltenbacher/Wohlmuth), die Sommerschule und der Workshop on Adaptivity and Model Order Reduction in PDE Constrained Optimization in Hamburg (Juli, Hinze/Wollner), mehrere Minisymposia und Cluster auf der Tagung IFIP Berlin (August), die Tagung MoRePaS II (Oktober, Benner/Urban), der Oberwolfach Mini-Workshop Geometries, Shapes and Topologies in PDE Based Applications (Hintermüller/Leugering)

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

COMPUTERUNTERSTÜTZTE BEWEISE
UND SYMBOLISCHES RECHNEN

Walter Krämer



Michael Plum

Das herausragende Ereignis dieses Jahres war sicherlich die SCAN-Tagung (GAMM-IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic and Validated Numerics) in Novosibirsk. Wir möchten hier ein ganz herzliches Dankeschön an die Organisatoren, allen voran unserem Kollegen Sergey Shary, aussprechen. Die Tagung war hervorragend organisiert. In 8 Hauptvorträgen und mehr als 70 weiteren Vorträgen wurde ein breites Spektrum interessanter Themen abgedeckt. Am letzten Tag der Tagung fand zudem das Jahrestreffen der IEEE-P1788-Arbeitsgruppe zur Intervall-Standardisierung statt. Themen waren insbesondere der aktuelle Stand der Standardisierung sowie die Diskussion um das weitere Vorgehen gerade auch im Hinblick auf den durch IEEE vorgegebenen engen noch verbleibenden zeitlichen Rahmen. Neuigkeiten und weitere Details findet man über <http://grouper.ieee.org/groups/1788/>.

Einen Überblick über weitere Workshops/Tagungen zum Kernbereich unserer Fachgruppe, die in 2012 organisiert wurden, kann man sich über den Link unserer Fachgruppe <http://www2.math.uni-wuppertal.de/org/WRST> ver-

schaffen. So fanden z. B. im Juni 2012 im Rahmen der ACA 2012 (18th International Conference on Applications of Computer Algebra) in Sofia, Bulgarien die Sektion „Interaction Between Computer Algebra and Interval Computations“ und im August als Teil des „2012 annual meeting of the Japan Society for Industrial and Applied Mathematics“ in Wakkanai, Japan ein „Workshop on Validated Computations“ statt.

Unter dem oben angegebenen Link findet man natürlich auch Informationen zu kommenden Tagungen. Wir wollen an dieser Stelle nur die Daten zur SCAN'2014 nennen. Diese Tagung wird vom 21. bis 26. September 2014 in Würzburg stattfinden (Hauptorganisator: Jürgen Wolf von Gutenberg).

Die in Novosibirsk angestossene Diskussion um Bewerbungen und mögliche Tagungsorte für die SCAN'2016 hat inzwischen zu der endgültigen Festlegung auf Uppsala, Schweden geführt. Die Tagung wird von unserem Kollegen Warwick Tucker organisiert werden.

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

DYNAMIK UND REGELUNGSTHEORIE



Achim Ilchmann



Rolf Findeisen

Im Berichtszeitraum fanden zwei Workshops des FA „Dynamik und Regelungstheorie“ verbunden mit Aussprachen statt:

Am 9. u. 10.3.2012 an der Universität Stuttgart auf Einladung von Juniorprof. Robert Seifried; das wissenschaftliche Programm umfaßte 15 Vorträge.

Das zweite Treffen fand am 19.09.2012 gemeinsam mit den GMA-Fachausschüssen 1.30 und 1.40 im Sporthotel Anif bei Salzburg statt, welches dankenswerterweise von den Kollegen Prof. Jürgen Adamy und Prof. Oliver Sawodny mit organisiert wurde. Im Rahmen des Treffens wurden 8 wissenschaftliche Vorträge, so wie eine Aussprache des FA abgehalten.

An den Workshops haben jeweils etwa 25 Kollegen aus den Ingenieurwissenschaften und der Mathematik teilgenommen.

Die Erweiterung des Ausschusses durch neue Mitglieder insbesondere neu berufene KollegInnen gehört nach wie vor zu den wichtigsten Aktivitäten. So werden immer potentielle KandidatInnen zu einem Vortrag bei den Workshops eingeladen.

Für weitere Auskünfte über die Aktivitäten, Mitglieder und Kontaktadressen des FA steht Ihnen die Homepage <http://www.tu-ilmenau.de/analysis/team/achim-ilchmann> zur Verfügung.

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANALYSIS VON MIKROSTRUKTUREN



Georg Dolzmann



Klaus Hackl

Der Fachausschuss „Analyse von Mikrostrukturen“ fördert die mathematische Modellierung mikromechanischer Phänomene, sowie deren Analyse und numerische Simulation. Die Wechselwirkung von Mechanismen auf unterschiedlichen Skalen erfordert eine tiefere Zusammenarbeit von Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Mathematikern, da einerseits die Modellierung nicht abgeschlossen ist und andererseits das Potential moderner mathematischer Methoden wie Homogenisierung und Relaxierung noch nicht angemessen in Anwendungen eingeht. Die Weiterentwicklung und Verfeinerung dieser Methoden werden im Fachausschuss durch koordinierte Forschungsplanung, sowie durch Seminare und Tagungen vorangetrieben.

Im Jahr 2012 haben wir dieses Ziel durch die Organisation von mehreren Tagungen verfolgt:

- Schröder, Neff, Balzani, 11th GAMM-Seminar on Microstructures, Januar 2012, Duisburg/Essen
- Alber, Organisation der GAMM Jahrestagung 2012 in Darmstadt
- Dolzmann, Plenary Speaker auf der GAMM Jahrestagung 2012 in Darmstadt
- Conti, Müller, Koorganisation Trimesterprogramm „Mathematical challenges of materials science and condensed matter physics“, Mai-August 2012, Bonn

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE UND NUMERISCHE LINEARE ALGEBRA (ANLA)



Peter Benner



Daniel Kressner

Der Fachausschuss ANLA hat zur Zeit 92 Mitglieder aus 19 Ländern. Der jährliche Workshop fand diesmal vom 02.-05.09.2012 auf Château Liblice in der Tschechischen Republik statt und wurde von Kollegen der Karls-Universität und der Tschechischen Akademie der Wissenschaften organisiert. Der Schwerpunkt war dabei „Adaptivität“, mit den Hauptvortragenden Mario Arioli (Rutherford Appleton Laboratory, UK), Martin Gander (Universität Genf, Schweiz), Rolf Rannacher (Universität Heidelberg), und Martin Vohralik (Université Pierre et Marie Curie, Frankreich). Die Kooperation mit der SIAM Activity Group on Linear Algebra (SIAG/LA) wurde weiter ausgebaut, so war beispielsweise Daniel Kressner Mitglied des Nominierungskomitees für den neu gewählten Vorstand der SIAG/LA. Peter Benner war als GAMM-Repräsentant im Programmkomitee der SIAM Conference on Applied Linear Algebra 2012 in Valencia vertreten, bei der ANLA den Hauptvortrag von Lars Grasedyck (RWTH Aachen) gesponsert hat.

Mit dem spanischen Netzwerk ALAMA zur Linearen Algebra, Matrixanalysis und ihren Anwendungen wird es (bei erfolgreicher Neugründung von ANLA in 2013, s.u.) 2014 einen gemeinsamen Workshop in Barcelona geben. Der nächste ANLA-Workshop wird an der Bergischen Universität Wuppertal im Zeitraum 09.-10.09.2013 ausgerichtet. Der von ANLA-Mitgliedern alle 2 Jahre organisierte Workshop zu „Matrixgleichungen und Tensortechniken“ findet vom 10.-11.10.2013 an der EPF Lausanne in der Schweiz statt.

Der Fachausschuss blickt nun auf 12 erfolgreiche Jahre zurück und wird gemäß den Statuten der GAMM in 2013 geschlossen. Ein Antrag auf Einrichtung eines neuen Fachausschusses mit demselben Namen liegt dem GAMM Vorstand vor. Die fachlichen Aktivitäten des Fachausschusses wird ein in 2013 erscheinendes Themenheft der GAMM Mitteilungen beleuchten. Hierbei werden neue Entwicklungen der letzten Jahre, die insbesondere für den neuen Fachausschuss richtungweisend sind, aufgegriffen.

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES STOCHASTISCHE OPTIMIERUNG IN DER TECHNIK



Thomas Vietor Kurt Marti

Nach der Bewilligung dieses GAMM Fachausschusses im Jahr 2011 stand das Jahr 2012 im Zeichen der Aktivitäten in Form von Konferenzen und Fachbeiträgen sowie der vorbereitenden Organisation von Veranstaltungen im kommenden Jahr. Gemäß den Zielen des FA wurden Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen aus Universität und Industrie als Mitglieder gewonnen.

Zur Vorbereitung weiterer Kooperationen und der weiteren Forschung wurde ein Antrag im Rahmen der Ausschreibung des BMBF zum Thema Forschungscampus gestellt an dem der Leiter des FA maßgeblichen Anteil hatte. Dieser Antrag wurde im September 2012 vom BMBF genehmigt:

Open Hybrid LabFactory, Wolfsburg

Der Forschungscampus „Open Hybrid LabFactory“ fokussiert auf Fragestellungen des hybriden Leichtbaus, bei dem vielfältige Anforderungen zum Einsatz und der Weiterentwicklung stochastischer Verfahren bestehen. Am Standort der TU Braunschweig kommen universitäre, außeruniversitäre Einrichtungen und zahlreiche Industriepartner - sowohl Marktführer als auch kleine und mittelständische Unternehmen - zusammen. Ziel der langfristigen Forschungsstrategie ist die Entwicklung neuer Prozesstechnologien, die eine innovative wirtschaftliche und großserienfähige Herstellung von funktionsorientierten Leichtbaukomponenten für den Fahrzeugbau ermöglichen und so einen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität leisten soll. Dabei werden Materialentwicklung und Produktionstechnik interdisziplinär miteinander verbunden.

Im Rahmen der durchzuführenden Projekte wird es zur Weiterentwicklung und Anwendung stochastischer Ver-

fahren zur Optimierung kommen. Damit ist für zukünftige Aktivitäten im Rahmen des GAMM FA eine weitere Plattform geschaffen. In den ersten Wochen des Jahres 2013 soll mit den am Standort Braunschweig ansässigen Mitgliedern der GAMM die weitere Forschung in dieser Richtung festgelegt werden und Anträge für Minisymposia oder Konferenzen gestellt werden.

Im Jahr 2012 wurden folgende Konferenzen und Sessions durchgeführt bzw. für 2013 vorbereitet.

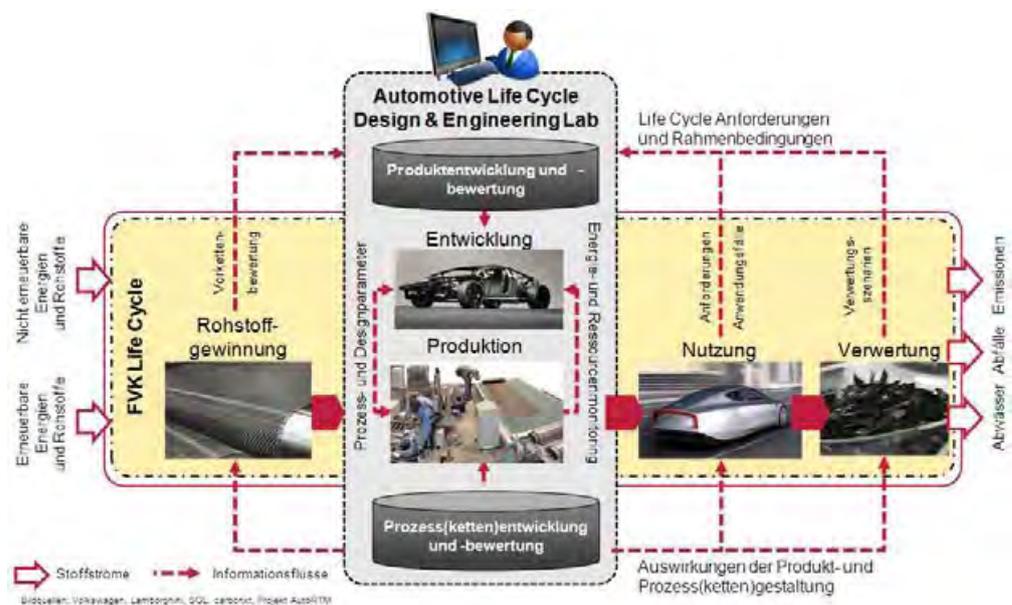
1. Organisation der Konferenz:
Faszination Karosserie und Fahrzeugkonzepte,
13. und 14. März 2012 in Wolfsburg.

2. Session: Vehicle Platform, Architecture and Performance. FISITA 2012, Beijing, 27.-30.11.2012

Neben der Mitorganisation wurde in der Session ein Vortrag eines Mitarbeiters des Instituts für Konstruktionstechnik der TU Braunschweig gehalten.

F2012-E02-006: Requirements Management and Risk Analysis for Future Vehicle Architectures
Mr. Jafet Germán Sánchez Ruelas, Technische Universität Braunschweig / Institute for Engineering Design (IK), Germany

3. Organisation der Special Session „Stochastic Structural Optimization: Stationary and Dynamic Problems“ (CC2013-S05) auf der 14th Int. Conference on Civil, Structural and Environmental Computing (CC2013), 3-6 September 2013, Cagliari, Sardinia, Italy.



JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MATHEMATISCHE SIGNAL-
UND BILDVERARBEITUNG (MSIP)



Gitta Kutyniok



Gabriele Steidl



Gerlind Plonka-Hoch

Der Fachausschuss MSIP wurde im Jahr 2012 ins Leben gerufen und hat zur Zeit 127 Mitglieder aus 16 Ländern. Das Ziel dieses Fachausschusses ist die Förderung des Gebietes der „Mathematischen Signal- und Bildverarbeitung“ und die Bereitstellung eines interdisziplinären Diskussions- und Interaktionsforums für Forschende aus der Mathematik, der Informatik und den Ingenieurwissenschaften. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden folgenden Aktionen durchgeführt:

- Einrichtung der Webseite des Fachausschusses (siehe www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP), die alle zentralen Informationen enthält, inklusive eines Online-Anmeldungsformulars.
- Regelmäßige Versendung eines Newsletters an alle Mitglieder.
- Einrichtung eines Job-Forums zur Unterstützung insbesondere von jüngeren Mitgliedern unseres Fachausschusses.
- Einrichtung eines Preprint-Servers mit automatisch erzeugtem Diskussionsforum für jeden einzelnen Artikel.
- Bereitstellung der Möglichkeit u.a. thematisch interessante Workshops, Konferenzen und Special Issues auf der Webseite zu posten.

Vom 4.-6. September 2012 fand die erste Jahrestagung des GAMM Fachausschusses MSIP in Göttingen statt. Von den Mitgliedern des Fachausschusses wurden ferner folgende Veranstaltungen organisiert:

- Sektion “Mathematical Image Processing”, Jahrestagung der GAMM 2012. Organisation: T. Preusser (Bremen) und G. Steidl (Kaiserslautern).
- Oberwolfach-Conference “Applied Harmonic Analysis and Sparse Approximation”, 10.-16.6.2012. Organisation: I. Daubechies (Duke), G. Kutyniok (Berlin), H. Rauhut (Bonn), T. Strohmer (UC Davis).
- Summer School “Image Reconstruction, Mathematics & Applications”, 23.-27.7.2012, München. Organisation: F. Filbir, J. Frikel, T. Lasser (München) und S. Kunis (Osnabrück).

- Summer School “New Trends and Directions in Harmonic Analysis, Fractional Operator Theory, and Image Analysis”, 17.-21.9.2012, Inzell. Organisation: B. Forster (Passau) und P. Massopust (München).

Mitglieder des Fachausschusses waren zusätzlich an der Organisation diverser weiterer Tagungen und Workshops - zum Teil federführend - beteiligt, u.a. der DAGM-OAGM 2012 (Graz) und der 8th International Conference on Mathematical Methods for Curves and Surfaces (Oslo).

Für das Jahr 2013 sind u.a. bereits folgende Aktivitäten geplant:

- GAMM FG-MSIP Jahrestagung, 30.9. - 2.10.2013 in Annweiler. Die eingeladenen Hauptvortragenden sind C. Schnörr (Heidelberg) sowie C. de Mol (Brüssel), die Vorsitzende der SIAM Activity Group on Imaging Sciences ist. Hierdurch soll auch die Kooperation mit dieser SIAM Activity Group gefestigt werden.
- Sektion “Mathematical Image Processing”, Jahrestagung der GAMM 2013. Organisation: Gitta Kutyniok (Berlin) und Otmar Scherzer (Wien).
- Workshop „Compressed Sensing and its Applications“, 9.-13.12.2013 in Berlin. Organisation: H. Boche (München), R. Calderbank (Duke), G. Kutyniok und J. Vybiral (Berlin).

Ferner ist für 2014 ein gemeinsamer Workshop zum Thema „Matrix Computations for Sparse Recovery“ mit der GAMM FG-ANLA geplant, um die Zusammenarbeit der beiden Fachausschüsse zu intensivieren. Diese Veranstaltung wird 9.-11.4.2014 von den beiden Sprechern P. Benner (Chemnitz) und G. Kutyniok (Berlin) an der TU Berlin organisiert.

Zusätzliche Informationen zu diesen und weiteren Aktivitäten des Fachausschusses sind auf der Seite www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP zu finden.

Bei Interesse laden wir jeden herzlich dazu ein, Mitglied zu werden.

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

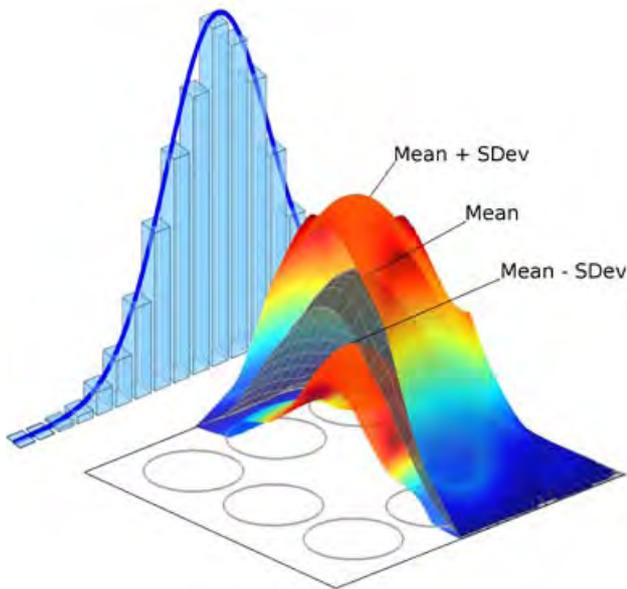
UNCERTAINTY QUANTIFICATION



Vincent Heuveline



Fabio Nobile



Uncertainty Quantification (UQ) hat als Ziel die quantitative Charakterisierung und Reduktion von Unsicherheiten in wissenschaftlichen Anwendungen und spielt somit eine zentrale Rolle bei der validierbaren numerischen Simulation vieler Problemstellungen aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften. Hierbei wird versucht eine belastbare Aussage über die Wahrscheinlichkeit von Systemreaktionen zu treffen unter der Bedingung, dass nicht alle systembeschreibenden Parameter exakt bekannt und dadurch mit Unsicherheiten behaftet sind.

Als Plattform zur Kooperation nationaler sowie internationaler Wissenschaftler/innen wurde im Jahr 2012 der GAMM Fachausschuss Uncertainty Quantification unter Vorsitz von Prof. Dr. Vincent Heuveline (Karlsruher Institut für Technologie, KIT) und Prof. Dr. Fabio Nobile (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL) gegründet. Das Kickoff Treffen des Fachausschusses fand am 24. und 25. Juli 2012 im Rahmen des ersten GAMM Workshops für Uncertainty Quantification für Computational Science and Engineering am Karlsruher Institut für Technologie statt. Hierbei trafen sich europäische, führende Wissenschaftler auf dem Gebiet UQ beispielsweise aus den Ländern Deutschland, Schweiz, Italien, Großbritannien und Belgien. Mit der Siemens AG war auch ein Industrieunternehmen vertreten. Ziel des Treffens war neben dem wissenschaft-

lichen Austausch auch die Wahl der Vorsitzenden (Heuveline/Nobile) sowie die Verabschiedung der Statuten. Mehr Informationen können der GAMM Fachausschuss UQ Website www.numhpc.org/AGUQ entnommen werden. Hier können sich auch Interessierte als Mitglied eintragen lassen.

Unter dem Dach des Fachausschusses findet vom 13. -17. Mai 2013 am Hausdorff Center for Mathematics an der Universität Bonn der Workshop: Numerical Methods for Uncertainty Quantification statt. Die Inhalte des Workshops umfassen u.a. die Themen:

- Forward uncertainty propagation
- Uncertainty propagation in time dependent problems
- Reduced order models and low rank approximations
- Inverse uncertainty quantification
- Optimization and optimal control problems under uncertainty

Der Workshop wird organisiert von Prof. Dr. Alexey Chernov (HCM, Univ. Bonn) sowie von den Fachausschuss Vorsitzenden Prof. Dr. Vincent Heuveline (KIT) und Prof. Dr. Fabio Nobile (EPFL). Die Ziele des Workshops sind die Beleuchtung verschiedener Aspekte bezüglich UQ für Modelle gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen sowie die Präsentation neuester theoretischer und angewandter Forschungsergebnisse.

Des Weiteren möchten wir auf das 29. GAMM-Seminar für Numerical Methods for Uncertainty Quantification: Solving High-Dimensional Problems Arising from PDEs with Uncertain Parameters am Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences in Leipzig vom 21. - 23. Januar 2013 hinweisen. Die Organisatoren sind Prof. Dr. Wolfgang Hackbusch (MPI MIS Leipzig) und Prof. Dr. Peter Benner (MPI DCTS Magdeburg). Invited Speakers sind:

- Hermann Matthies (TU Braunschweig)
- Anthony Nouy (École Centrale Nantes)
- Fabio Nobile (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)
- Ivan Oseledets (RAS Moscow)

JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING (CSE)



Ulrich Rüde



Oliver Röhrle



Barbara Wohlmuth

In der Vorstandssitzung der GAMM Jahrestagung 2012 in Darmstadt wurde der Fachausschuss Computational Science and Engineering (CSE) genehmigt. Um nach der Genehmigung den Fachausschuss so schnell wie möglich zu konstituieren, organisierten wir für den 17./18. September 2012 unser Kickoff-Meeting am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) in Garching. Insgesamt durften wir über 70 interessierte Teilnehmer begrüßen, die sich mit vielfältigen Gesprächen rund um das Thema CSE aktiv am Programm beteiligten.

Die Idee des Kickoff-Meetings war es das Gebiet CSE aus verschiedenen Blickwinkeln, z. B. Forschung, Lehre und Industrie, zu betrachten und gemeinsam zu diskutieren. Dafür konnten wir zahlreiche Vortragende und Podiumsdiskussionsmitglieder mit internationalem Renommee gewinnen: Wolfgang Ehlers (Stuttgart), Vizesekretär der GAMM und Direktor des Exzellenzclusters „Simulation Technology“, präsentierte neue Simulationstechniken für biomedizinische Fragestellungen. Hans-Joachim Bungartz (München) und Karsten Urban (Ulm) betrachteten CSE aus dem Blickwinkel der Informatik und der Mathematik, während Petros Koumoutsakos (ETH Zürich) die Notwendigkeit von HPC in CSE für Simulationen in der Fluidmechanik aufzeigte. David Keyes (KAUST und Columbia University) berichtete über weltweite CSE-Initiativen und über die Notwendigkeit von CSE. Als Präsident der Khalifa University erklärte Tod Laursen Abu Dhabis 2030 Vision und sein Ziel die Khalifa Universität mit Hilfe von CSE als eine der führenden Universitäten im Gebiet der Ingenieurwissenschaften und Medizin zu etablieren. Dirk Hartman (Siemens) verdeutlichte das breite Anwendungsspektrum von CSE für verschiedenste Technologien in industriellen Anwendungen. Kirk Jordan (IBM) berichtete als Direktor der „SIAM Activity Group CSE“

über die Erfahrungen mit CSE in den USA und innerhalb von SIAM. Michael Hanke (KTH Stockholm) berichtete über die Herausforderungen in der Lehre von CSE-Studiengängen.

Besonders erfreulich war die große Zahl junger Teilnehmer, was die dynamische Entwicklung und das Zukunftspotential des Gebietes unterstreicht. Außerdem freuten wir uns über die Teilnahme von Herrn Wilms von der DFG (Fachkollegium 409 Informatik), Axel Klawonn (Köln), Manfred Krafczyk (Braunschweig), Hans-Joachim Bungartz und Dirk Hartman an der Podiumsdiskussion zum Thema „Research & Money @ CSE.“ Dabei sei angemerkt, dass sowohl bei der DFG als auch im Wissenschaftsrat vielfältige Diskussionen und strategische Überlegungen zum Thema „CSE im Wandel“ stattfinden. Des Weiteren wurde die neue Satzung beschlossen. Ulrich Rüde wurde als Vorsitzender und Oliver Röhrle und Barbara Wohlmuth als Stellvertreter gewählt. Es wurde festgelegt, dass die nächste FA-CSE-Mitgliederversammlung auf der Jahrestagung der GAMM in Novi Sad stattfindet, und dass der Fachausschuss im Herbst 2013 einen Workshop organisieren wird. Auf der MAFELAP, die am 11. – 14. Juni 2013 an der Brunel University stattfinden wird, wird ein Minsymposium „Large scale computing with applications“ organisiert.

Der Fachausschuss hat schon über 80 Mitglieder, von denen inzwischen auch schon fast 70% GAMM-Mitglieder sind. Wer noch Interesse hat sich bei diesem Fachausschuss einzubringen ist jederzeit herzlich willkommen!

Mehr Information (inklusive der Vorträge des Kickoff-Meetings) gibt es unter <http://www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse>.



JAHRESBERICHT 2012 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MEHRSKALENMODELLE



Thomas Böhlke



Stefan Diebels

Der Ausschuss dient als Diskussions- und Interaktionsforum für Mechaniker, Mathematiker, Materialwissenschaftler und Ingenieure, die in den Bereichen Homogenisierungs- und Mehrskalenmethoden forschen. Besondere Aufmerksamkeit widmet der Fachausschuss der Vermittlung von Kenntnissen in mikromechanischen und mehrskaligen Simulationsmethoden an junge Nachwuchswissenschaftler.

Das jährliche Treffen des Fachausschusses fand vom 24. - 25.09.2012 an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg statt und wurde mit einem wissenschaftlichen Seminar verbunden. Gastgeber war Herr Prof. Albrecht Bertram. Das nächste Seminar wird am 20.-21.06.2013 an der TU Dresden von Herrn Prof. Bernd Zastrau organisiert. Der Fachausschuss organisierte vom 02.-07.09.2012 in

Bad Herrenalb bei Karlsruhe eine Sommerschule, in der experimentelle, theoretische und numerische Methoden vorgestellt wurden, die für die Charakterisierung und Beschreibung der im Ingenieurwesen wichtigsten Materialklassen angewendet werden können. Die Veranstaltung richtete sich an Doktoranden, die sich für ihre Promotion einen Überblick zu den verschiedenen Methoden der Beschreibung mikrostrukturierter und mehrskaliger Materialien verschaffen wollten. Dies beinhaltete insbesondere Methoden auf folgenden Gebieten: Molekulardynamik, Dichtefunktionaltheorie, Versetzungsdynamik, Mikromechanik, Homogenisierungsmethoden, Phasenfeldtheorien, erweiterte Kontinuumstheorien. Aufgrund des großen Interesses an dem Workshop, soll ein ähnlicher Workshop im Jahr 2014 organisiert werden.

KORRIGENDUM

zum Artikel: Modellierung und Frühwarnung für Tsunamis – Wissenschaftliches Rechnen für den Ernstfall, GAMM Rundbrief 1/2012

Der Autor des Artikels über Tsunami-Warnung dankt Herrn Herbert Niessner, dem zwei Vorzeichenfehler in der Gleichung aufgefallen sind, welche die Wellenbewegung von Tsunamis im tiefen Ozean beschreibt. Die Gleichung muss richtig lauten:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} + g \nabla \eta = R,$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot (H \mathbf{v}) = 0.$$

mit

$$R = -f \mathbf{k} \times \mathbf{v} - r H^{-1} \mathbf{v} |\mathbf{v}| + H^{-1} \nabla (K_h H \nabla \mathbf{v}).$$

NACHRUF PROF. HANS J. RATH



Die Nachricht kam unerwartet und war ein Schock: Am 4. September 2012 ist unser Kollege, Mentor und Freund, Prof. Hans J. Rath verstorben. Nur wenige wussten von seiner schweren Erkrankung, aber viele wussten von seinen ambitionierten Plänen, die er mit der ihm eigenen Mischung aus Kreativität und Tatkraft voranzutreiben gedachte. Umso erschütternder war daher der Fakt, dass all sein Denken, Entwickeln, Kommunizieren und Agieren abrupt beendet wurde. „Er hatte noch so viel vor“ – dieser Satz wurde in den folgenden Wochen und Monaten oft und von vielen Menschen, die ihn kannten, wiederholt.

Er hatte immer viel vor, oft so viel, dass an seinem Realitätssinn gezweifelt wurde. Aber seine Erfolge gaben ihm Recht, ihm, der immer nach der Maxime handelte, dass nur der Großes schafft, der sich noch Größeres vornimmt. Zu seinem strategischen Weitblick und seiner Planungs- und Durchsetzungsstärke kam auch die Fähigkeit, Menschen in Teams von seinen Visionen und Plänen einerseits zu begeistern und ihnen andererseits auch die Freiheiten zuzugestehen, sich für diese Ideen und Projekte einzusetzen. Er hat damit nicht nur Projekte und Gebäude „groß gemacht“, sondern auch Menschen. Aus seiner Wirkungszeit

am ZARM (Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation) sind nicht weniger als 13 Professoren hervorgegangen. Er hat es verstanden, durch Fordern zu fördern, und er hat jeden, der mit ihm zu tun hatte (oder zu tun bekam) gefordert, allein schon durch seine Persönlichkeit, deren Spannweite so groß war, wie ich es bislang nur bei wenigen Menschen erleben durfte: Handwerker und Wissenschaftler, Manager und Künstler, Politiker und Arbeiter, Vater der Fallturms und Stadtentwickler, Doyen und Bohemien, Vorgesetzter und Freund, Kosmopolit und Westfale, Hochschullehrer und Aufsichtsratsmitglied. Vor diesem Hintergrund mag es auch verzeihlich erscheinen, wenn an dieser Stelle nur exemplarische Ausschnitte seines Lebenswerks angesprochen werden können: 1981 folgte Hans Rath dem Ruf an den Lehrstuhl für Technische Mechanik und Strömungslehre an der Universität Bremen. 1985 gründete er das ZARM und wurde dessen Geschäftsführender Direktor. Unter seiner Leitung hat sich das ZARM in seinem Wissenschaftsgebiet zum führenden Forschungszentrum in Europa entwickelt mit 130 Beschäftigten und einem Gesamtbudget von mehr als 10 Mio. EURO. In seiner Zeit als Hochschullehrer hat er 64 Promotionen und 5 Habilitationen betreut. Seine Publikationsliste umfasst 289 Veröffentlichungen in internationalen wissenschaftlichen Fachzeitschriften und Büchern. In seinem Wirken für sein Institut, die Universität Bremen und die Freie Hansestadt Bremen sowie seine Wissenschaftsfelder spielte Konferenzen als Plattformen und Impulsgeber eine wichtige Rolle. 1998 und 2008 war er zwei Mal Gastgeber für die GAMM-Tagung, 2003 für den International Astronautical Congress, 2010 für die COSPAR Scientific Assembly, um nur einige Beispiele zu nennen. In zahlreichen Organisationen und Institutionen war er ein gefragter und geschätzter Wissenschaftler und Wissenschaftsmanager. So war Hans Rath unter anderem Mitglied der Europäische Akademie der Wissenschaften und Künste, der European Low Gravity Association (ELGRA) und der European Mechanics Society (EUROMECH), der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM), der International Academy of Astronautics (IAA) und International Astronautical Federation (IAF), des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft und des Kunstvereins in Bremen. All diese Facetten gehören zu der Persönlichkeit eines Hans Rath dazu, beschreiben ihn aber nur unvollständig. Man muss ihn erlebt haben, um ermessen zu können, wen wir mit ihm verloren haben: einen bodenständigen Visionär, einen dynamischen Macher, einen sensiblen Künstler und einen integren Integrator, vor allem aber einen Kollegen, Mentor und Freund. Wir werden ihn sehr vermissen und ihn nicht vergessen.

Autor: Stefan Odenbach

PERSONALIA

Todesfälle, wir gedenken:

Em. Prof. Joseph Hersch, Nürensdorf
 Prof. Dr.-Ing. Hans J. Rath, Bremen
 Prof. Dr. Michael Riemer, Karlsruhe

WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

GAMM

Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik
<http://www.gamm-ev.de>

Tagungsjahr 2013

GAMM Annual Meeting
 March 18 – 22, 2013, Novi Sad (Serbia)
<http://www.gamm2012.tu-darmstadt.de/>

GAMM Workshop on Mathematical Signal- and Image Processing
 September 30 – October 2, 2013
 Kurhaus Anweiler am Trifels

Weitere Interessante Veranstaltungen können Sie auf den Seiten der Fachausschüsse der GAMM direkt einsehen.

Computerunterstützte Beweise und symbolisches Rechnen
<http://www.math.uni-wuppertal.de/wrswt/gamm/#conferences>

Numerische Methoden für partielle Differenzialgleichungen
<http://gamm-sc.mathematik.uni-karlsruhe.de/index.html>

Dynamik und Regelungstheorie
<http://regpro.mechatronik.uni-linz.ac.at/gamm>

Analysis von Mikrostrukturen
<http://www.app-ana2.uni-bonn.de/gamm-fa/>

Angewandte und Numerische Lineare Algebra
<http://www.sam.math.ethz.ch/GAMM-ANLA/>

Angewandte Operatortheorie
<http://www.math.uni-wuppertal.de/~fa/gamm/aktivitaeten.html>

Biomechanik
<http://www.mechbau.uni-stuttgart.de/ls2/gamm-FA-biomech/>

Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen
<http://www.math.uni-hamburg.de/spag/gamm/index.html.de>

Computational Science and Engineering (CSE)
<http://www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse>

Mathematische Signal- und Bildverarbeitung
<http://www3.math.tu-berlin.de/numerik/GAMM-MSIP/>

Uncertainty Quantification
<http://www.numhpc.org/AGUQ>

Weitere Tagungen sind auf der GAMM-Homepage <http://www.gamm-ev.de> einzusehen.

IUTAM

International Union of Theoretical and Applied Mechanics
<http://www.iutam.net>

ECCOMAS

European Community on Computational Methods in Applied Sciences
<http://www.cimne.com/eccomas>

EUROMECH

European Mechanics Society
<http://www.euromech.org>

EMS

European Mathematical Society
<http://www.euro-math-soc.eu/>

MFO

Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach
<http://www.mfo.de>

CISM

International Centre for Mechanical Sciences
<http://www.cism.it>

Weitere interessante wissenschaftliche Veranstaltungen können Sie auf den Links der einzelnen Organisationen einsehen.



Foto: Peter Ulrich Hein

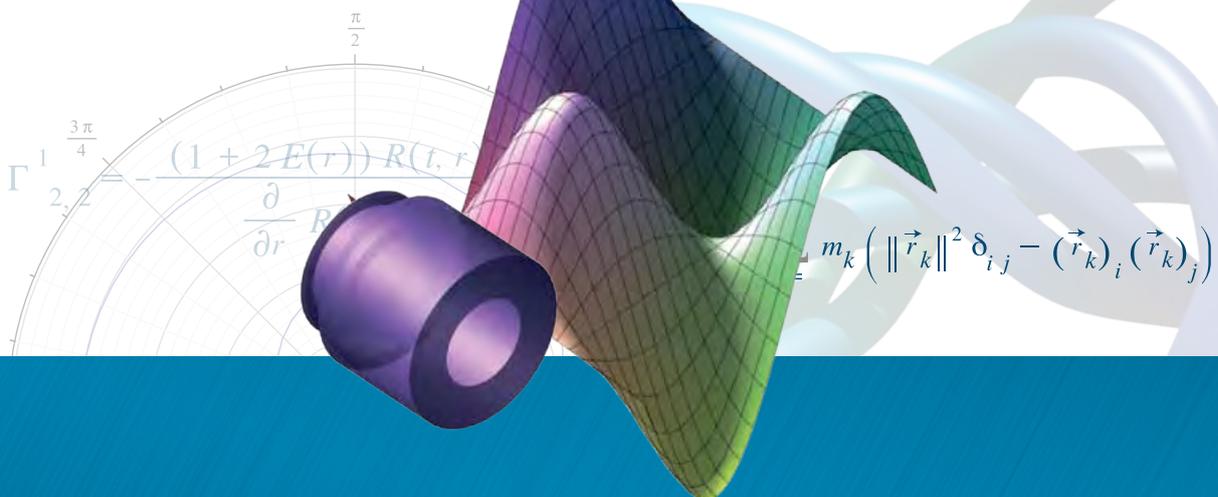
AM MITGLIED WERDEN!

Maple™ 16

Das unerlässliche Werkzeug für Mathematik und Modellierung

Warum Maple 16?

1. **Clickable Math™ 3.0!** Smart Popups und Drag-to-Solve™ nun zusätzlich zu Assistenten, Tutoren, kontextsensitiven Menüs und anderen Clickable Math Werkzeugen für die nächste Phase der Benutzerfreundlichkeit von Mathematiksoftware
2. **Über 4500 Erweiterungen und Verbesserungen** im gesamten Produkt
3. **Bedeutende Verbesserungen bei der Visualisierung**, einschließlich einer intelligenten Kurvendarstellung, die automatisch die interessanten Punkte berücksichtigt, Gummiband-Zoom, verbesserte Standardvorgaben für die 2D- und 3D-Darstellung von Kurven sowie die 3D-Interpolation
4. **Deutlich schnellere Ausführung** bei vielen Grundoperationen von Maple sowie bei Berechnungen mit mehreren Kernen und Multi-Threading, um noch umfangreichere Probleme bewältigen zu können
5. **Weltweit führende Algorithmen** zur Lösung von gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen sowie für Berechnungen aus dem Bereich der theoretischen Physik, die über die Möglichkeiten vergleichbarer Softwaresysteme hinausgehen
6. **Über 100 neue Math Apps** zur Erklärung von Konzepten in den Bereichen Mathematik, Statistik, Physik und Finanzen
7. **Snippet Palettes** zur einfachen Wiederverwendung von Teilen aus einem Maple-Dokument
8. **Live Data Plots** zur Vertiefung, zum Verständnis und zur Veröffentlichung, alles mit einem einfachen Mausklick
9. **Neue statistische Algorithmen und Visualisierungen** zur vertieften Untersuchung und Analyse
10. **Bedeutende Verbesserungen bei der Maple-Programmiersprache** als weitere Hilfe bei der Erstellung von Bibliotheken und kundenspezifischem Code



Kostenlose Evaluation von Maple 16 unter
www.maplesoft.com/rundbrief