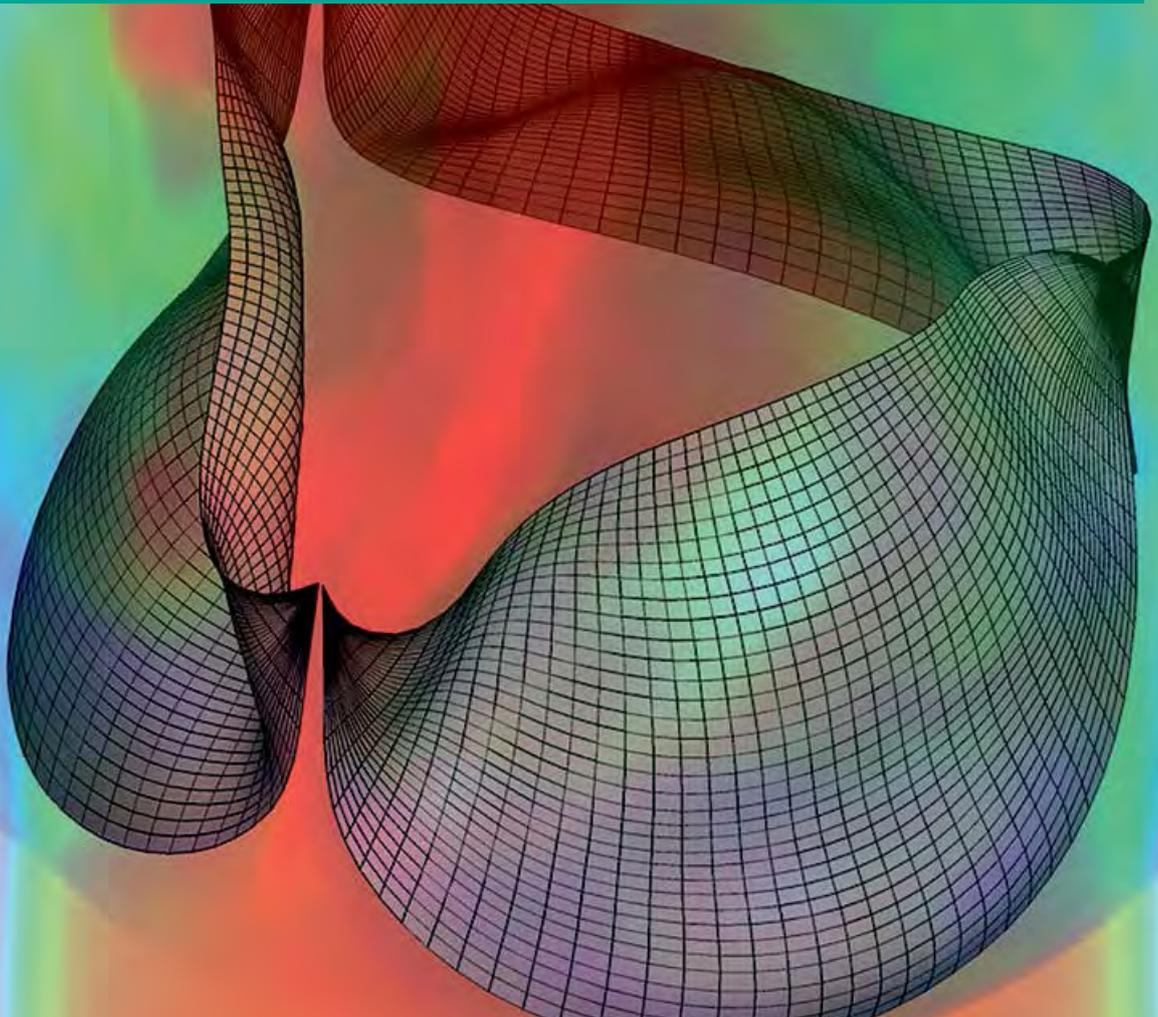


RUNDBRIEF

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

WENN DIE PROBLEME ZAHLREICHER WERDEN:
REDUZIERTER BASIS METHODEN FÜR EFFIZIENTE
UND GESICHERTE NUMERISCHE SIMULATION

INSTABILITÄTEN NUTZEN: FUNKTIONALE
MATERIALIEN MIT KONTROLLIERBAREN
MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN

JAHRESBERICHTE DER GAMM-FACHAUSSCHÜSSE

JUNGE WISSENSCHAFTLER:
THOMAS RICHTER UND DOMINIK SCHILLINGER

1/2014

www.gamm-ev.de

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

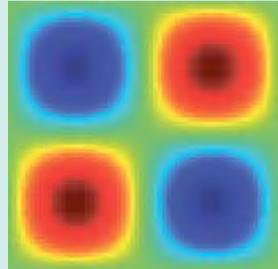
Alle Rechte bei den Autoren.

ISSN 2196-3789



4 Vorstand der GAMM

5 Ehrenmitglieder



**6 Wenn die Probleme
zahlreicher werden:
Reduzierte Basis
Methoden für effiziente
und gesicherte
numerische Simulation**

Von Bernard Haasdonk
und Mario Ohlberger



**14 Instabilitäten nutzen:
funktionale Materialien
mit kontrollierbaren
mechanischen
Eigenschaften**

Von Dennis M. Kochmann

**19 Steckbrief
Thomas Richter**

**21 Steckbrief
Dominik Schillinger**

**23 Richard-von-Mises-Preises
der GAMM 2015**

24 Berichte aus den Fachausschüssen:

24 Phasenfeldmodellierung

25 Biomechanik

**25 Analysis partieller
Differentialgleichungen**

**26 Numerische Methoden für
Partielle Differentialgleichungen**

**26 Optimierung mit partiellen
Differentialgleichungen**

27 Dynamik und Regelungstheorie

28 Analysis von Mikrostrukturen

**29 Stochastische Optimierung in
der Technik**

**30 Mathematische Signal- und
Bildverarbeitung (MSIP)**

31 Uncertainty Quantification

**32 Computational Science and
Engineering (CSE)**

33 Angewandte Operatortheorie

**34 Angewandte und Numerische
Lineare Algebra (ANLA)**

34 Multiscale Material Modeling

**35 Wissenschaftliche
Veranstaltungen**





LIEBE LESERIN, LIEBER LESER, LIEBE GAMM-MITGLIEDER,

adaptive Methoden zur einmaligen Lösung einer partiellen Differentialgleichung sind – vom Aufwand her betrachtet – oft optimal. Dies ändert sich jedoch im Allgemeinen, wenn ein parametrisiertes Problem für eine Vielzahl von Parametern zu lösen ist. Beispiele können verschiedene Materialeigenschaften oder Anfangs- und Randwertbedingungen sein, möglich sind aber auch stochastische Parameter. In ihrem Übersichtsartikel zu Reduzierten-Basis-Methoden befassen sich Bernard Haasdonk und Mario Ohlberger mit diesem Thema. Im zweiten Übersichtsartikel stellt Dennis M. Kochmann funktionale Materialien mit kontrollierbaren Eigenschaften vor. Hier werden zum Beispiel Materialien mit metastabilen Einschlußphasen -- mit negativen Elastizitätsmoduli -- in Verbundwerkstoffen betrachtet, die eine hohe Dämpfung erlauben.

In unseren Nachwuchswissenschaftlerporträts stellen sich dieses Mal Thomas Richter von der Universität Heidelberg und Dominik Schillinger von der University of Minnesota vor.



In der Frühjahrsausgabe des Rundbriefes finden Sie traditionell auch die Berichte der GAMM-Fachausschüsse über ihre Aktivitäten des vergangenen Jahres. Wie auch in den vergangenen Jahren spiegelt sich hier eine große thematische Breite und Aktualität wider.

Hinweisen möchten wir auch auf die Ausschreibung des Richard-von-Mises-Preises, vgl. S. 23.

Als Herausgeber des Rundbriefes bedanken wir uns herzlich bei Bernard Haasdonk und Mario Ohlberger, sowie Dennis M. Kochmann für die Fachartikel, bei Thomas Richter und Dominik Schillinger 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 2014

Axel Klawonn und Jörg Schröder

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

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

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

Vizesekretär: **Prof. Ralf Müller**
 Technische Universität Kaiserslautern,
 Lehrstuhl für Technische Mechanik
 Postfach 3049, 67653 Kaiserslautern

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. Josef Eberhardsteiner
 Technische Universität Wien,
 Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen,
 Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

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

Prof. Sigrid Leyendecker
 Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
 Lehrstuhl für Technische Dynamik,
 Haberstraße 1, 91058 Erlangen

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

Prof. Christoph Egbers
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus
 Fakultät Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen,
 Institut für Verkehrstechnik
 Siemens-Halske-Ring 14, 03046 Cottbus

Prof. Peter Eberhard
 Universität Stuttgart, Institut für Technische und Numerische
 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. Dr. Birgit Jacob
 Bergische Universität Wuppertal
 Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften

EHRENMITGLIEDER DER GAMM

Ehrenvorsitzender

Prof. Dr. Ludwig Prandtl (1950)
† 15. August 1953

Ehrenmitglieder

Prof. Dr. Theodor von Kármán (1956)
† 7. Mai 1963

Prof. Dr. Aurel Stodola
† 25. Dezember 1942

Prof. Dr. Henry Görtler (1980)
† 31. Dezember 1987

Prof. Dr. Felix Klein (1924)
† 22. Juni 1925

Prof. Dr. Lothar Collatz (1980)
† 26. September 1990

Prof. Dr. Eric Reissner (1992)
† 1. November 1996

Prof. Dr. Klaus Kirchgässner (2011)
† 09. Juli 2011

Prof. Dr. Wolfgang Haack (1992)
† 28. November 1994

Prof. Dr.-Ing. Erwin Stein (2011)

Prof. Dr. Helmut Heinrich (1993)
† 14. Januar 1997

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zierrep (1999)

Prof. Dr. Klaus Oswatitsch (1993)
† 1. August 1993

Prof. Dr.-Ing. Oskar Mahrenholtz (1997)

Prof. Dr. Kurt Magnus (1993)
† 15. Dezember 2003

PERSONALIA

Todesfälle, wir gedenken:

Prof. Dr. Günther Nürnberger, Mannheim
OSTr a. D. Gerhard Bullmer, Lübeck

WENN DIE PROBLEME ZAHLREICHER WERDEN: REDUZIERTER BASIS METHODEN FÜR EFFIZIENTE UND GESICHERTE NUMERISCHE SIMULATION

VON BERNARD HAASDONK UND MARIO OHLBERGER

Viele physikalische, chemische oder auch biologische Prozesse können mit Hilfe partieller Differentialgleichungen beschrieben werden. Weisen die zugrunde liegenden Prozesse eine komplexe Dynamik auf, so ist eine Analyse und Vorhersage des Verhaltens oft nur durch eine numerische Lösung der entsprechenden (nichtlinearen) Differentialgleichungen möglich. Bekannte Vertreter solcher numerischer Approximationsverfahren sind Finite Differenzen, Finite Volumen und Finite Elemente Verfahren. Die Grundidee all dieser Verfahren ist es, die analytische Lösung einer partiellen Differentialgleichung in einem endlich-dimensionalen Lösungsraum zu approximieren. Damit stellt sich unweigerlich die Frage, wie ein optimaler approximativer Lösungsraum aussehen müsste. Ein einfaches Gedankenexperiment zeigt jedoch, dass diese Frage noch präzisiert werden muss, denn nehmen wir als Lösungsraum den Span der exakten Lösung selbst, so ist der resultierende ein-dimensionale Lösungsraum optimal in dem Sinne, dass er die minimal mögliche Dimension hat. Sicherlich hätten wir aber nichts gewonnen, da die Konstruktion des Lösungsraums genauso aufwendig wäre, wie die Lösung der ursprünglichen Problems. Präzisieren wir also die Frage und bezeichnen die Konstruktion des endlich-dimensionalen Lösungsraums als Offline-Phase und den dazu benötigten Rechenaufwand als Offline-Kosten. Offline deshalb, weil die Konstruktion des Lösungsraumes eventuell für eine ganze Klasse von Problemen nur einmal durchgeführt werden muss.

Die eigentliche Berechnung der approximativen Lösung in dem konstruierten Lösungsraum bezeichnen wir folglich als Online-Phase und den damit verbundenen Rechenaufwand als Online-Kosten. Bei einem vorgegebenen Approximationsfehler den wir zulassen wollen, bezeichnen wir dann ein numerisches Verfahren als optimal, wenn die Summe aus Offline-Kosten und Online-Kosten für eine gegebene Klasse von Problemen minimiert wird.

Um dies zu veranschaulichen betrachten wir klassische Finite Elemente Verfahren, bei denen der Lösungsraum durch global stetige, stückweise polynomiale Funktionen auf einer zugrundeliegenden Partitionierung (Gitter) des Rechengebiets gegeben ist. Die Offline-Kosten sind dann im Wesentlichen gegeben durch den Rechenaufwand der

Gittergenerierung, da der Lösungsraum durch das Gitter festgelegt ist. Der Online-Aufwand besteht im Assemblieren und Lösen eines Gleichungssystems, wobei im einfachsten Fall die Zahl der Gleichungen mit der Anzahl der Gitterpunkte korreliert. D.h. je weniger Gitterpunkte man für eine vorgegebene Fehlertoleranz benötigt, desto geringer der Online-Aufwand. Diese Grundidee machen sich lokal adaptive Finite Elemente Verfahren zu nutze. Anhand von möglichst effizienten und robusten Fehlerschätzern, werden dort lokal verfeinerte Gitter mit möglichst wenigen Gitterpunkten konstruiert, die speziell an die Struktur der Lösung eines gegebenen Problems angepasst sind. Gegenüber einer vergleichbaren Simulation auf einem gleichmäßig verfeinerten Gitter reduziert sich im adaptiven Verfahren der Online-Aufwand enorm. Allerdings muss man durch die Berechnung und Konstruktion des „optimalen“ Gitters auch einen Preis zahlen – der Offline-Aufwand ist entsprechend erhöht. Insgesamt zahlt sich ein lokal adaptives Verfahren natürlich nur dann aus, wenn die Summe von Offline- und Online-Aufwand gegenüber einer uniformen Verfeinerung reduziert werden kann.

Besteht die Aufgabe darin, genau eine Lösung einer partiellen Differentialgleichung zu finden, so sind moderne adaptive Verfahren bezogen auf den Gesamtaufwand oft optimal, da sie die spezifische Struktur der Lösung der partiellen Differentialgleichung ausnutzen.

Anders sieht es jedoch aus, wenn die Aufgabe darin besteht, ein parametrisiertes Problem für eine Vielzahl von ausgewählten Parametern zu lösen. Solche Parameter können z.B. Geometriemaße, Materialeigenschaften, Anfangs- oder Rand-Bedingungen umfassen. Neben deterministischen Modellgrößen können Parameter auch stochastisch sein. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung solcher zufälliger Parameter kann weitere Modellparameter enthalten. Ein solches Simulationsszenario kommt in zahlreichen realistischen Anwendungen vor. Zum Beispiel sind für statistische Untersuchungen viele Simulationen mit unterschiedlichen Parametern erforderlich. Dies ist insbesondere im Kontext der Uncertainty Quantification mittels Monte-Carlo Methoden der Fall. In der Optimierung oder Optimalsteuerung wird ein Gütefunktional durch Anpassung von Parametern oder Parameterfunktio-

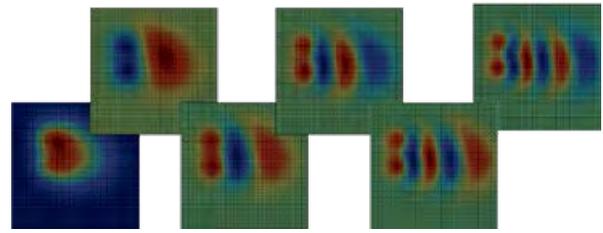
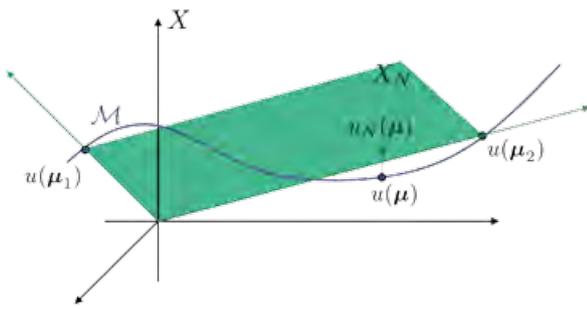


Abb. 1: Illustration der RB-Methoden: Identifikation eines niedrigdimensionalen Unterraumes durch Snapshots, Approximation von hochdimensionalen Lösungen durch Galerkin-Projektion (links); Beispiel einer Reduzierten Basis bestehend aus 6 Vektoren für ein Transport-Problem (rechts).

onen maximiert oder minimiert. Bei Mehrskalproblemen kann es notwendig sein, ein Mikromodell sehr häufig mit variierenden Parametern zu lösen und diese Ergebnisse in ein Makromodell zu übernehmen.

In all diesen „multi-query“ Szenarien müsste für jeden gewählten Parameter erneut ein relativ aufwändiger adaptiver Prozess zur Generierung des Lösungsraumes gestartet werden. In Abhängigkeit von Parametern bildet die Lösungsmenge hier jedoch oft eine niedrigdimensionale Lösungsmannigfaltigkeit M im unendlich-dimensionalen Lösungsraum V , deren Glattheit in der Konstruktion von optimalen approximativen Lösungsräumen gezielt ausgenutzt werden kann.

Genau hier setzen Reduzierte Basis (RB) Methoden an, die auf einer effizienten Offline/Online-Zerlegung des Rechenaufwandes beruhen. Schränkt man sich zunächst auf die Approximation in linearen Unterräumen des unendlich-dimensionalen Lösungsraumes ein, so lässt sich ein optimaler approximativer Lösungsraum V_N^{opt} mit fest vorgegebener Dimension N mathematisch dadurch charakterisieren, dass er den Abstand zur kompakten Lösungsmannigfaltigkeit M minimiert. Den minimalen Abstand, den man auf diese Weise für feste Dimension N erhält bezeichnet man als Kolmogorov N -Weite. Für bestimmte Regularitätsklassen von Lösungsmengen kann man zeigen, dass diese Kolmogorov N -Weite entweder exponentiell oder mit algebraischer Rate bezüglich N abnimmt. Dies impliziert, dass mit dem optimalen Lösungsraum V_N^{opt} eine sehr effiziente Online-Approximation gewonnen werden könnte.

Greedy-Algorithmus und RB-Methoden: Die Konstruktion des optimalen Lösungsraum V_N^{opt} ist jedoch im Allgemeinen nicht möglich oder aufgrund zu hoher Offline-Kosten nicht praktikabel. Gibt man sich jedoch damit zufrieden einen approximativen Lösungsraum V_N der Dimension N zu finden, dessen Abstand zur Lösungsmannigfaltigkeit mit der selben Rate bzgl. N konvergiert wie die Kolmogorov N -Weite, so ist mit dem sogenannten Greedy-Algorithmus die Konstruktion eines solchen quasi-optimalen Lösungsraumes mit vertretbaren Offline-Kosten möglich [BCDDPW11]. In diesem Verfahren wird

ein Lösungsraum V_N iterativ aufgebaut. Die Konstruktion benötigt ein effizient zu berechnendes Fehlermaß das den Abstand einer gegebenen approximativen Lösung zur exakten Lösung aus M für einen ausgewählten Parameter bestimmt. Zu einer gegebenen Basis des approximierenden Raumes aus der vorherigen Iteration wird deren Approximationsgüte mit dem Fehlermaß für eine große Anzahl von Parametern bestimmt. Der Parameter, welcher das größte Fehlermaß liefert, wird ausgewählt, eine hochdimensionale Lösung (im Folgenden Snapshot genannt) zu diesem Parameter wird berechnet und zur Verbesserung des approximativen Raumes der Basis hinzugefügt. Die Erweiterungs-Schleife wird abgebrochen, sobald die gewünschte Genauigkeit erreicht ist.

Die prinzipielle Technik der RB-Methoden wurde bereits im vorigen GAMM-Rundbrief im Profil von K. Veroy angesprochen [Ve13]: Wesentliche Herangehensweise ist eine Offline-Online-Zerlegung: In der einmalig durchgeführten Offline-Phase werden, wie soeben beschrieben, im Rahmen der Basisgenerierung wenige teure Snapshots des Problems zu ausgewählten Parametern berechnet. Zur Erzeugung der Snapshots können beliebige Diskretisierungsverfahren, wie z.B. Finite Elemente Verfahren verwendet werden. Die Offline-Kosten skalieren dann mit dem N -fachen einer herkömmlichen Finite Elemente Approximation. Nach Konstruktion des approximativen RB-Raumes V_N der Dimension N kann anschließend in der Online-Phase für vielfache und beliebige Parameter schnell eine RB-Approximation, z.B. durch (Petrov-) Galerkin Projektion erhalten werden. Die Berechnungsschritte lassen sich derart zerlegen, dass geeignete Ortsintegrale in der Offline-Phase vorberechnet werden, und in der Online-Phase lediglich Matrizen und Vektoren der Dimension $N \times N$, bzw. N linear kombiniert werden müssen. Die Online-Kosten sind also polynomial in N . Bei vielen Anwendungen ist N sehr klein (in der Größenordnung 10-100), korreliert lediglich mit der Regularität und Struktur der Lösungsmannigfaltigkeit M und die Online-Kosten sind damit insbesondere unabhängig vom Rechenaufwand, der beispielsweise für die klassischen Finite Elemente Approximation des zugrundeliegenden Problems benötigt wird.

■ POD-Greedy Algorithm

- Given training parameter set $M_{\text{train}} \subset \mathcal{P}$
- Given initial basis $\Phi_{N_0} \subset \mathcal{X}_h$

While $\varepsilon := \max_{\mu \in M_{\text{train}}} \Delta_N(\mu) > \varepsilon_{\text{tol}}$

1. Find $\mu^* := \operatorname{argmax}_{\mu \in M_{\text{train}}} \Delta_N(\mu)$
2. Compute detailed trajectory $u_h(\mu^*)$
3. Orthogonalize trajectory $e_h := u_h(\mu^*) - P_{\mathcal{X}_N}(u_h(\mu^*))$
4. Add principal components of **proj. error** as basis vectors
 $\Phi_{N+1} = \Phi_N \cup \text{POD}_1(e_h)$

Abb. 2: POD-Greedy Verfahren. Das Verfahren ist inkrementell und erzeugt eine Basis, welche bis auf Konstanten dieselbe Konvergenzrate aufweist, wie der bestapproximierende lineare Unterraum.

Aufgrund der sehr geringen Online-Kosten sind RB-Verfahren auch interessant für Simulationsszenarien in denen sehr schnelle Simulationsantworten notwendig sind. Dies ist bei Echtzeit-Anforderungen wie der Regelung von industriellen Prozessen oder der Benutzung interaktiver Oberflächen für Anwender der Fall, z.B. sind Strömungssimulationen auf Smartphones möglich, für welche man mit klassischen Diskretisierungsansätzen oft Hochleistungsrechner benötigt. Neben schneller Simulation ist auch eine Absicherung der Simulation durch a-posteriori Fehlerkontrolle essenziell. Hinzu kommt, dass eine solche Fehlerkontrolle auch als schnell zu berechnendes Fehlermaß im Greedy-Algorithmus verwendet werden kann. In RB-Methoden wird die Fehlerkontrolle meist durch Residuen-basierte Fehlerschätzer realisiert, welche zuverlässig und effizient sind in dem Sinne, dass der wahre Fehler mit einer Konstante nach oben und unten abgeschätzt wird. Die schnelle Berechnung des Fehlerschätzers kann mittels geeigneter Offline/Online-Zerlegung erfolgen. Abbildung 1 zeigt das Schema der Approximation durch lineare Unterräume und eine beispielhafte Basis des approximativen Lösungsraumes aus 6 Vektoren. Eine vollständige Darstellung der RB-Methodik für lineare stationäre elliptische Probleme findet sich z.B. in dem elektronischen Buch [PR07], und den dort angegebenen Referenzen.

Wir wollen nun auf einige neuere Entwicklungen der RB-Methode genauer eingehen, welche insbesondere auch unseren eigenen Arbeiten entstammen.

Instationäre Probleme, POD-Greedy Algorithmus: Für zeitabhängige Probleme ist die Proper Orthogonal Decomposition (POD) ein bekannter Ansatz, welcher bereits seit einigen Jahren zur projektionsbasierten Reduktion von Dynamik verwendet wird [BHL93,Vo13]. Die Idee hierbei ist, zu einer gegebenen Trajektorie von Lösungen den Projektionsraum als bestapproximierenden Raum im Sinne des mittleren quadratischen Projektionsfehlers zu

wählen. Dieses Optimierungsproblem lässt sich durch ein Eigenwertproblem des zugehörigen Kovarianzoperators lösen. Bei parametrischen und zeitabhängigen Problemen ist die Lösungsmannigfaltigkeit nun parametrisiert durch Parameter und Zeit. Um hier zu einer reduzierten Basis zu gelangen, kann der sogenannte POD-Greedy Ansatz verwendet werden, den wir in [HO08] vorstellten, und der mittlerweile das Standardverfahren zur Basisgenerierung in parametrischen zeitabhängigen Problemen darstellt. Der Algorithmus ist in Abbildung 2 dargestellt, und erstellt durch inkrementelle Erweiterung idealerweise eine immer präziser werdende reduzierte Basis. Das Vorgehen lässt sich kompakt beschreiben: Beginnend mit einer initialen Basis (leere Menge, oder Anfangsdaten-Komponenten) wird derjenige Parameter bestimmt, welcher den momentan größten Approximationsfehler aufweist. Für diesen Parameter wird eine Lösungstrajektorie des hochdimensionalen Problems berechnet, und der orthogonale Projektionsfehler bzgl. des aktuellen reduzierten Raumes berechnet. Von dieser Fehlertrajektorie wird nun die Hauptkomponente durch eine POD berechnet und als neuer Basisvektor hinzugefügt. Dies wird so oft wiederholt, bis die Basis genügend präzise ist, oder eine maximale Basisgröße erreicht worden ist. In Abbildung 5 (rechts, blaue Kurven) sind beispielhafte Fehlerkurven über die Iterationen aufgetragen. Statt Optimierung über den gesamten Parameterbereich wird meist eine endliche repräsentative Trainingsmenge von Parametern gewählt, und eine Maximumsuche über dieser Menge durchgeführt. Weiter wird statt aufwändiger Berechnung des tatsächlichen Approximationsfehlers für jeden Parameter in jeder Iteration häufig ein verlässlicher, effektiver und schnell auszuwertender Fehlerschätzer verwendet. Hierdurch kann die Trainingsmenge sehr groß gewählt werden. Das POD-Greedy-Verfahren kann somit einerseits als Erweiterung des bekannten Greedy-Verfahrens von stationären RB-Problemen zu zeitabhängigen Settings

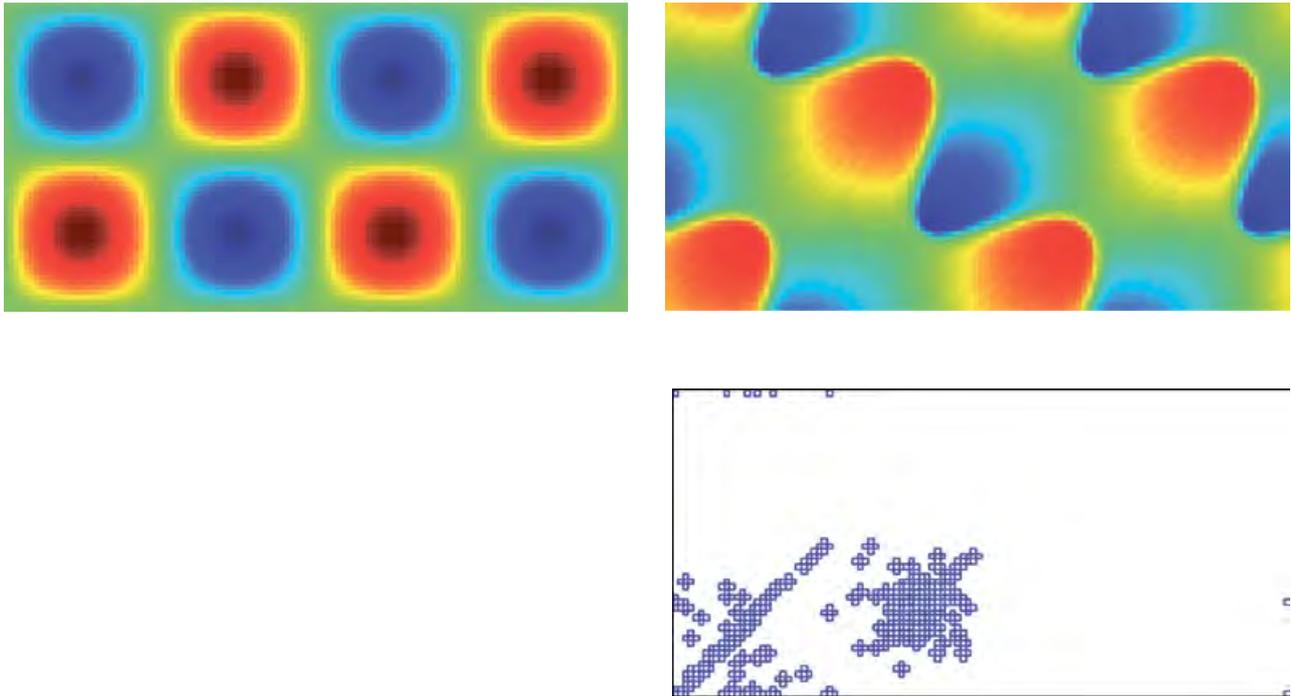


Abb. 3: Empirische Operator Interpolation für 2D Burgers-Gleichung mit periodischen und symmetrischen Anfangs- und Randdaten [DHO12]: Anfangsdaten (links), Enddaten mit erzeugten Unstetigkeiten (rechts oben), 150 verwendete Interpolations-Funktionale und dafür notwendiges Teilgitter bestehend aus 496 von ursprünglich 7200 Zellen (rechts unten). Dieses Beispiel verdeutlicht, wie der konstruktive Approximationsprozess die Symmetrie der Lösung entdeckt: Lediglich Interpolationspunkte im unteren linken Viertel des Rechengebiets sind notwendig für korrekte Evolution der Physik. In diesem Beispiel werden sogar erzeugte Unstetigkeiten aufgelöst. Dies ist also erfolgreiche Reduktion einer hyperbolischen Gleichung mit Unstetigkeiten.

aufgefasst werden, andererseits als intelligente Sampling-Strategie für POD im parametrischen Kontext. Das Verfahren ist nicht nur eine algorithmische Heuristik, sondern es lassen sich Konvergenzraten des Algorithmus beweisen [Ha13]. Analog zum stationären Fall kann gezeigt werden, dass im Fall guter Approximierbarkeit der Lösungsmannigfaltigkeit durch lineare Räume, welches durch schnell abfallende Kolmogorov N-Weite indiziert wird, der POD-Greedy Ansatz garantiert einen Raum konstruiert, der bis auf Konstanten dieselbe algebraische oder exponentielle Konvergenzrate aufweist. Damit ist das Verfahren theoretisch untermauert. Die Frage bleibt nun lediglich: Für welche Probleme ist eine gute Approximierbarkeit zu erwarten? Es gibt ganz klare positive wie negative Beispiele: Als Negativ-Beispiel dient ein diskretes 1D Transportproblem: Wir betrachten den Raum der quadratsummierbaren Folgen und betrachten die Trajektorie, welche zum Zeitpunkt k aus dem k -ten Einheitsvektor besteht. Dies modelliert somit die „Verschiebung“ eines Dirac-Impulses als Anfangswerte und kann als einfache Diskretisierung einer Advektionsgleichung aufgefasst werden. In diesem Fall ist das Problem nicht parametrisch, aber es ist leicht einzusehen, dass alle Elemente der Trajektorie orthogonal sind, kein Zustand zum Zeitpunkt k durch Linearkombination von früheren Zuständen dargestellt werden kann.

Sobald irgendein Unterraum als Linearkombination von Snapshots gegeben ist, gibt es Trajektorien-Elemente, welche den Projektionsfehler 1 auf diesen Raum erzeugen. Wir erwarten hier also eine nicht (oder schlecht) abfallende Kolmogorov N-Weite und daher schlechte Reduktionsfähigkeit. Als Positiv-Beispiel dient Translation von geometrischen Folgen (mit entsprechender Randbehandlung), welches als Diskretisierung einer geeigneten Advektions-Reaktionsgleichung aufgefasst werden kann. Eine Verschiebung einer geometrischen Folge kann durch Multiplikation der Folge mit einer Konstanten erreicht werden. Somit ist die gesamte Trajektorie der verschobenen Folgen in einem 1-dimensionalen Unterraum enthalten. Die Kolmogorov N-weite fällt somit für $N \geq 1$ sofort auf Null, entsprechend wird der POD-Greedy Ansatz einen 1-dimensionalen Raum erzeugen, welcher exakt approximiert. Diese Beispiele demonstrieren zwei-erlei: Zunächst sehen wir die zu erwartenden Schwierigkeiten von Reduktion bei realistischen Transportproblemen mit Unstetigkeiten. Ähnliche Probleme sind somit bei hyperbolischen Transportgleichungen mit Schocks zu erwarten. Zweite Einsicht ist jedoch, dass schlechte Approximierbarkeit nicht durch die Differentialgleichung alleine gegeben ist, sondern auch von den Anfangsdaten abhängt. Auch eine hyperbolische Gleichung kann gut

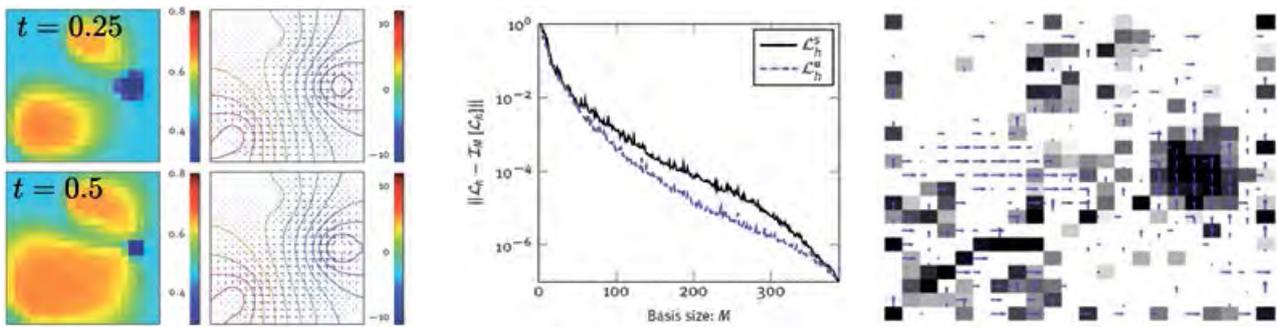


Abb. 4: Beispiel der Empirischen Operator Interpolation im Kontext der Zweiphasenströmung in porösen Medien [DHO12b]. Unbekannte sind der globale Druck, Sättigung und Geschwindigkeit. Beispielhafte Lösungen für ein Gebiet mit zwei Quellen und einer Senke (links), Fehlerabfall der Empirischen Operator Interpolation der beiden nichtlinearen Diskretisierungsoperatoren für Geschwindigkeit und Sättigung (mitte) und Interpolationspunkte (rechts, Pfeile für Geschwindigkeit, Quadrate für Sättigung).

approximierbare Lösungsmannigfaltigkeit besitzen, falls die Anfangs/Randbedingungen günstig sind [HO08b]. In der Praxis wird die Reduktionsfähigkeit eines Problems irgendwo zwischen diesen beiden Extremen liegen.

Nichtlineare Probleme und Empirische Operator Interpolation:

Nichtlineare Operatorgleichungen lassen sich numerisch durch iterative Linearisierungen lösen, wie z.B. das bekannte Newton-Verfahren. Bei der projektionsbasierten Reduktion besteht nun ein naheliegender Ansatz darin, das nichtlineare System zu projizieren, und das nichtlineare reduzierte System mit einem Newton-Verfahren zu lösen. Hier stellt sich das Problem, dass Auswertungen des nichtlinearen Operators und der Ableitung erforderlich sind, welche an der aktuellen reduzierten Approximation ausgewertet werden müssen. Die teuren Komponenten (Jacobi-Matrix, Nichtlinearität) können also nicht unabhängig von der Online-Approximation vorberechnet werden. Die Offline-Online-Zerlegung ist nicht gewährleistet.

Eine Lösungsmöglichkeit bietet die Empirische Interpolation (EI). Zunächst wurde die EI für Funktionen eingeführt [BMNP04]. In dieser Form ist es ein sehr interessantes Interpolationsverfahren, bei dem eine Funktionsapproximation durch angepasste Interpolationsräume realisiert wird: Basierend auf Kenntnis der Menge der Funktionen, welche man interpolieren will, wird wiederum durch eine Greedy-Idee inkrementell eine Teilmenge als Interpolationsbasis und eine geeignete Interpolationspunktemenge identifiziert, welche für die vorliegenden Funktionen einen idealen Interpolationsraum darstellen. Die Interpolationsbasis ist also keine a-priori fest gewählte Polynom/Spline-Basis, sondern besteht aus ausgewählten „empirischen“ Funktionsrepräsentanten, daraus ist die Bezeichnung empirische Interpolation motiviert. Dieser Begriff soll keineswegs darauf hindeuten, dass es ein „heuristisches“ Verfahren ist, denn auch hierfür lassen sich quasi-optimale Konvergenzraten beweisen. Interessanterweise reproduziert dieses Verfahren bekannte optimale Interpolationsansätze: Gegeben eine große Menge an Polynomen auf einem 1D Intervall, welche durch die EI interpoliert werden sollen, wird als Ergebnis für die Interpolationspunkte algorithmisch eine Punktmenge identifiziert, wel-

che sehr ähnlich zu der Tschebyscheff-Knotenwahl ist, welches für Polynome in 1D bekanntermaßen die optimale Interpolationspunktewahl ist. Nur ist die EI eben allgemeiner für beliebige Gebiete in beliebigen Dimensionen und für beliebige Funktionenklassen definiert, für welche meist keine theoretisch optimale Interpolationspunktewahl bekannt ist. Aufgrund dieser überraschend guten Wahl von Interpolationspunkten, werden diese auch „magic points“ genannt. Als Ergebnis kann eine nichtlineare Funktion nun approximiert werden durch wenige Punktauswertungen und anschließender Linearkombination mit der nodalen Interpolationsbasis, der sogenannten Kollateralen Basis. Dies ermöglicht wieder eine effiziente Offline/Online-Zerlegung von nachfolgenden linearen Operationen, z.B. der Galerkin-Approximation.

Bei allgemeinen Operatorgleichungen treten Operatoren statt Funktionen auf, welche zu interpolieren sind. Mit der Erweiterung der Empirischen Operator-Interpolation (EOI) [HOR08], lassen sich allgemeine nichtlineare Diskretisierungsoperatoren approximieren. In der Offline-Phase wird wie im Fall der Funktionen eine kollaterale Basis aus Snapshots von Bildern des Operators erzeugt. Weiter korrespondieren die Interpolationspunkte nun zu gewissen Freiheitsgraden (oder allgemeiner linearen Funktionalen) der diskreten Lösung, z.B. Zellenwerte bei Finite Volumen Diskretisierung, Knotenwerte bei Finiten Elementen, Vektorindizes bei einer vektoriiellen Nichtlinearität, etc. Im letzten Fall entspricht die EOI gerade der neuerdings populären DEIM Methode.

Nach Bestimmung der kollateralen Basis und „magischen Indizes“ benötigt man in der Online-Phase die Auswertung des Diskretisierungsoperators in diesen Freiheitsgraden. Hierfür ist jedoch eine lokale Auswertung des diskreten Differentialoperators notwendig. Dies wird numerisch durch Extraktion eines Teilgitters gewährleistet, welches aus den Nachbarzellen der Interpolationszellen besteht: Indem man in der Online-Phase die reduzierte Lösung auf diesen Zellen rekonstruiert (Linearkombination mit der reduzierten Basis auf diesem Teilgitter), und die lokalen Differentialoperatoren ausgewertet (Iteration über das Teilgitter) hat man die Zielwerte für die Empirische Interpolation, und die Approximation des nichtlinearen Operators erhalten. Diese EOI

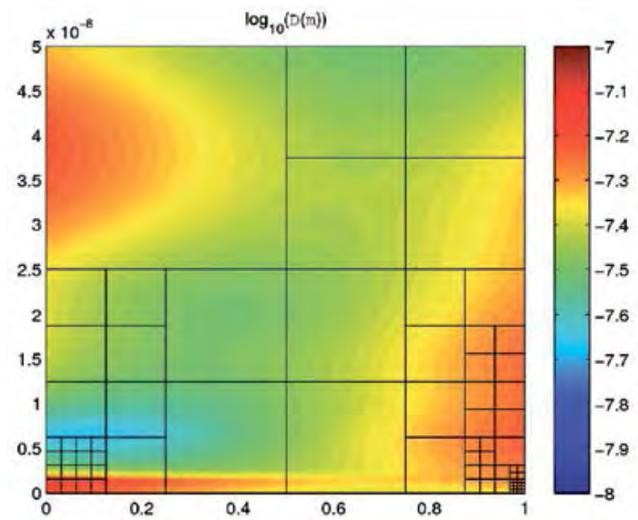
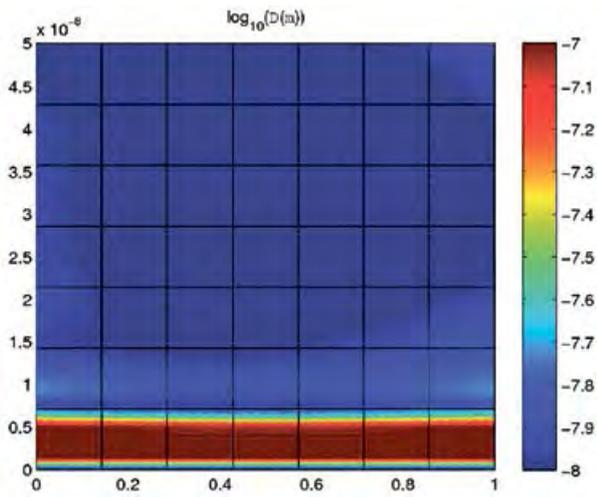


Abb. 5: Beispiel für Adaptive Trainingsmengen-Erweiterung [HDO11]: Fehlerkonvergenz der resultierenden Basen (rechts unten), Overfitting bei Verwendung einer zu groben Trainingsmenge an Parametern (links) und verbesserte gleichmäßige Fehlerdistribution bei Verwendung von adaptiver Erweiterung basierend auf unstrukturierten Gittern im Parameterraum (rechts oben).

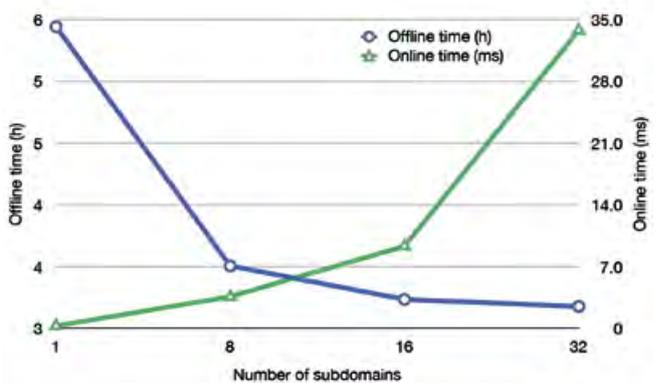
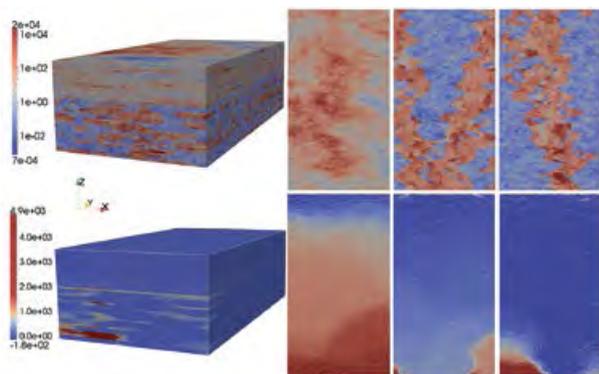
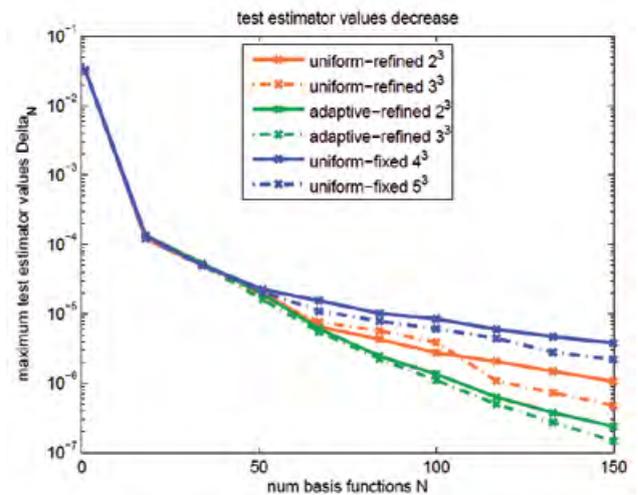


Abb. 6: Beispiel einer Multiskalen-Anwendung: SPE10 Benchmarkdatensatz eines Gebietes mit stark variierenden Permeabilitätskoeffizienten und Lösungen (links), Ergebnis der Behandlung mit der Multiskalen-RB-Methode gemäß [AHKO12] (rechts): Eine Balancierung zwischen Offline- und Online-Kosten ist möglich durch Variation der Teilgebietsanzahl.

kann sowohl für nichtlineare Diskretisierungsoperatoren, als auch deren Ableitungen angewandt werden, und somit sind effizient Newton-Verfahren realisierbar, um die eingangs genannten nichtlinearen Operatorgleichungen mittels Modellreduktion zu approximieren. Die EOI wurde mittlerweile auf eine Vielzahl von Problemen erweitert: Von nicht-affin parametrischen linearen Problemen, über nichtlineare hyperbolische Probleme, bis hin zu Systemen, siehe Abbildung 3 und 4. Neben komplexeren Anwendungen ist auch die theoretische Analysis wie rigorose a-posteriori Fehlerkontrolle der Interpolation und der reduzierten instationären Systeme möglich [DHO12].

Reduktion der Offline-Kosten durch Adaptivität: Ähnlich zu Ideen der Adaptivität bei Finiten Elementen, lassen sich verschiedene Arten der Adaptivität realisieren, um die Offline-Phase effizienter zu gestalten. Für ein gutes reduziertes Modell ist es essenziell, dass das Greedy-Verfahren eine repräsentative Suchmenge verwendet. Ist aufgrund von Rechenkomplexität des Fehlerindikators die Größe der Suchmenge eingeschränkt, muss man diese sehr sorgfältig wählen oder adaptieren. Ein Ansatz besteht darin, die Suchmenge als Gitterpunkte eines adaptiven Gitters im Parameterraum zu wählen [HDO11], siehe auch Abbildung 5. Sobald im Greedy-Algorithmus eine Überanpassung des Modells an die wenigen Gitterpunkte festgestellt wird, wird das Greedy-Verfahren vorzeitig unterbrochen, Zellen des Parametergitters zur Verfeinerung markiert, das Gitter verfeinert und das Greedy-Verfahren mit der nun verfeinerten Suchmenge fortgesetzt. Hierdurch erhält man für eine sehr geringe Anzahl an Trainingsparametern ein global sehr gutes reduziertes Modell, welches gemäß der Adaptivitätsstrategie eine Gleichverteilung des Fehlers aufweist. Interessanterweise spiegelt sich in der Trainingspunktewahl auch die Physik des zugrundeliegenden Modells wieder. So werden viele Parameter in jenen Bereichen gewählt, in denen bekanntermaßen die Lösung eine hohe Variabilität besitzt (z.B. im gering diffusiven Bereich). Dieser Ansatz eignet sich somit zur Verringerung der Offline-Kosten.

Verallgemeinerte RB-Methoden für komplexe Systeme: Realistische Anwendungs-Szenarien führen oft auf sehr komplexe Problemstellungen in dem Sinne, dass die Lösungsvariation in Abhängigkeit von wenigen oder auch sehr hoch dimensionalen Parametern sehr groß ist. Dies ist insbesondere der Fall bei gekoppelten Multi-Physik- und Mehrskalenproblemen. In solchen Szenarien führt die komplexe Struktur der Lösungsmannigfaltigkeit zu einer vergleichsweise schlechten Approximierbarkeit in linearen Unterräumen, die sich gewöhnlich in einer sehr hohen Dimension N des RB-Raumes äußert und somit zu hohen Online-Kosten führt. Eine natürliche Verallgemeinerung der RB-Methode besteht daher darin den linearen approximativen Lösungsraum durch eine approximative Mannigfaltigkeit zu ersetzen, die man aus geeigneten nichtlinearen Kombinationen von Snapshots gewinnt. Zahlreiche Ansätze für solche Verfahren wurden in den vergangenen Jahren entwickelt und evaluiert.

Ein erster solcher Ansatz besteht darin, die Konstruktion eines linearen approximativen Raumes durch die Konstruktion eines Dictionaries von Snapshots zu ersetzen aus dem dann in der Online Phase durch einen nichtlinearen Auswahlprozess ein geeigneter niedrigdimensionaler linearer Approximationsraum extrahiert wird. Dies ermöglicht die simultane Beschränkung der Online-Kosten und Vorgabe der Genauigkeit des reduzierten Modells. Dazu wird beispielsweise das Parametergebiet mittels geeigneter adaptiver Strategien [EPR10], [HDO11] partitioniert. Auf den Teilgebieten des Parameterraumes werden unabhängig reduzierte Modelle erzeugt. Die Offline-Kosten dieses Ansatzes sind somit höher als ohne Partitionierung. Man gewinnt jedoch beliebig viel für die Online-Phase: Durch genügend feine Partitionierung wird die Lösungsvariation auf den Teilgebieten wesentlich sinken, so dass beliebig kleine Basen auf den Teilgebieten möglich sind unter gleichzeitiger Gewährleistung von vorgegebenen Genauigkeitsschranken. In der Online-Phase ist lediglich die korrekte Auswahl des Teilmodells notwendig. Ähnliche adaptive Partitionierungsstrategien sind auch im Zeitbereich möglich.

Ein ganz anderer Ansatz eignet sich insbesondere zur Modellreduktion von Mehrskalenproblemen. Hierzu wird der lineare RB-Raum durch einen tensorprodukt-artigen approximativen Raum ersetzt, der durch Produkte von makroskopischen stückweise polynomialen Funktionen mit feinskaligen Snapshots aufgespannt wird. In einer solchen Konstruktion müssen in der Offline-Phase deutlich weniger Snapshots berechnet werden, wobei die Online-Kosten jedoch ansteigen können. Zur Berechnung der Snapshots in solchen Mehrskalenszenarien können effiziente numerische Mehrskalmethoden verwendet werden, die auf einer additiven Zerlegung des Lösungsraumes in grobskalige und feinskalige Anteile beruhen [Oh12]. Eine konkrete Umsetzung dieses Ansatzes mit stückweise konstanten makroskopischen Funktionen in der Tensorprodukt-Zerlegung und einer resultierenden Discontinuous Galerkin Projektion des zugrundeliegenden Diskretisierungsverfahrens ist das lokalisierte Reduzierte Basis Mehrskalverfahren, das wir in [AHKO12] vorgestellt haben. Numerische Ergebnisse dieses Ansatzes für ein Benchmarkproblem der Society for Petroleum Engineering (SPE10) sind in Abbildung 6 dargestellt.

Für weitere Informationen zu Aktivitäten im Umfeld von RB-Methoden in Deutschland verweisen wir auf die Webseite <http://www.morepas.org>. Neben Publikationen und Hinweisen zu aktuellen Veranstaltungen finden Sie dort auch Links zu entsprechender Software, insbesondere zur Bibliothek RBmatlab.

Danksagung: Die Autoren danken Ihren Kooperationspartnern für die fruchtbare Zusammenarbeit im oben beschriebenen Forschungsfeld. B. Haasdonk dankt der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH für Förderung im Postdoktoranden- und Juniorprofessoren-Programm und der DFG für Förderung im Rahmen des Exzellenzclusters Simulation Technology (EXC 310/1) an der Universität Stuttgart.

Literatur

- [AHKO12] Albrecht, F.; Haasdonk, B.; Kaulmann, S. & Ohlberger, M.: A Handlovičová and Z. Minarechová and D. Ševčovič (Eds.), The Localized Reduced Basis Multiscale Method, ALGORITMY 2012 – Proceedings of contributed papers and posters, Publishing House of STU, 2012, 1, 393–403.
- [BMNP04] Barrault, M.; Maday, Y.; Nguyen, N.C. & Patera, A.T.: An ‘empirical interpolation’ method: application to efficient reduced-basis discretization of partial differential equations. C. R. Math. Acad. Sci. Paris Series I, 2004, 339, 667–672.
- [BHL93] Berkooz, G.; Holmes, P. & Lumley, J.L.: The Proper Orthogonal Decomposition in the Analysis of Turbulent Flows. Annual Review of Fluid Mechanics, 1993, 25, 539–575.
- [BCDDPW11] Binev, P.; Cohen, A.; Dahmen, W.; DeVore, R.; Petrova, G. & Wojtaszczy, P.: Convergence rates for greedy algorithms in reduced basis methods, SIAM J. Math. Anal. 2011, 43(3), 1457–1472.
- [DHO12] Drohmann, M.; Haasdonk, B. & Ohlberger, M.: Reduced Basis Approximation for Nonlinear Parametrized Evolution Equations based on Empirical Operator Interpolation, SIAM Journal on Scientific Computing, 2012, 34, A937–A969.
- [EPR10] Eftang, J.L.; Patera, A.T. & Ronquist, E.M.: An hp Certified Reduced Basis Method for Parametrized Elliptic Partial Differential Equations. SIAM J. Sci Comp., 2010, 32(6), 3170–3200.
- [Ha13] Haasdonk, B.: Convergence Rates of the POD-Greedy method, M2AN Math. Model. Numer. Anal., 2013, 47, 859–873.
- [HDO12] Haasdonk, B.; Dihlmann, M. & Ohlberger, M.: A Training Set and Multiple Basis Generation Approach for Parametrized Model Reduction Based on Adaptive Grids in Parameter Space, Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, 2011, 17, 423–442.
- [DHO12b] Drohmann, M.; Haasdonk, B. & Ohlberger, M.: Reduced Basis Model Reduction of Parametrized Two-phase Flow in Porous Media, Proc. MATHMOD 2012, 2012.
- [HO08] Haasdonk, B. & Ohlberger, M.: Reduced Basis Method for Finite Volume Approximations of Parametrized Linear Evolution Equations, M2AN, Math. Model. Numer. Anal., 2008, 42, 277–302.
- [HOR08] Haasdonk, B.; Ohlberger, M. & Rozza, G.: A Reduced Basis Method for Evolution Schemes with Parameter-Dependent Explicit Operators, ETNA, Electronic Transactions on Numerical Analysis, 2008, 32, 145–161.
- [Oh12] Ohlberger, M.: Error control based model reduction for multiscale problems. ALGORITMY 2012 – Proceedings of contributed papers and posters, Publishing House of STU, 2012, 1, 1–10.
- [PR07] Patera, A.T. & Rozza, G.: Reduced Basis Approximation and a Posteriori Error Estimation for Parametrized Partial Differential Equations, Version 1.0. Copyright MIT 2006–2007, to appear in (tentative rubric) MIT Pappalardo Graduate Monographs in Mechanical Engineering.
- [Ve13] Veroy, K.: Steckbrief, Gamm Rundbrief, 2013, 1, 25–26.
- [Vo13] Gubisch, M. & Volkwein, S.: Proper Orthogonal Decomposition for Linear-Quadratic Optimal Control, Lecture Notes, University of Constance, 2013.



Bernard Haasdonk ist Juniorprofessor am Institut für Angewandte Analysis und Numerische Simulation der Universität Stuttgart. Als Mitglied im Exzellenzcluster SimTech leitet er eine Nachwuchsgruppe und ein SimTech Projekt Netzwerk mit dem Schwerpunkt Modellreduktion. Er studierte 1995–2000 Physik, Mathematik und Informatik an der Universität Freiburg und promovierte dort 2005 in der Informatik im Bereich des Maschinellen Lernens. Als Postdoktorand in Freiburg und Münster begann er, datenbasierte Approximationstechniken in die Numerik für Partielle Differentialgleichungen zu übertragen, welches zu neuen Modellreduktionsmethoden führte. Seit seiner Berufung nach Stuttgart im Jahre 2009 werden diese Arbeiten in zahlreichen Projekten erweitert. Gastaufenthalte führten ihn an das MIT (Cambridge), die EPFL (Lausanne), die University of Manchester und die Stanford University.



Mario Ohlberger ist seit 2007 Professor am Institut für Numerische und Angewandte Mathematik und dem Center for Nonlinear Science der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Er ist beteiligt am Exzellenzcluster Cells in Motion und am Sonderforschungsbereich 656 Molekulare kardiovaskuläre Bildgebung. Er studierte Mathematik in Kaiserslautern und Freiburg, wo er 2001 für seine Promotion zu konvektionsdominanten Transportprozessen den Ferdinand-von-Lindemann Preis der Universität Freiburg erhielt. Während seiner Assistentenzeit in Freiburg war er Stipendiat des Eliteförderprogramms für Postdoktoranden der Landesstiftung Baden-Württemberg. Er hatte Auslandsaufenthalte an der Université de Provence in Marseille, der University of Heraklion in Griechenland und dem Mittag-Leffler Institute in Stockholm. 2003 arbeitete er als Research Associate am Center for Scientific Computation and Mathematical Modeling der University of Maryland in College Park, USA. Seine Forschungsschwerpunkte sind insbesondere Numerik partieller Differentialgleichungen, Mehrskalmethoden, Modellreduktion parametrisierter Systeme und Wissenschaftliches Rechnen.

INSTABILITÄTEN NUTZEN: FUNKTIONALE MATERIALIEN MIT KONTROLLIERBAREN MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN

VON DENNIS M. KOCHMANN

Mechanische Instabilität ist ein altbekanntes Phänomen, das Ingenieure und Wissenschaftler seit Jahrhunderten beschäftigt: von Eulers Knickstäben über die Faltenbildung dünner Membranen bis hin zu Materialversagen durch Scherbandbildung und Schädigungslokalisierung. Während Designprinzipien im Ingenieuralltag weitestgehend versuchen Instabilitäten zu vermeiden, besteht durchaus die Möglichkeit, durch geschickte Architektur Instabilitäten sinnvoll zu nutzen und dadurch kontrollierbares oder funktionales Struktur- und Materialverhalten zu erzielen. In der Natur findet man diese Strategie z. B. im Jagdverhalten der fleischfressenden Pflanze, wie in [1] untersucht und in Abb. 1 dargestellt: Der Schließmechanismus nutzt die mechanische Instabilität der unter Feuchtigkeit anschwellenden Membranen, was zum Zuschnappen der Pflanze führt und dazu inspiriert hat, funktionale Oberflächen nach ähnlichem Bauprinzip zu entwickeln. Eines ähnlichen Konzeptes bedienen sich die kürzlich entwickelten „Buckliballs“, deren mechanisches Grundprinzip weitreichende Anwendungen von der Medizintechnik bis hin zum Kinderspielzeug findet: Das spezielle Design der mit Vertiefungen versehenen, dünnen Polymer-Membran kann unter Druckänderung gezielt zu vordefinierten, enormen und vor allem elastischen Form- und Volumen-

änderungen führen, wie in [2] berichtet wird und ebenfalls in Abb. 1 illustriert ist. Dies sind nur zwei von vielen Beispielen, in denen eine mechanische Instabilität genutzt wird, um Strukturelementen vordefinierte Formen und Funktionen zu verleihen.

Materialinstabilitäten

Was auf struktureller Ebene Knickung, Wölbung und Faltenbildung sind, ist auf der Materialebene der lokale Verlust der Elliptizität eines Festkörpers. Solche Materialinstabilitäten treten im Ingenieursalltag auf z. B. als Scherbänder, als Phasentransformation oder als Zwillingsbildung. Sie resultieren in der Regel aus einer Form der Nichtkonvexität der Energielandschaft, die dazu führt, dass der zuvor stabile homogene Deformationszustand thermodynamisch ungünstig wird und zur Umwandlung in eine energetisch präferierte Phase (oder eine mikrostrukturelle Mischung aus energetisch bevorzugten Varianten) führt. Abb. 2 veranschaulicht die nichtkonvexe Energielandschaft sowohl für zwei makroskopische Strukturen als auch für die Phasentransformation von Perowskitkeramiken. Dies sind ferroelektrische Werkstoffe, die bei ihrer Curietemperatur eine kubisch-tetragonale Phasentransformation durchlaufen. Von hoher Temperatur kommend

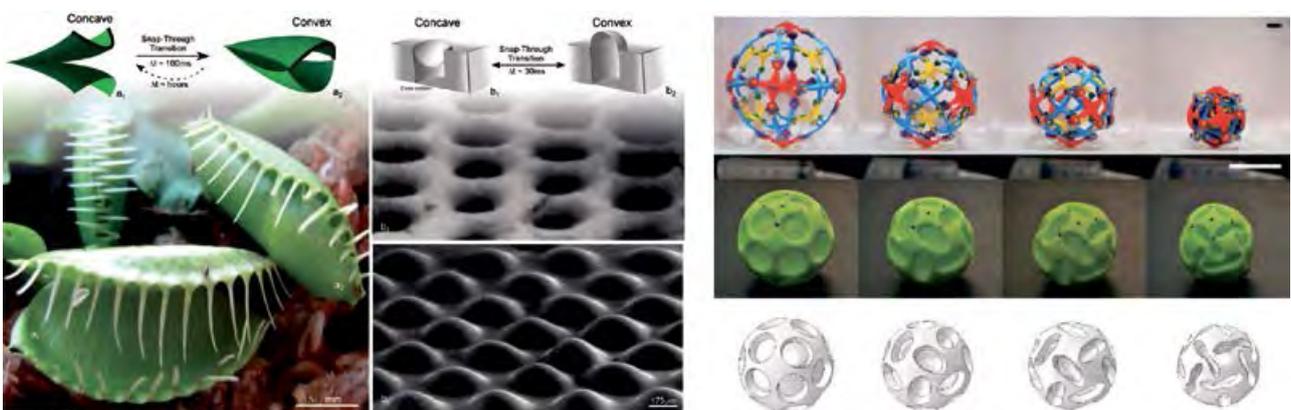


Abb. 1: Links: der Schnappmechanismus der fleischfressenden Pflanze inspirierte zum Design funktionaler Oberflächen (von D. Holmes, Virginia Tech) [1]; rechts: einem Kinderspielzeug nachempfunden ändern „Buckliballs“ Form und Volumen durch Oberflächeninstabilität bei Druckänderung (von K. Bertoldi, Harvard University) [2].

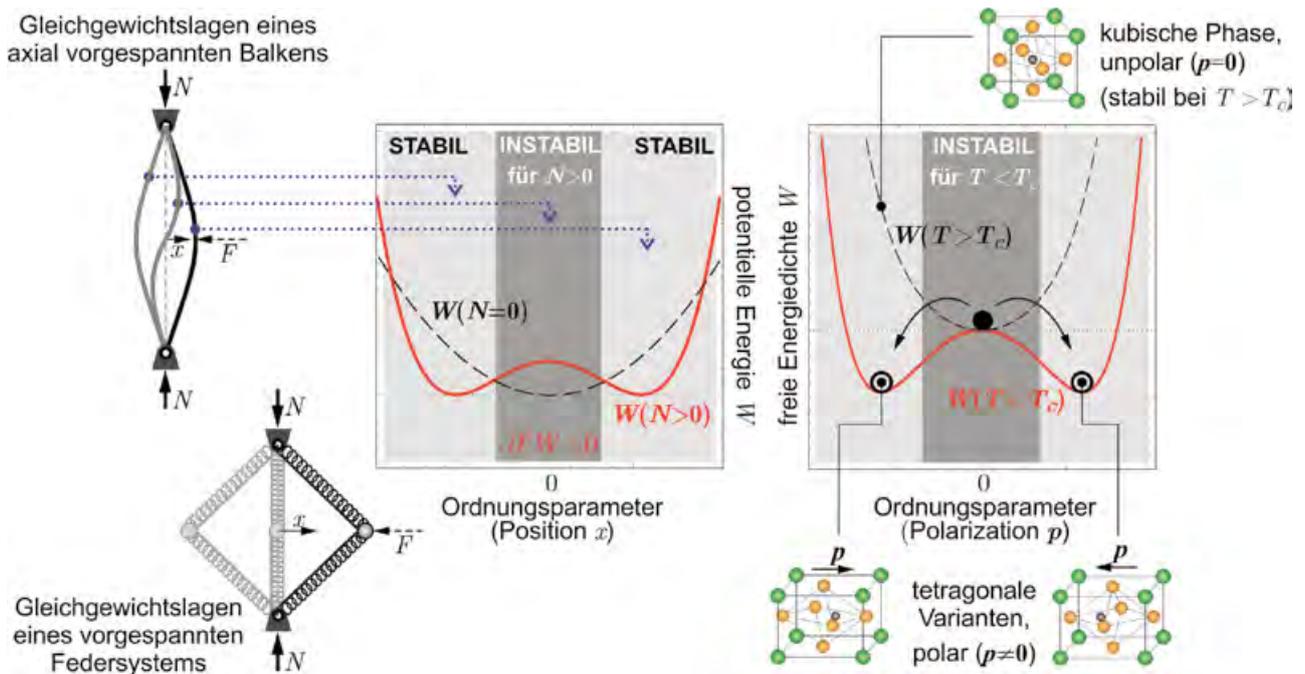


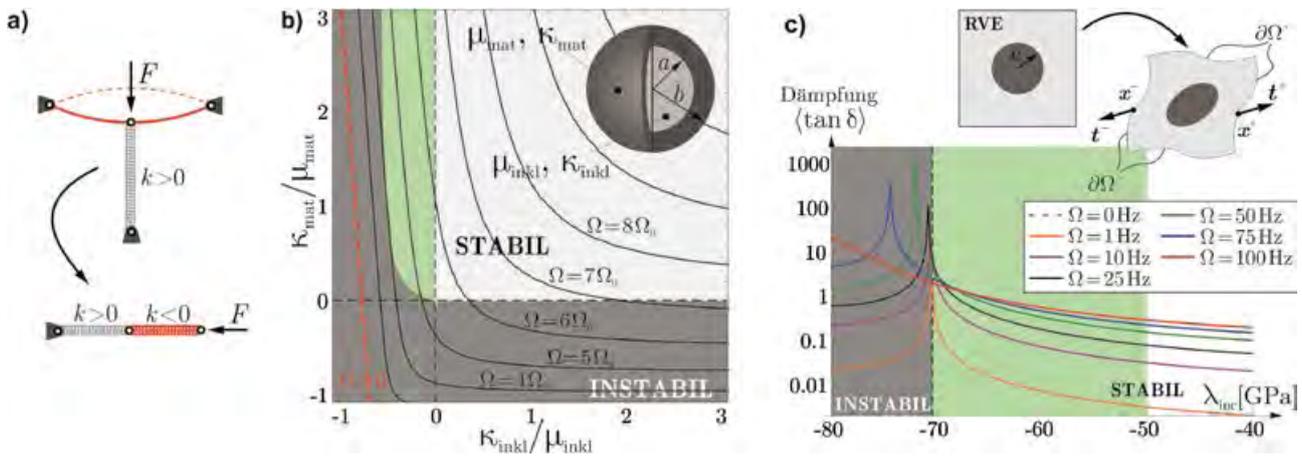
Abb. 2: Nichtkonvexe Energielandschaft führt zu instabilen Gleichgewichtszuständen in vorgespannten Strukturen sowie in Materialien mit temperaturinduzierter Phasentransformation. Stabile (instabile) Gleichgewichtslagen entsprechen Energieminima (Energiemaxima). Bei Abkühlung unterhalb der Curietemperatur (oder bei Aufbringen der Kraft N) wird das stabile Energieminimum zu einem Maximum mit negativen Modulen.

wird beim Erreichen der Transformationstemperatur die kubische, unpolare Hochtemperaturphase instabil und die tetragonale, polare Raumtemperaturphase bildet sich aus. Die Energielandschaft verändert sich nach Landau [3]; der unpolare kubische Zustand verwandelt sich in ein lokales Energiemaximum (instabiler Gleichgewichtszustand), während die polaren tetragonalen Varianten lokalen Minima entsprechen. Folglich wären die effektiven elastischen Module der kubischen Phase (d.h. die Krümmung der Energielandschaft) nicht länger positiv-definit und schließlich auch nicht mehr elliptisch, was zum Verlust der Stabilität führt. Ohne äußere Zwänge transformiert das Material daher spontan vom kubischen in den tetragonalen Zustand. Könnte die Hochtemperaturphase bei Raumtemperatur stabilisiert werden, so ließen sich lokal negative (inkrementelle) elastische Konstanten erzeugen (z.B. negative Kompressions- oder E-Module, welche im Allgemeinen jedoch instabil sind).

Theoretischer Hintergrund

Nicht erst seit Kirchhoff und Lord Rayleigh wissen wir, dass solch „negative Steifigkeit“ (wie der Verlust von elastischer Positivdefinitheit häufig genannt wird) in homogenen Körpern mit allgemeinen Randbedingungen instabil ist: z.B. nehmen Elastizitätsmodul, Schubmodul und Kompressionsmodul in stabilen homogenen und isotropen Körpern stets positive Werte an. Für heterogene Medien wie z.B. Verbundwerkstoffe lassen sich zudem Stabilitätsbedingungen für jede einzelne Phase aufstellen. Punktweise (oder Material-)Stabilität erfordert hierbei reelle Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten in elastischen Medien und somit die Elliptizität des Elastizitätstensors jeder Einzelphase. Globale (oder Struktur-)Sta-

bilität nach Lyapunov [4] garantiert, dass sich der Körper unter kleinen Perturbationen nicht weit vom Ausgangszustand entfernt. Für homogene Körper unter allgemeinen Randbedingungen erzwingt dies die Positivdefinitheit des Elastizitätstensors, d.h. positive Module. Für heterogene Medien ergeben sich jedoch interessante Konsequenzen. So haben theoretische Betrachtungen an Basisgeometrien ergeben, dass die hinreichenden Stabilitätsbedingungen in einer Einschlussphase, die fest von einer steifen Matrix umgeben ist, deutlich schwächer sind. Durchlaufen z. B. Einschlussteilchen, die sich in einem Verbundwerkstoff befinden, eine Phasentransformation, so können die durch das Matrixmaterial hervorgerufenen geometrischen Zwänge dazu führen, dass temporär negative Elastizitätsmodule oder Kompressionsmodule der Einschlussphase stabilisiert werden, falls die Matrix ausreichend steif ist und der Partikelabstand ausreichend groß ist, siehe z. B. [5-7]. Der so gewonnene erweiterte Stabilitätsbereich eröffnet neue Möglichkeiten in der Entwicklung von funktionellen Verbundwerkstoffen mit neuartigen Eigenschaften, da nun prinzipiell auch Phasen mit nicht-positiv-definiten elastischen Konstanten berücksichtigt werden können. Wie theoretisch gezeigt wurde, lassen sowohl das (visko)elastische Verhalten [8,9] als auch physikalische Eigenschaften wie thermische Expansion oder Piezoelektrizität [10] interessante Effekte erwarten. Vor allem unter dynamischer Belastung kann der Einschluss metastabiler Phasen (mit negativen elastischen Modulen) in einem Verbundwerkstoff eine ansonsten schwer zu erreichende Kombination von enorm hoher (dynamischer) effektiver Steifigkeit und hoher Dämpfungseigenschaft [11] erlauben, selbst im niedrigen Frequenzbereich, s. Abb. 3. Hohe Steifigkeit und hohe Dämpfung sind aufgrund von gegen-



a) Elastisches System mit negativer Steifigkeit durch vorgespannten Knickbalken [12]; b) erweiterter Stabilitätsbereich (grün) der Inklusion aufgrund der stabilisierenden Hülle: der Kompressionsmodul der Einschlussphase darf negativ werden (der dunkelgraue Bereich ist instabil). Die Kurven verbinden Modulkombinationen mit extrem hoher dynamischer Steifigkeit bei verschiedenen Frequenzen [11]; c) extrem hohe Dämpfung in periodischen Werkstoffen mit Einschlussteilchen mit negativen elastischen Modulen (die Matrixphase stabilisiert den grünen Bereich, in dem enorme Dämpfungssteigerungen möglich sind) [13].

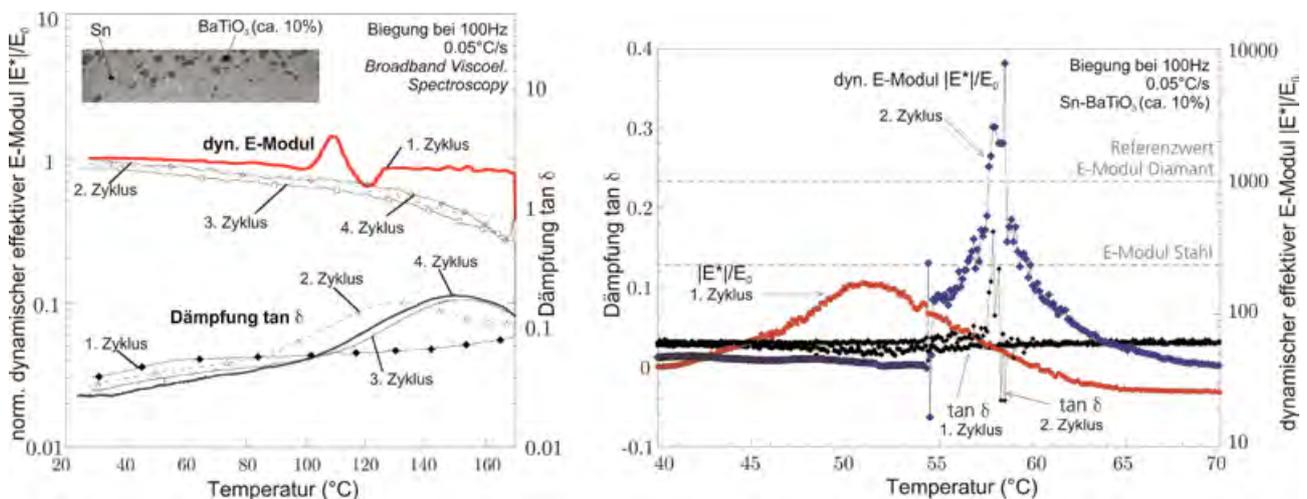


Abb. 4: Experimentelle Ergebnisse zu Zinn-Bariumtitanat-Verbundwerkstoffen: dynamischer E-Modul und Dämpfung als Funktionen der Temperatur, gemessen durch Broadband Viscoelastic Spectroscopy (BVS) [16]. Während der Transformation der Einschlussphasen weisen die effektiven viskoelastischen Eigenschaften des Verbundwerkstoffes (E-Modul und Dämpfung) deutliche Steigerungen auf.

sätzlichen Mikro-Mechanismen schwer zu erreichen - in der Regel gelingt dies durch die Kombination von steifen und dämpfenden Phasen, was zu einem Kompromiss zwischen beiden Eigenschaften führt. Der Einschluss „negativer Phasen“ verspricht hingegen hohe dynamische Steifigkeit und Dämpfung über die entsprechenden Eigenschaften der Ausgangsphasen hinaus.

Experimentelle Umsetzung

Was theoretisch relativ leicht vorherzusagen ist, stellt experimentell eine große Herausforderung dar, da nicht-positiv-definite Phasen im Allgemeinen instabil sind und nur unter besonderen Umständen erzeugt und genutzt werden können. Dass Komponenten mit so genannter negativer Stei-

figkeit zu verbesserten Dämpfungseigenschaften führen, ist experimentell bereits auf der Strukturebene bewiesen worden [12]. Hier liefern axial vorgespannte Balken den Effekt einer negativen inkrementellen Steifigkeit unter transversaler Belastung, die in Reihe mit einer steifen elastischen Feder zu enormer Dämpfungssteigerung führt (s. Abb. 3a). Ein solches Design wird bereits erfolgreich zur Schwingungsdämpfung im Fahrzeugbau [14] sowie für hoch-sensitive experimentelle Aufbauten verwendet [15]. Auf der Materialebene kann das Phänomen genutzt werden, wenn Verbundwerkstoffe Phasen enthalten, deren stabile Gleichgewichtslagen extern kontrollierbar sind, so dass sich negative inkrementelle Module in der Einschlussphase erzeugen lassen. So konnte gezeigt werden

[16], dass Einschlussteilchen aus Bariumtitanat (einer ferroelektrischen Keramik aus der Perowskitgruppe) in einer Metallmatrix vor ihrer Phasentransformation, welche durch die steife Matrix verzögert wird, in einem metastabilen Zustand deutlich erhöhte gespeicherte Energie und folglich negative effektive elastische Module aufweisen. Insbesondere hohe Dämpfung wurde auf gleiche Weise (d.h. aufgrund von metastabilen Einschlussteilchen) in weiteren Materialsystemen beobachtet, siehe z.B. [17]. Die Charakterisierung der effektiven viskoelastischen Konstanten der Verbundwerkstoffe erfolgt mittels Broadband Viscoelastic Spectroscopy (BVS), einer hochgenauen da kontaktlosen Testmethode zur Bestimmung der mechanischen Antwort auf zyklische mechanische Belastung [18]. Abb. 4 veranschaulicht experimentelle Ergebnisse verschiedener Sn-BaTiO₃ Verbundwerkstoffe bei 100 Hz unter Biegung, welche deutliche, extreme Steigerungen des effektiven dynamischen Elastizitätsmoduls sowie der Dämpfungseigenschaft aufweisen, sobald die Einschlussphase - kontrolliert durch die Temperatur - eine (primäre oder sekundäre) Transformation durchläuft.

Literatur

- [1] D. P. Holmes and A. J. Crosby, Snapping surfaces, *Advanced Materials* 19, 3589-3593, 2007.
- [2] J. Shim, C. Perdigou, E. R. Chen, K. Bertoldi and P. M. Reis, Buckling induced encapsulation of structured elastic shells under pressure, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 16 -22, 2012.
- [3] L. D. Landau, On the theory of phase transitions. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 7, 19-32, 1937.
- [4] A. M. Lyapunov, The general problem of the stability of motion, Dissertation, Univ. Krakau, 1892.
- [5] D. M. Kochmann, W. J. Drugan, Analytical stability conditions for elastic composite materials with a non-positive-definite phase, *Proceedings of the Royal Society of London A* 468, 2230-2254, 2012.
- [6] D. M. Kochmann, W. J. Drugan, Dynamic stability analysis of an elastic composite material having a negative-stiffness phase, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 57, 1122-1138, 2009.
- [7] D. M. Kochmann, W. J. Drugan, Infinitely-stiff composite via a rotation-stabilized negative-stiffness phase, *Applied Physics Letters* 99, 011909, 2011.
- [8] R. S. Lakes, W. J. Drugan, Dramatically stiffer elastic composite materials due to a negative stiffness phase? *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 50, 979-1009, 2002.
- [9] R. S. Lakes, Extreme damping in composite materials with a negative stiffness phase. *Physical Review Letters* 86, 2897-2900, 2001.
- [10] Y. C. Wang, R. S. Lakes, Extreme thermal expansion, piezoelectricity, and other coupled field properties in composites with a negative stiffness phase. *Journal of Applied Physics* 90, 6458-6465, 2001.

Ausblick: funktionale Materialien

Natürlich ist die sensitive Temperaturkontrolle wenig praktikabel, jedoch ist der Beweis erbracht, dass es sich nicht nur um theoretische und numerische Vorhersagen handelt, sondern dass synthetische Materialien das vorhergesagte Verhalten im Experiment in der Tat demonstrieren können. Die so gewonnenen Materialien finden vielseitige Anwendungen überall dort, wo temporär (z. B. im Falle von unvorhergesehener Belastung) hohe Dämpfung in einem steifen System benötigt wird. Aktuelle Forschung untersucht unter anderem, in wie weit sich ähnliche Phänomene in piezoelektrischen Einschlussphasen in Verbundwerkstoffen unter dem Einfluss elektrischer Felder reproduzieren lassen (in diesem Fall entstehen Werkstoffe, deren mechanische Eigenschaften und damit deren Resonanzverhalten sich per Knopfdruck grundlegend verändern lassen). Neben den effektiven viskoelastischen Moduli eröffnet vor allem das Dispersionsverhalten akustischer Wellen neue Möglichkeiten, wenn metastabile Phasen berücksichtigt werden. All dies ist Gegenstand aktueller Forschung.

- [11] C. S. Wojnar, D. M. Kochmann, A negative-stiffness phase in elastic composites can produce stable extreme effective dynamic but not static stiffness, *Philosophical Magazine*, 2013, doi: 10.1080/14786435.2013.857795.
- [12] L. Kashdan, C. C. Seepersad, M. Haberman, P. S. Wilson, Design, fabrication, and evaluation of negative stiffness elements using sls, *Rapid Prototyping Journal* 18, 194-200, 2012.
- [13] D. M. Kochmann, Stable extreme damping in viscoelastic two-phase composites with non-positive-definite phases close to the loss of stability, *Mechanics Research Communications*, published online Sep 21, 2013 (in press).
- [14] C.-M. Lee, V. N. Goverdovskiy, A. I. Temnikov, Design of springs with negative stiffness to improve vehicle driver vibration isolation, *Journal of Sound and Vibration* 302, 865-874, 2007.
- [15] Onlineinformation: http://www.minusk.com/content/technology/how-it-works_passive_vibration_isolator.html.
- [16] T. M. Jaglinski, D. M. Kochmann, D. S. Stone, R. S. Lakes, Composite materials with viscoelastic stiffness greater than diamond, *Science* 315, 620-622, 2007.
- [17] R. S. Lakes, T. Lee, A. Bersie, Y. C. Wang, Extreme damping in composite materials with negative-stiffness inclusions, *Nature*, 410, 565-567, 2001.
- [18] T. Lee, R. S. Lakes, A. Lal, Resonant ultrasound spectroscopy for measurement of mechanical damping: Comparison with broadband viscoelastic spectroscopy, *Review of Scientific Instruments* 71, 2855, 2000.



Dennis M. Kochmann, Prof. Dr.-Ing., ist Assistant Professor in den Graduate Aerospace Laboratories am California Institute of Technology (Caltech). Sein Forschungsgebiet umfasst experimentelle, theoretische und numerische Methoden der Festkörpermechanik mit Schwerpunkten in der Entwicklung von auf Hochleistungsrechnern gestützten Mehrskalensimulationsmethoden - von der Atomistik bis zum Kontinuum - sowie in der Entwicklung, Herstellung und experimentellen Charakterisierung von neuartigen funktionalen Materialien mit optimierten Eigenschaften durch gezielte Ausnutzung von Instabilitäten.

Nach dem Studium des Maschinenbaus an der Ruhr-Universität Bochum (2002-2006) und der Angewandten Mechanik an der University of Wisconsin-Madison (2005-2006), folgte die Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Allgemeine Mechanik der Ruhr-Universität Bochum (2006-2009). Nach seiner Promotion über Mikrostrukturen in finiter Plastizität ging er als Postdoc zunächst an die University of Wisconsin-Madison und anschließend als Stipendiat der Alexander von Humboldt Stiftung ans Caltech in die Gruppe von Prof. Michael Ortiz. Seit 2011 ist er Assistant Professor of Aerospace am Caltech und leitet dort seine Forschungsgruppe an der Schnittstelle zwischen Mechanik und Materialwissenschaften (mehr unter www.kochmann.caltech.edu).

RUNDBRIEF READERS

Save 30% on these SIAM titles:

Linear and Nonlinear Functional Analysis with Applications

Philippe G. Ciarlet

This single-volume textbook covers the fundamentals of linear and nonlinear functional analysis, illustrating most of the basic theorems with numerous applications to linear and nonlinear partial differential equations and to selected topics from numerical analysis and optimization theory. It features self-contained and complete proofs of most of the theorems, plus 401 problems and 52 figures.

2013 • xiv + 832 pages • Hardcover • 978-1-611972-58-0 • List \$98.00 • Rundbrief Reader Price \$68.60 • OT130

Mathematics and Climate

Hans Kaper and Hans Engler

This is a timely textbook aimed at students and researchers in mathematics and statistics who are interested in current issues of climate science, as well as at climate scientists who wish to become familiar with qualitative and quantitative methods of mathematics and statistics. The authors emphasize conceptual models that capture important aspects of Earth's climate system and present the mathematical and statistical techniques that can be applied to their analysis.

2013 • xx + 295 pages • Softcover • 978-1-611972-60-3 • List \$59.00 • Rundbrief Reader Price \$41.30 • OT131

Numerically Solving Polynomial Systems with Bertini

Daniel J. Bates, Jonathan D. Hauenstein, Andrew J. Sommese, and Charles W. Wampler

Software, Environments, and Tools 25

A guide to concepts and practice in numerical algebraic geometry—the solution of systems of polynomial equations by numerical methods. Through numerous examples, the authors show how to apply the well-received and widely used open-source Bertini software package to compute solutions, including a detailed manual on syntax and usage options.

2013 • xx + 352 pages • Softcover • 978-1-611972-69-6 • List \$95.00 • Rundbrief Reader Price \$66.50 • SE25

The Radon Transform and Medical Imaging

Peter Kuchment

CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 85

This book surveys the main mathematical ideas and techniques behind some well-established imaging modalities such as X-ray CT and emission tomography, as well as a variety of newly developing coupled-physics or hybrid techniques, including thermoacoustic tomography. It emphasizes mathematical techniques and ideas arising across the spectrum of medical imaging modalities and explains important concepts concerning inversion, stability, incomplete data effects, the role of interior information, and other issues critical to all medical imaging methods.

2013 • Approx. xvi + 244 pages • Softcover • 978-1-611973-28-0 • List \$82.00 • Rundbrief Reader Price \$57.40 • CB85

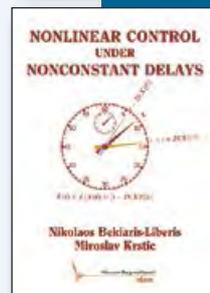
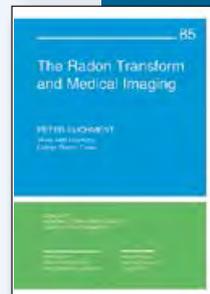
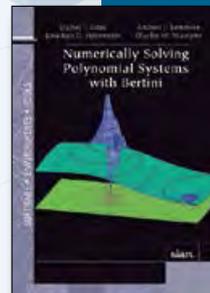
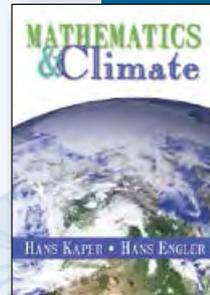
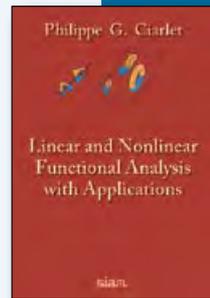
Nonlinear Control Under Nonconstant Delays

Nikolaos Bekiaris-Liberis and Miroslav Krstic

Advances in Design and Control 25

The authors have developed a methodology for control of nonlinear systems in the presence of long delays, with large and rapid variation in the actuation or sensing path, or in the presence of long delays affecting the internal state of a system. In addition to control synthesis, they introduce tools to quantify the performance and the robustness properties of the designs provided in the book.

2013 • xii + 299 pages • Hardcover • 978-1-611973-17-4 • List \$99.00 • Rundbrief Reader Price \$69.30 • DC25



Art is adapted from a paper by A. L. Fraudt, 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.

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. BKGMI4, 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 "BKGMI4" to get special discount price.

ORDER ONLINE:
WWW.SIAM.ORG/CATALOG

1/14_3

Jun.-Prof. Dr. Thomas Richter studierte Mathematik an der Heinrich Heine Universität Düsseldorf sowie an der Ruprecht-Karls Universität Heidelberg. Das Diplomstudium beendete er 2001 und arbeitete im Anschluss an seiner Dissertation zur Modellierung und effizienten Simulation von chemisch reaktiven Strömungen. Diese schloss er im Jahr 2005 mit dem Prädikat *summa cum laude* ab. Nach seiner Promotion folgte im Jahr 2007, gefördert durch ein DFG-Forschungsstipendium, ein einjähriger Aufenthalt am Aerospace Computational Design Laboratory des Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dort erforschte Thomas Richter adaptive und anisotrope Diskretisierungsmethoden für Strömungsprobleme. Im Jahr 2008 absolvierte er weitere Forschungsaufenthalte am Exzellenzcluster „The Future Ocean“ der Universität Kiel, sowie erneut am MIT. Seit Herbst 2010 leitet er als Juniorprofessur an der Universität Heidelberg eine Arbeitsgruppe zur Numerik partieller Differentialgleichungen. Hier befasst er sich mit der Entwicklung von adaptiven Finite Elemente Methoden zur Simulation von Multiphysikproblemen.

Die Beschäftigung mit Multiphysikproblemen begann für Thomas Richter bereits während seiner Doktorarbeit am Sonderforschungsbereich 359 der Universität Heidelberg. Unter Anleitung von Prof. Rannacher entwarf er numerische Verfahren zur Simulation von dreidimensionalen chemisch reaktiven Strömungen. Im SFB 359 kamen Wissenschaftler aus unterschiedlichen Disziplinen zusammen: Anforderungen stellten Ingenieure, Modelle die Physiker, Modellparameter die Chemiker, die Analyse der Differentialgleichungssysteme erfolgte durch die Analytiker und schließlich blieb die numerische Approximation dieser Systeme als Forschungsgegenstand seiner Dissertation.

Die mathematische Simulation einer Methan-Flamme erfordert die Kopplung der kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen mit detaillierter Beschreibung der chemischen Reaktionen. Es resultiert ein gekoppeltes System aus über 40 nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen. An eine Lösung war Anfang der 2000er Jahre nur unter Kombination modernster Techniken zu denken. Hier entwickelte Thomas Richter ein paralleles Mehrgitterverfahren für große Systeme partieller Differentialgleichungen und legte den Grundstein zur sensitivitätsbasierten Gitteradaption für gekoppelte Multiphysikprobleme. Sensitivitätsbasierte Techniken zur adaptiven Steuerung von Finite Elemente Diskretisierungen bauen auf der Lösung dualer Probleme auf. Diese geben den Einfluss bestimmter technischer Zielgrößen, z.B. die Temperatur entlang einer Linie in der Flamme, auf den Diskretisierungsfehler an. Die dualen Probleme laufen rückwärts in der Zeit und verfolgen so den Ursprung von Informationen bis hin zu ihrer Quelle. Die Herleitung dualer Gleichungen für gekoppelte Multiphysikprobleme ist nicht trivial, da diese auch den korrekten dualen Informationstransport zur Berechnung der Sensitivitäten wiedergeben müssen. Sind die exakten

dualen Gleichungen einmal bekannt, so können sie zu einer enormen Effizienzsteigerung durch Gitteradaption dienen, siehe Abbildung 1.

STECKBRIEF



Im Anschluss an seine Promotion arbeitete Thomas Richter, gefördert durch ein DFG-Forschungsstipendium, ein Jahr am Aerospace Computational Design Laboratory des Massachusetts Institute of Technology in den USA. Der Fokus seiner Forschung lag auf einer Effizienzsteigerung adaptiver Diskretisierungen mit Anwendungen in der Aerodynamik. Durch die Möglichkeit zur anisotropen Adaption von Finite Elemente Gittern kann die Diskretisierung nicht nur örtlich aufgelöst, sondern auch in verschiedenen Richtungen optimal angepasst werden. Kern der Analyse ist die Identifikation der Fehlerrichtungen auf Basis sensitivitätsbasierter Fehlerschätzer. Durch anisotrope Adaption kann die lokal niederdimensionale Struktur - etwa in Rand-schichten - effizient ausgenutzt und so der Simulationsaufwand

erheblich reduziert werden, siehe Abbildung 1 sowie 2. Am MIT kam Thomas Richter in Kontakt mit Fluid-Struktur Interaktionsproblemen (FSI), seinem aktuellen Anwendungsgebiet. Die spezielle Struktur von FSI-Problemen besteht einerseits in der Kopplung verschiedener Differentialgleichungsmodelle über eine gemeinsame Oberfläche, andererseits wesentlich in der Bewegung der beiden Kopplungsgebiete. Die Aufteilung des Simulationsgebietes, z.B. die Blutströmung (Strömungsproblem) in elastischen Gefäßen (Strukturproblem) ändert sich im Laufe der Simulation. Sie ist nicht a priori bekannt, sondern ergibt sich erst durch die Lösung des gekoppelten Problems selbst. Der Aufwand zur Simulation von FSI-Problemen ist erheblich und auf Basis adaptiver Diskretisierungen effizient möglich. Der übliche Weg zur Bewältigung der Gebietsbewegung ist die Transformation

von Strömungsgebiet und Strukturgebiet auf ein festes Referenzsystem, der sogenannte „Arbitrary Lagrangian Eulerian“-Ansatz (ALE).

Der ALE-Zugang für FSI-Probleme eignet sich nicht gut bei Konfigurationen mit sehr großen Deformationen. Tritt Kontakt zwischen dem Strukturgebiet mit dem Rand auf, so kann diese Transformation – welche nun eine Topologieänderung abbilden muss – nie differenzierbar und invertierbar sein: der ALE-Zugang bricht zusammen.

In seiner aktuellen Arbeit beschäftigt sich Thomas Richter mit einem neuen monolithischen Modellansatz für FSI-Probleme, der gerade den Kontakt der Struktur erlaubt. Eine typische Anwendung ist die Blutströmung im Herzen. Das Schließen der Herzklappen führt zu Kontakt und schließlich zu einer Änderung der Gebietstopologie. Dieser Ansatz wurde an der Universität Heidelberg entwickelt und beruht auf einer Formulierung beider Gleichungen, Fluid sowie Struktur, in Eulerschen Koordinaten. Die voll Eulersche Formulierung ist vom interface-capturing Typ: im Gegensatz zum ALE-Ansatz, welcher das Interface zwischen Struktur und Fluid stets exakt auflöst, muss dieses nun von der Diskretisierung approximiert werden. Dies geschieht mit dem Initial Point Set ähnlich zur Levelset-Methode. Abbildung 3 zeigt eine Simulation in Eulerschen Koordinaten mit Kontakt zwischen einem elastischen Ball und dem Gebietsrand.

Eine neues Forschungsgebiet ergibt sich aus der Kombination seiner Erfahrung im Bereich chemisch reaktiver Strömungen mit der Analyse von Fluid-Struktur Interaktionen. In vielen biologischen Systemen müssen beide Aspekte verbunden werden. Plaque-Wachstum in Blutgefäßen, oder embryonale Musterbildung kann nur unter Berücksichtigung mechano-chemischer Kopplungsprozesse erklärt werden. In zwei neuen Forschungsvorhaben in Verbindung mit Prof. Meairs vom Neurologischen Universitätsklinikum Mannheim sowie Prof. Marcziński und Dr. Mercker vom Bioquant Heidelberg werden diese Kopplungsprozesse untersucht.

Thomas Richter leitet an der Universität Heidelberg als Juniorprofessor eine Arbeitsgruppe zur Numerik partieller Differentialgleichungen. Er ist einer der Hauptentwickler der Finite Elemente Software Gascoigne 3d.

Finanziert durch verschiedene Drittmittelprojekte besteht sein Team aus sechs Diplom- und Masterstudenten, drei Doktoranden sowie einem Postdoc.

Publikationen:

<http://numerik.uni-hd.de/~richter>

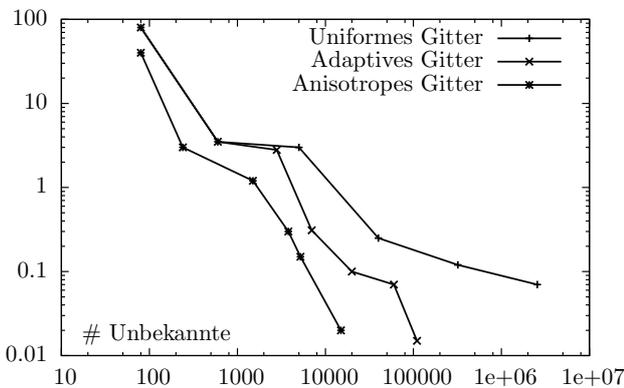


Abb. 1: Fehler im Widerstandsbeiwert im Vergleich. Uniformes Gitter, adaptives Gitter und anisotropes Gitter.

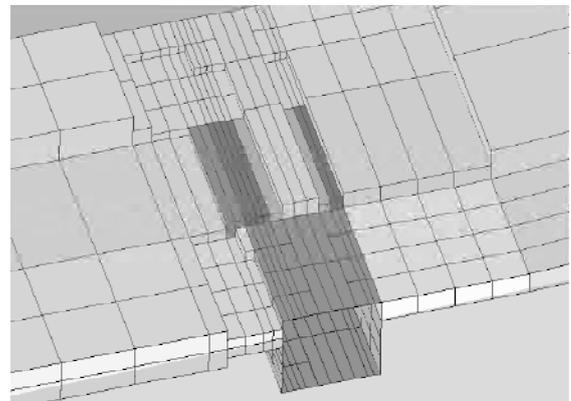


Abb. 2: Ausschnitt aus einem anisotropen Finite Elemente Gitter.

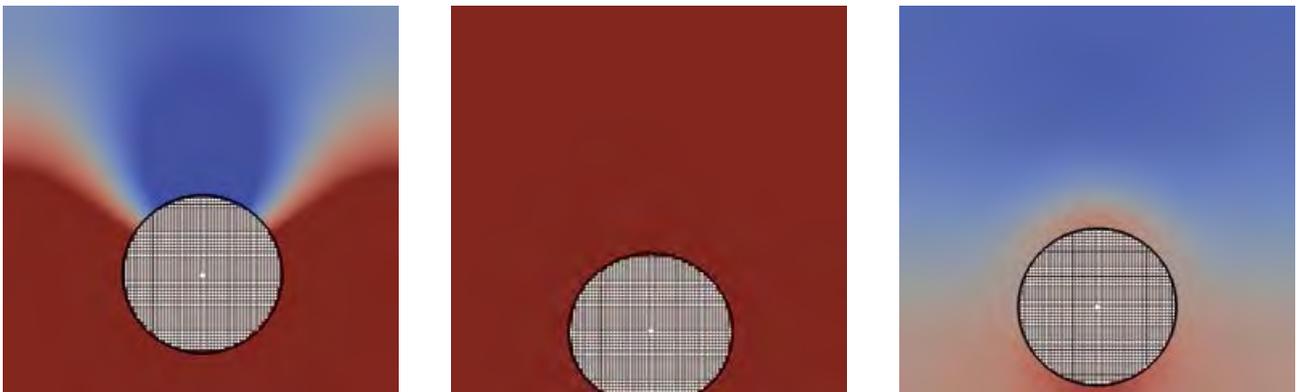


Abb. 3: Aufprallen eines elastischen Balls. Simulation von Fluid-Struktur Interaktionen in Eulerschen Koordinaten

Prof. Dr.-Ing. Dominik Schillinger studierte an der Universität Stuttgart als Stipendiat der Studienstiftung Bauingenieurwesen in der Studienrichtung Modellierungs- und Simulationsmethoden. Daneben erwarb er einen Masterabschluss in Structural Engineering an der University of Connecticut, USA. Seine Diplomarbeit entstand am Nationalen Polytechnikum Athen bei Prof. Manolis Papadrakakis. Von 2009 bis 2012 promovierte er bei Prof. Ernst Rank an der Technischen Universität München im Rahmen der internationalen Graduiertenschule IGSSE und des Exzellenzclusters Munich Center of Advanced Computing. Gleichzeitig arbeitete er bei Prof. Thomas J.R. Hughes am renommierten Institute for Computational Engineering and Sciences der University of Texas at Austin, zunächst als Visiting Graduate Student und ab 2012 als Postdoc mit einem DFG-Forschungsstipendium. Seine Arbeiten wurden mehrfach ausgezeichnet, u.a. mit dem John Argyris Award der International Association for Computational Mechanics und Elsevier. Seit Herbst 2013 ist Dominik Schillinger Assistant Professor für das Fach Computational Mechanics am Department of Civil Engineering der University of Minnesota, USA.

Meine Forschungsinteressen konzentrieren sich auf die Entwicklung von innovativen Diskretisierungsmethoden zur numerischen Lösung von Problemen der Struktur- und Strömungsmechanik. Meine Begeisterung dafür wurde bereits an der Universität Stuttgart geweckt, und maßgeblich durch die dortige hervorragende Grundlagenausbildung geprägt. In meiner Diplomarbeit an der NTU Athen untersuchte ich den Zusammenhang zwischen der Zufälligkeit geometrischer Imperfektionen und der Streuung der Beullast in Stahlträgern. Anhand stochastischer Finite Elemente Analysen, in denen Imperfektionen als Zufallsfelder modelliert wurden, konnte ich im Vergleich mit Experimenten nachweisen, dass eine realitätsgetreue Simulation des Streuverhaltens möglich ist [1]. Mit Masterstudenten der TUM entwickelte ich darauf aufbauend ein Verfahren zur Kalibrierung der Spektraldichte eines Zufallsfeldes aus Imperfektionsmessungen, das in der Lage ist, die räumliche Evolution des Spektrums abzubilden und somit die Simulationsgenauigkeit wesentlich zu verbessern [2]. In meiner Dissertation an der TUM beschäftigte ich mich mit der Frage der effizienten Integration geometrischer Modelle in die Finite Elemente Analyse. Dabei konzentrierte ich mich auf die Entwicklung von Immersed Boundary Verfahren, insbesondere basierend auf der Idee der Finite Zellen Methode. Ich konnte zeigen, dass diese Technologie für volumetrische Strukturen, die durch CAD Oberflächen beschrieben werden, einen nahtlosen Design-Analyse-Übergang ermöglicht, und der zeitaufwändige Schritt der konformen Netzgenerierung vollständig umgangen werden kann [3]. Immersed Boundary Methoden erlauben ebenfalls eine effiziente Interaktion mit expliziten geometrischen Modellen aus bildgebenden Verfahren der Medizintechnik. Dafür entwickelte ich ein parallelisiertes Softwarepaket zur vernetzungsfreien nichtlinearen adaptiven Analyse von

komplexen Metallschäumen und menschlichen Knochen, das die Eigenschaften heterogener Mikrostrukturen auf der Basis von Computertomographien an jedem Quadraturpunkt ausgewertet, ohne auf zeitaufwändige Segmentierungsvorgänge angewiesen zu sein [4]. Daneben war ich über den Lehrstuhl für Computation in Engineering in den Vorlesungsbetrieb der TUM Fakultät Bau Geo Umwelt eingebunden, an Industriekooperationen (z. Bsp. Ansys) und der Vorbereitung von DFG-Anträgen beteiligt, und betreute eine Reihe von Bachelor- und Masterarbeiten. Im Zentrum meiner Postdoc-Tätigkeit an der UT Austin stand die isogeometrische Analyse (IGA), deren Kernidee die Verwendung von Splines aus dem CAD Bereich sowohl für die exakte Darstellung der Geometrie als auch für die Approximation der physikalischen Lösung ist. Hier arbeitete ich zunächst an einem Subdivisions-basierten hierarchischen Verfeinerungsschema, das einen zuverlässigen Algorithmus zur Netzadaptivität für nicht-uniforme rationale B-Splines ermöglicht [3,5]. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung von isogeometrischen Kollokationsmethoden, die den numerischen Integrationsaufwand drastisch reduzieren, ohne auf Hourglass-Stabilisierung angewiesen zu sein [5]. Dies ist ein entscheidender Vorteil in der expliziten Strukturmechanik, wo die Berechnungsdauer maßgeblich von Spannungsauswertungen an Quadraturpunkten abhängt. In diesem Zusammenhang beschäftigte ich mich auch mit Kollokationsmethoden für hp Finite Elemente [6] und der Anwendung des Konzeptes der reduzierten Integration in der IGA [7]. Darüberhinaus arbeitete ich an der Kombination von schwachen Kopplungsmethoden und der Immersed Boundary Idee für die IGA von getrimmten Geometrien [8] und für die Fluid-Struktur-Interaktion eingetauchter Schalenelemente zur Simulation prothetischer Herzklappen [9]. In der FSI

STECKBRIEF



ermöglicht der Boundary Ansatz eine natürliche Behandlung von Topologieänderungen, die durch Kontakt der drei Klappenflügel während eines Herzzyklus auftreten. Ein zentraler Aspekt aller dieser Projekte ist die enge Zusammenarbeit mit zahlreichen Kollegen aus dem Ingenieurwesen, der Informatik und der angewandten Mathematik. Zu meinen Aufgaben als Assistant Professor an der University of Minnesota gehört neben der Lehre in den Bereichen Stochastik, Strukturmechanik und Finite Elemente der Auf-

bau eines neuen Forschungsprogramms. Schwerpunkte liegen auf der Entwicklung mehrskaliger Modelle zur Erdbebensimulation und Beschreibung komplexer Strömungsvorgänge in Lunge und Leber, auf der engen Verzahnung von Methoden der numerischen Mechanik und des Hochleistungsrechnens, und auf dem Aufbau interdisziplinärer Forschungskooperationen innerhalb der U of M, insbesondere mit der renommierten Medical School und dem Institut für angewandte Mathematik.

Literatur

- [1] D. Schillinger, V. Papadopoulos, M. Bischoff, M. Papadrakakis: Buckling Analysis of Imperfect I-Section Beam-Columns with Stochastic Shell Finite Elements. *Comput. Mech.* 46, 495-510, 2010.
- [2] D. Schillinger, D. Stefanov, A. Stavrev: The method of separation for evolutionary spectral density estimation of multi-variate and multi-dimensional nonstationary stochastic processes. *Prob. Eng. Mech.* 33, 58-78, 2013.
- [3] D. Schillinger, L. Dede, M.A. Scott, J.A. Evans, M.J. Borden, E. Rank, T.J.R. Hughes: An Isogeometric Design-through-analysis Methodology based on Adaptive Hierarchical Refinement of NURBS, Immersed Boundary Methods, and T-spline CAD Surfaces. *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* 249-250, 116-150, 2012.
- [4] D. Schillinger, M. Ruess, N. Zander, Y. Bazilevs, A. Düster, E. Rank: Small and large deformation analysis with the p - and B-spline versions of the Finite Cell Method. *Comput. Mech.* 50, 445-478, 2012.
- [5] D. Schillinger, J.A. Evans, A. Reali, M.A. Scott, T.J.R. Hughes: Isogeometric Collocation: Cost Comparison with Galerkin Methods and Extension to Adaptive Hierarchical NURBS Discretizations. *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* 267, 170-232, 2013.
- [6] D. Schillinger, J.A. Evans, F. Frischmann, R.R. Hiemstra, M.-C. Hsu, T.J.R. Hughes: Collocation on hp finite element meshes: Reduced quadrature perspective, comparison with Galerkin methods, and explicit structural dynamics. In preparation.

- [7] D. Schillinger, S.J. Hossain, T.J.R. Hughes: Fast and accurate reduced Bézier element quadrature rules for efficient isogeometric analysis. In preparation.
- [8] M. Ruess, D. Schillinger, A.I. Özcan, E. Rank: Weak coupling for isogeometric analysis of non-matching and trimmed multi-patch geometries. *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* 269, 46-71, 2014.
- [9] M.-C. Hsu, D. Kamensky, D. Schillinger, J.A. Evans, A. Aggarwal, Y. Bazilevs, M.S. Sacks, T.J.R. Hughes: Isogeometric fluid-structure interaction analysis based on immersed boundary methods and weak enforcement of interface constraints, with application to bioprosthetic heart valve simulations. In preparation.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Dominik Schillinger
 Department of Civil Engineering
 University of Minnesota
 500 Pillsbury Drive S.E.
 Minneapolis, MN 55455-0116
 dominik@umn.edu

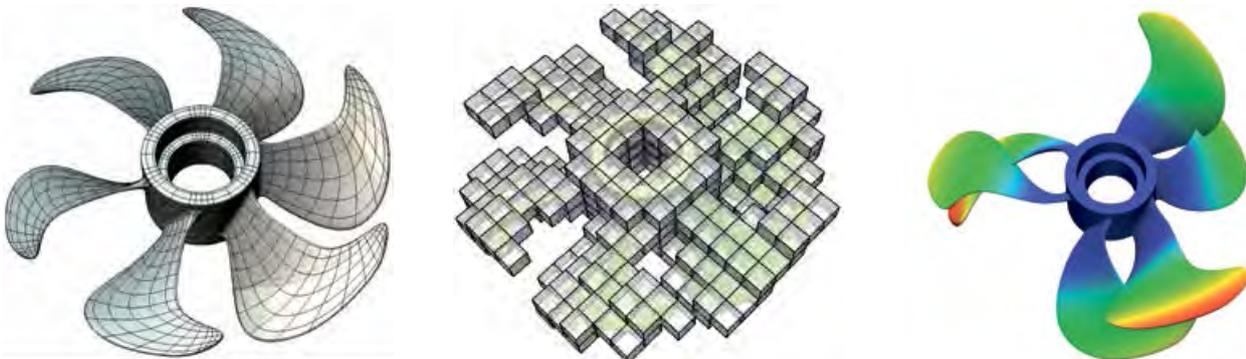


Abb. 1: Nahtloser Design-Analyse-Übergang ohne konforme Netzgenerierung am Beispiel eines Schiffspropellers: CAD Geometrie, Finite-Zellen-Diskretisierung, erste Eigenform.

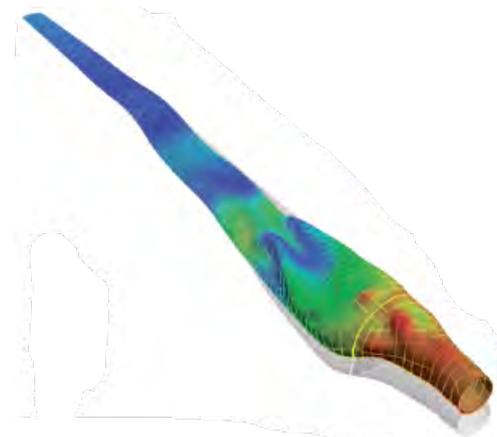


Abb. 2: Explizite Dynamik-Simulation eines Windradflügels unter Erdbebeneinwirkung mit hp-Kollokationsverfahren

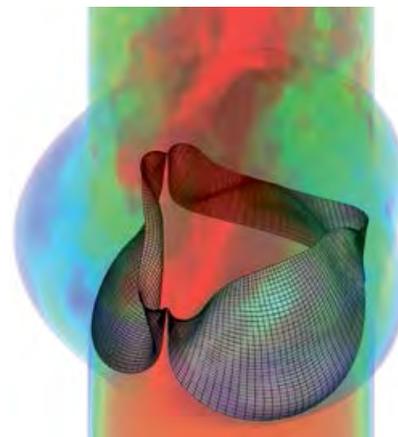


Abb. 3: Simulation der Fluid-Struktur-Interaktion einer dreiflügeligen prothetischen Herzklappe während des Schließens

AUSSCHREIBUNG DES RICHARD-VON-MISES-PREISES DER GAMM 2015

CALL FOR NOMINATIONS FOR THE RICHARD VON MISES PRIZE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS (GAMM) 2015

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. Wolfgang Ehlers, vorzugsweise in elektronischer Form.

Der Einreichungstermin ist der 30. September 2014.

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
W. Ehlers, Stuttgart (Vorsitz/Chair) (2014–2016).

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. Wolfgang Ehlers, preferably in electronic form.

The deadline for nomination is September 30th, 2014.

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

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Ehlers
Universität Stuttgart
Institut für Mechanik (Bauwesen)
Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart
Tel.: +49 711 685-66346
Fax: +49 711 685-6634
E-Mail: ehlers@mechbau.uni-stuttgart.de

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES PHASENFELDMODELLIERUNG



Ralf Müller



Bernd Markert

Die Idee zur Einrichtung eines Fachausschusses entstand während eines Workshops vom 20.-22.2.2013 in Freudenstadt. Der Workshop zum Thema „Phase Field Modeling“ zeigte die Aktualität des Themas bei unterschiedlichen Anwendungen in der Materialwissenschaft, der Bruch- und Biomechanik sowie der Optimierung, siehe Abb. 1. Der dreitägige Workshop wurde durch die Prof. Dr. Hans Georg und Liselotte Hahn Stiftung der TU Kaiserslautern finanziell unterstützt. Neben den vielen fachlichen Diskussionen wurde auf dem Workshop in Freudenstadt beschlossen, bei der GAMM die Einrichtung eines Fachausschusses „Phasenfeldmodellierung“ anzustreben. Der Antrag zur Einrichtung des Fachausschusses wurde von Herrn Prof. Bernd Markert (RWTH Aachen) und Herrn Prof. Ralf Müller (TU Kaiserslautern) im Vorfeld der GAMM-Jahrestagung (18.-22.3.2013) in Novi-Sad, Serbien gestellt. Der Vorstand unterstützte den Vorschlag, und auf der Mitgliederversammlung wurde der Fachausschuss eingerichtet.

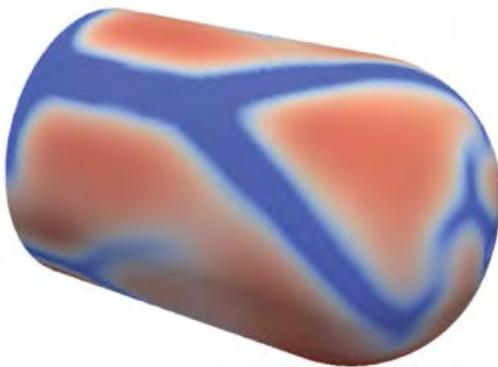


Abb. 1: Dynamische Rissausbreitung

Die Arbeit des Fachausschusses begann am 30.8.2013 mit einer konstituierenden Sitzung in Frankfurt. An der konstituierenden Sitzung nahmen 20 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler teil, die als Gründungsmitglieder in den Fachausschuss aufgenommen wurden. Weitere Kollegen haben ihr aktives Interesse an dem Ausschuss bekundet, sodass der Ausschuss im Moment aus ca. 25 Mitgliedern besteht. Die Mitglieder des Ausschusses stammen aus unterschiedlichen Fachrichtungen, was den interdisziplinären Charakter des Fachausschusses unterstreicht. Neben der Expertise auf den Gebieten der analytischen und numerischen Mathematik sowie der Mechanik, sind

auch Mitglieder mit materialwissenschaftlichem Hintergrund im Ausschuss vertreten.

In Zukunft soll insbesondere auf die Einbindung und aktive Teilnahme von Mitgliedern aus dem Bereich der Topologieoptimierung geachtet werden, da aktuell in dieser Forschungsrichtung ebenfalls Phasenfeldformulierungen zur Anwendung kommen. Auf der konstituierenden Sitzung wurde ebenfalls das weitere Vorgehen für die wissenschaftliche Zusammenarbeit im Fachausschuss besprochen und ausführlich diskutiert. Die Mitglieder des Ausschusses kamen überein, ein jährliches Seminar mit wechselnder Lokalität zu veranstalten. Als zeitlicher Rahmen ist zunächst eine zweitägige Veranstaltung geplant. Das erste Seminar wird vom 8.-9.2.2014 in Darmstadt stattfinden. Die lokale Organisation hat dankenswerterweise Herr Prof. Hans Alber (TU Darmstadt) übernommen. Die ersten Einladungen zum Seminar wurden bereits versendet. Weitere Informationen sind unter dem Link www.mathematik.tu-darmstadt.de/gammseminar14 erhältlich.

Auf der konstituierenden Sitzung wurde weiterhin beschlossen, auf anderen wissenschaftlichen Veranstaltungen, das Thema Phasenfeldmodellierung stärker publik zu machen. An diesen Aktivitäten sollen auch Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler aktiv beteiligt werden. So wird durch die Fachausschussmitglieder Jun. Prof. Charlotte Kuhn (TU Kaiserslautern) und Jan Gieselmann (Universität Stuttgart) ein Young Researcher Symposium auf der GAMM-Jahrestagung 2015 beantragt. Die Mitglieder, Prof. Ingo Steinbach (RU Bochum) und Prof. Ralf Müller (TU Kaiserslautern), werden auf der 9th European Solid Mechanics Conference (6.-10.7.2015) in Madrid, Spanien ein Mini-Symposium zum Thema „Phase Field Approaches“ organisieren.

Das konstituierende Treffen in Frankfurt wurde weiterhin von den Mitgliedern genutzt, bisherige Arbeiten, Interessen und Erwartungen an den Fachausschuss darzulegen. Diese Diskussionsrunde veranschaulichte erneut den starken interdisziplinären Charakter und die breite Anwendbarkeit von Phasenfeldmodellierungen, sodass die Ausschussmitglieder mit Spannung dem ersten Seminar in Darmstadt entgegenblicken.

Aktuelle Informationen zum Fachausschuss, Links zu interessanten Tagungen und Veranstaltungen sind unter der Internet-Adresse: mv.uni-kl.de/lm/fa-pfm zu finden.

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES 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 2013 u. a. zu folgenden Aktivitäten beigetragen:

- InterPore 2013, Prague, Minisymposium „Theoretical and Numerical Issues of Volume-Coupled Problems in Porous-Media Mechanics“,
- Coupled Problems 2013, Ibiza.

Die erfolgreiche Arbeit des FA wird auch 2014 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.

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES ANALYSIS PARTIELLER DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Helmut Abels

Der Fachausschuss „Analysis partieller Differentialgleichungen“ wurde dieses Jahr auf der Jahrestagung in Novi Sad gegründet. Durch die Arbeit des Fachausschusses soll der wissenschaftliche Austausch von Wissenschaftlern, die in unterschiedlichen Bereichen der Analysis partieller Differentialgleichungen arbeiten, verstärkt und koordiniert werden. Insbesondere soll die Interaktion zwischen unterschiedlichen Forschungsgemeinschaften und Anwendungsgebieten intensiviert werden und damit ein wichtiger Wissenstransfer geschaffen werden.

Am 1. und 2. Oktober fand an der Universität Regensburg ein erster Workshop mit 41 Teilnehmern sowie die erste konstituierende Sitzung des Fachausschusses statt (Organisation: Helmut Abels und Harald Garcke). Auf dieser Sitzung wurde insbesondere beschlossen, dass der Fachausschuss offen für alle am Thema des Fachausschusses interessierten Wissenschaftler ist.

Anträge auf Annahme können jederzeit an den Vorsitzenden (Helmut Abels, e-mail: Analysis.PDG@ur.de) gestellt

werden. Des Weiteren wurde der Vorstand gewählt und Dorothee Knees und Guido Schneider als stellvertretende Vorsitzende bestimmt.

Für das Jahr 2014 ist ein zweieinhalbtägiger Workshop an der Universität Stuttgart geplant (Organisation: Guido Schneider). Ferner wird die Sektion „Applied Analysis“ auf der GAMM-Jahrestagung von den Mitgliedern des Fachausschusses Joachim Escher und Günther Grün organisiert.

Darüber hinaus sind die verschiedenen Mitglieder in die Organisation von diversen Workshops und Sektionen unterschiedlicher Konferenzen involviert.

Neben diesen Aktivitäten soll der Austausch mit Kolleginnen und Kollegen in den Nachbarländern in unserem Bereich verstärkt werden.

Weitere Informationen zum Fachausschuss findet man unter: www.uni-regensburg.de/Fakultaeten/nat_Fak_I/AnalysisPDG/index.html

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

NUMERISCHE METHODEN FÜR PARTIELLE DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Christian Wieners



Stefan A. Sauter

Ausgewählte Aktivitäten von Ausschussmitgliedern:

- 29. GAMM-Seminar
„Numerical Methods for Uncertainty Quantification“
MPI Leipzig, 21.-23.01.2013
Organisation: P. Benner, W. Hackbusch
www.mis.mpg.de/scicomp/gamm29
- Mini Symposium “Time-Domain Boundary Integral Equations”
MAFELAP 2013, London, 11.-14.06.2013
Coorganisation: S. Sauter
people.brunel.ac.uk/~icsrsss/bicom/mafelap2013/
- International Conference on Domain Decomposition Methods (DD22) Lugano, 16.-20.09.2013
Organisation: R. Krause
<http://dd22.ics.usi.ch/>
- 26. FEM Symposium
Chemnitz, 23.-25.09.2013
Scientific Committee: S. Beuchler, U. Langer, O. Steinbach, et al.
www.tu-chemnitz.de/mathematik/fem-symposium/
- 11. Workshop “Fast Boundary Element Methods in Industrial Applications”, Söllerhaus, 26.9.-29.9.2013
Organisation: O. Steinbach
<http://www.numerik.math.tu-graz.ac.at/tagungen/>

- International Symposium on Numerics and Scientific Computing
Bruchsal, 22.-24.10.2013
Organisation: G. Wittum
gscs.uni-frankfurt.de/simulation-and-modelling

Zukünftige Aktivitäten von Ausschussmitgliedern:

- Swiss Numerics Day
Zürich, 25.04.2014
Organisation: M. Chipot, S. Sauter
<http://www.math.uzh.ch/conferences/index.php?snc14>
- 8. Summerschool 2014
Zürich, 18.-22.08.2014
Organisation: R. Hiptmair, S. Sauter, Ch. Schwab
<http://www.sam.math.ethz.ch/zss/zss14.php>

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 2013 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 2013 fand im Rahmen der von Mitgliedern des Fachausschusses organisierten Tagung „European Conference on Computational Optimization“ (Juli, Herzog u.a.) in Chemnitz statt.

Neben der EUCCO-Tagung haben die Mitglieder des FA folgende Tagungen mitorganisiert: Numerical Methods for PDE Constrained Optimization with Uncertain Data (Oberwolfach, Januar, Schulz), Workshop on Numerical Methods for Optimal Control and Inverse Problems

(März, Ulbrich/Vexler), IFIP TC7 Workshop „Electromagnetics – Modelling, Simulation, Control and Industrial Applications“, WIAS Berlin (Mai, Hoppe/ Tröltzsch), EUROGEN 2013 (Oktober, Gauger), Workshop on Optimization with PDE constraints (TIFR Bangalore, November, Schmidt/Schulz/Walther/Wollner). Außer auf den genannten Tagungen wurden vom FA auch auf weiteren Tagungen zahlreiche Minisymposia und Sektionen organisiert, u.a. auf der SIAM Conference on Computational Science and Engineering (Boston, Februar, Gauger/Schmidt/Schulz), ICCOPT (Lissabon, August, Meyer/Ulbrich), SIAM Conference on Optimization (San Diego, Mai, Ulbrichs) und Sektionen auf der GAMM-Jahrestagung (März, Ulbrich/Wollner/Gauger).

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

DYNAMIK UND REGELUNGSTHEORIE



Achim Ilchmann



Rolf Findeisen

Dynamik und Regelungstheorie ist ein interdisziplinäres Gebiet, welches von Kollegen aus der Mathematischen Systemtheorie, der Regelungstechnik und der Nichtlineare Schwingungen studiert wird. Im Vordergrund steht das mathematische Verständnis der Dynamik bei Steuerungen und Regelungen, die in der Praxis zur Anwendung kommen.

Der Fachausschuss „Nichtlineare Schwingungen“ ist Anfang der neunziger Jahre von Professor E. Kreuzer (TU Hamburg-Harburg) gegründet worden, zwischen 1996 und 1998 wurde der Fachausschuss umbenannt in „Dynamik und Regelungstheorie“. Damit zeichnete sich auch eine inhaltliche Entwicklung ab: Stand erst die Dynamik nichtlinearer Systeme von den Kollegen aus der Schwingungstheorie im Vordergrund, so waren dann die Kollegen aus den Bereich der Systemtheorie wesentlich beteiligt.

Der Fachausschuss wurde maßgeblich von Professor P. C. Müller (Bergische-Universität Wuppertal) geprägt, er war von 1993 – 2005 Vorsitzender.

Anschließend übernahmen den Vorsitz die Professoren F. Colonius (U Augsburg) von 2005 – 2007, K. Schlacher (Johannes Kepler U Linz) 2007 – 2010, A. Ilchmann (TU Ilmenau) seit 2010.

Das Hauptanliegen des Ausschusses ist die Kommunikation und Zusammenarbeit von WissenschaftlerInnen aus der Mathematik und den Ingenieurwissenschaften. Insbesondere ist uns die Integration jüngerer Kollegen wichtig. Dieses Ziel wird umgesetzt durch halbjährlich stattfindenden Workshops, an denen circa 25 Kollegen der Ingenieurwissenschaften und der Mathematik teilnehmen, und Doktoranden bis hin zu emeritierten Kollegen ihre aktuellen Forschungsergebnisse vorstellen.

Die Erweiterung des Ausschusses durch neue Mitglieder, insbesondere neu berufener KollegInnen, ist uns wichtig.

Weitere Auskünfte: <http://www.tu-ilmenau.de/analysis/team/achim-ilchmann>

Aktivitäten des FA 2013

GAMM-FA Workshops

- 28.02.-01.03.2013 an der TU Kaiserslautern mit 13 Vorträgen und 24 Teilnehmer;
Organisatoren: S. Trenn (TU Kaiserslautern), A. Ilchmann (TU Ilmenau), R. Findeisen (OvGU Magdeburg)
- 26.09.-27.09.2013 in Magdeburg am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme
Organisatoren: M. Voigt (MPI Magdeburg), A. Ilchmann (TU Ilmenau), R. Findeisen (OvGU Magdeburg)

GAMM-Jahrestagung 2013 in Novi Sad

- Sektion S1 Multi-body dynamics
Organisatoren: Sigrid Leyendecker (Erlangen-Nürnberg), Zdravko Terze (Zagreb), Bernhard Schweizer (Kassel)
- Sektion S5 Nonlinear oscillations
Organisatoren: Dirk Söffker (Duisburg) und Utz von Wagner (Berlin)
- Sektion S20 Dynamics and control
Organisatoren: Christian Ebenbauer (Stuttgart) und Tobias Damm (Bayreuth)
- Minisymposium: Switched systems
Organisatoren: Stephan Trenn (Kaiserslautern) und Fabian Wirth (Würzburg)

Elgersburg Workshop Mathematische Systemtheorie 11.02.-14.02.2013 in Elgersburg (Thüringen) mit über 50 Teilnehmern

Organisatoren: F. Colonius (Augsburg), A. Ilchmann (TU Ilmenau), E. Zerz (RWTH Aachen)

Elgersburg School Mathematical Systems Theory 17.02.-23.02.2013 in Elgersburg (Thüringen) mit 36 Teilnehmern aus 10 Ländern

Vortragende: George Weiss (Tel Aviv U., Israel): Control in Power Electronics and Hans Zwart (Universiteit Twente, Niederlande): Infinite-Dimensional Systems
Organisatoren: A. Ilchmann (TU Ilmenau), T. Reis (U Hamburg), F. Wirth (U Würzburg)

JAHRESBERICHT 2013 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 2013 haben wir diese Ziele durch zahlreiche Aktivitäten verfolgt, die von Mitgliedern des Fachausschusses und Ihren Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen organisiert wurden. Beispielhaft seien die folgenden Tagungen genannt:

- 12 GAMM Seminar Mikrostrukturen, Humboldt Universität zu Berlin, 8.-9.2.2013, Organisatoren: C. Carstensen, K. Hackl.
- Young Researchers' Minisymposion „Analytical and engineering aspects in the material modeling of solids“ bei der GAMM Jahrestagung, 18.-22.3.2013 in Novi Sad, Organisatoren: Marita Thomas (Berlin), Riccarda Rossi (Brescia). Unter den Vortragenden war auch C. Kreisbeck.
- Partial Differential Equations in Mechanics, 15.-28. 7. 2013 an der University of Science and Technology in Ulaanbaatar (Mongolei), Organisatoren: C. Sarantuja, H.D. Alber, A. Damlamian und D. Cioranescu.

- International Conference on Differential Equations (EQUADIFF 13), Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, 26.-30.8. 2013, A. Mielke Mitglied im Programmkomitee.
- Workshop on Evolution Problems for Material Defects: Dislocations, Plasticity, and Fracture, 30.9.-4.10.2013, International School of Advanced Studies (SISSA), Trieste, Italy, A. DeSimone (Co-Organisator), Übersichtsvorträge von A. Mielke und S. Müller.

Der Fachausschuss wirkte wieder aktiv bei der Auswahl der Pleany Speaker bei der GAMM Jahrestagung in Novi Sad mit und konnte Andrea Braides (Rom) für einen Vortrag mit dem Titel „Asymptotic analysis of atomistic systems“ gewinnen.

Stellvertretend für die Vortragsaktivitäten der Mitglieder seien genannt:

- E. Stein, „Adaptive FEM, XFEM and SFM for Damage and Fracture of Brittle Elastic Materials at Micro- and Macro-Scales“, Co-Autoren T. Gerasimov und P. Wriggers, „XX International Conference on Computational Methods in Mechanics“ durchgeführt von PACM, Polen, 27.-31. 8. 2013 in Posen.

Schließlich weisen wir noch auf die folgenden Monographien hin:

„Plasticity and Beyond: Microstructures, Crystal-Plasticity and Phase Transitions“, CISM Courses and Lectures, J. Schröder und K. Hackl (Eds.), Springer-Verlag 2014. G. Dal Maso, A. Mielke und U. Stefanelli,

„Rate-independent Evolutions“, Discrete Contin. Dyn. Syst.-S Vol. 6, American Institute of Mathematical Sciences, 2013.

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

STOCHASTISCHE OPTIMIERUNG IN DER TECHNIK



Thomas Vietor Kurt Marti

Die im vorherigen Jahr begonnenen Projekte wurden fortgeführt und ergänzt. Zur Forschung wurde die Open Hybrid Lab Factory (OHLF) als vom BMBF geförderter Forschungscampus als Rahmen weiter ausgebaut. Es wurde das Projekt MultiMak vom BMBF bewilligt, in dem Methoden für Multimaterialbauweisen erforscht werden. Ein wesentlicher Teil dieses Projekts ist die Erstellung von Vorgehensmodellen unter Berücksichtigung stochastischer Einflussgrößen. Dies wird weitergehend zur Weiterentwicklung stochastischer Optimierungsverfahren und deren Anwendung führen. Hier sind erste Lösungen erarbeitet und publiziert worden. Die Forschung in der OHLF ist auf 15 Jahre angelegt, im folgenden Jahr steht die Beantragung des Übergangs von der Vor- in die Hauptphase im Vordergrund.

Im Rahmen des Forschungscampus werden Bauweisen untersucht, die durch Multimaterialbauweisen zu neuen Möglichkeiten des Leichtbaus bei unterschiedlichen Verkehrssystemen (Strassen- und Schienenfahrzeug, Luftfahrzeug) mit grossen Stückzahlen führen.

Neben der Erforschung und dem Einsatz von stochastischen Optimierungsverfahren in der Anwendung auf Verkehrssysteme, werden Anwendungen in anderen Disziplinen des Maschinenbaus untersucht. In allem stehen die Grundlagendisziplinen Mechanik und Mathematik im Vordergrund zur Erforschung der benötigten Verfahren. Dies hat bisher die Verbreitung der stochastischen Verfahren gefördert. Auf dieser Basis soll die Arbeit fortgesetzt werden.

Im Jahr 2013 wurden folgende Sessions organisiert:

- 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.
- Session Fahrzeugkonzepte auf dem 13. Internationalen Stuttgarter Symposium, 18.-19.03.2013.

Es wurde folgende Konferenz organisiert und durchgeführt:

- AVSIC Advanced Vehicle Structures and Infrastructures for China, Conference and Workshop at Tongji-University, Oct. 14-18th, Shanghai, China with participation of the Tsinghua University Beijing and Volkswagen Research Lab China.

Im Jahr 2013 wird folgende Konferenz für 2014 vorbereitet:

- Faszination Leichtbau, 12. und 13. März 2014 in Wolfsburg.
<http://www.faszination-leichtbau.de/>



Bild: Einsatz von Leichtbauweisen im Kraftfahrzeug. Quelle: Volkswagen (modifiziert)

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MATHEMATISCHE SIGNAL-
UND BILDVERARBEITUNG (MSIP)



Gitta Kutyniok



Gabriele Steidl



Gerlind Plonka-Hoch

Der Fachausschuss MSIP wurde im April 2012 ins Leben gerufen und hat zur Zeit bereits über 150 Mitglieder aus 19 Ländern. Zur Förderung des Gebietes der “Mathematischen Signal- und Bildverarbeitung”, zur Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern/innen und zur Verbesserung von interdisziplinärer Forschung dient die Webseite www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP als zentrale Kommunikationsplattform, neben einem regelmäßigen Newsletter, einem Job-Forum, einem Preprint-Server und der Bekanntmachung von thematisch interessanten Konferenzen und Special Issues.

Im Jahr 2013 wurden von den Mitgliedern des Fachausschusses folgende Veranstaltungen organisiert:

- Sektion “Mathematical Image Processing”, Jahrestagung der GAMM 2013. Organisation: G. Kutyniok (Berlin) und O. Scherzer (Wien).
- YR Minisymposium “Compressed Sensing and Applications”, Jahrestagung der GAMM 2013. Organisation: F. Kraher (Göttingen) und R. Saab (Durham).
- Annual GAMM-MSIP Workshop “Advances in Mathematical Image Processing”, Annweiler, 30.9.-2.10.2013. Organisation: G. Kutyniok (Berlin), G. Plonka (Göttingen) und G. Steidl (Kaiserslautern).
- Rhein-Ruhr-Workshop 2013, Bergkloster Bestwig, 1.-2.2.2013. Organisatoren: M. Heilmann (Wuppertal), T. Sauer (Passau) und M. Skrzipek (Hagen).
- Conference “Statistical Issues in Compressive Sensing”, U Göttingen, 11.-13.11.2013. Organisation: F. Kraher (Göttingen) und A. Munk (Göttingen).
- MATHEON-Workshop „Compressed Sensing and its Applications“, TU Berlin, 9.-13.12. 2013. Organisation: H. Boche (München), R. Calderbank (Durham), G. Kutyniok (Berlin) und J. Vybiral (Berlin)

Mitglieder des Fachausschusses waren zusätzlich an der Organisation diverser weiterer Tagungen und Workshops – zum Teil federführend – beteiligt, u.a. bei der International Conference on Approximation Theory, dem International Symposium on Optical Science and Technology, dem Mecklenburger Workshop “Approximationsmethoden und schnelle Algorithmen“, dem IPAM Workshop „Convex Relaxation Methods of Geometric Problems in Scientific Computing“, sowie bei dem Workshop des GAMM Fachausschusses ANLA.

Desweiteren hielt G. Kutyniok (Berlin) die Noether-Lecture bei dem diesjährigen ÖMG-DMV Kongress in Innsbruck (23.-26.9.2013).

Für das Jahr 2014 sind u.a. bereits folgende Aktivitäten geplant:

- Joint GAMM ANLA-MSIP Workshop “Matrix Computations for Sparse Recovery“, TU Berlin, 9.4.-11.4.2014 zur Intensivierung der Zusammenarbeit dieser beiden Fachausschüsse. Organisation: P. Benner (Chemnitz) und G. Kutyniok (Berlin). Webseite: www.math.tu-berlin.de/MaCS2014
- First French-German Mathematical Image Analysis Conference, Paris, 13.-15.1.2014 zur Intensivierung der Zusammenarbeit mit den französischen Partnern. Organisation: J. Fadili (Caen), G. Kutyniok (Berlin), G. Peyre (Paris-Dauphine), G. Plonka (Göttingen), G. Steidl (Kaiserslautern). Webseite: fadili.users.greyc.fr/mia/events/fgmia-14
- Sektion “Mathematical Signal and Image Processing“, Jahrestagung der GAMM 2014. Organisation: G. Plonka-Hoch (Göttingen) und J. Weickert (Saarbrücken).
- Minisymposium “Linear Algebra in Compressive Sensing“, Jahrestagung der GAMM 2014. Organisation: I. Dhillon (Austin) und M. Fornasier (München).
- YR Minisymposium “Multiscale Geometric Image Analysis“, Jahrestagung der GAMM 2014. Organisation: King (Bremen) und Storath (Lausanne).

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 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

UNCERTAINTY QUANTIFICATION



Vincent Heuveline



Fabio Nobile

Die Quantifizierung von Unsicherheiten in Modellparametern und deren Auswirkung auf Modelllösungen hat sich zu einem unverzichtbaren Baustein der numerischen Simulation für viele Problemstellungen der Natur- und Ingenieurwissenschaften entwickelt. Seit seiner Gründung im Jahr 2012 ist der GAMM Fachausschuss Uncertainty Quantification (AG UQ) unter der Leitung von Prof. Dr. Vincent Heuveline (Universität Heidelberg) und Prof. Dr. Fabio Nobile (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) in kürzester Zeit auf aktuell 54 europäische Mitglieder gewachsen.

Unter dem Dach des Fachausschusses fand vom 13. bis zum 17. Mai 2013 am Hausdorff Center for Mathematics an der Universität Bonn der Workshop: Numerical Methods for Uncertainty Quantification statt. Organisatoren waren Alexey Chernov (Universität Bonn), Vincent Heuveline und Fabio Nobile. Im Rahmen des Workshops wurden neuste Forschungsergebnisse im Bereich der Entwicklung und Verwendung numerischer Verfahren für Problemstellungen mit unsicheren Parametern vorgestellt. Dies umfasste u.a. numerische Methoden zur Vorwärtsausbreitung von Unsicherheiten, Modellreduktion, Inverse Probleme sowie Optimierung und optimale Kontrolle unter Unsicherheit. Vertreten waren zahlreiche renommierte Forscher im Bereich Uncertainty Quantification aus Europa und den USA.

Des Weiteren ist im Rahmen der 85ten GAMM Jahrestagung 2014 in Erlangen-Nürnberg ein Minisymposium zur Thematik Uncertainty Quantification geplant. Organisatoren sind Vincent Heuveline und Fabio Nobile. Neben dem wissenschaftlichen Austausch ist ein weiteres Ziel des Minisymposiums einen Rahmen für ein gemeinsames Jahrestreffen der Fachausschuss Mitglieder zu bieten. Aktuelle Informationen für Mitglieder und Interessierte werden auf der offiziellen Fachausschuss Webseite (siehe unten) bekannt gegeben. Hier besteht auch die Möglichkeit sich als neues Mitglied zu registrieren.

In einer gemeinsamen Erklärung seitens der SIAM Activity Group on Uncertainty Quantification (SIAG/

UQ) und des GAMM Fachausschusses für Uncertainty Quantification (AG UQ) wurde die gegenseitige Unterstützung beider Fachausschüsse formal bekräftigt.

In Kooperation mit der SIAG/UQ, der American Statistical Association (ASA) und der American Geophysical Union (AGU) organisiert der Fachausschuss AG UQ die 2nd SIAM Conference on Uncertainty Quantification 2014 in Savannah, Georgia, USA. Die Konferenz findet vom 31. März bis zum 3. April 2014 statt. Neben Fabio Nobile ist auch Prof. Dr. Michael Griebel (Universität Bonn) im Organizing Committee als Co-Chair und Repräsentant des GAMM Fachausschusses vertreten.

Des Weiteren ist Vincent Heuveline in seiner Rolle als Sprecher des GAMM Fachausschusses UQ als Mitglied des Organisationskomitees der SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2015 (CSE15) ernannt worden.

Kontakt:

Weitere Informationen zu den aktuellen Entwicklungen des Fachausschusses sowie die Möglichkeit sich als Mitglied zu registrieren finden Sie auf der offiziellen Webseite:

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

Chair: Prof. Dr. Vincent Heuveline

E-Mail: vincent.heuveline@iwr.uni-heidelberg.de

Co-Chair: Prof. Dr. Fabio Nobile

E-Mail: fabio.nobile@epfl.ch



JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING (CSE)



Ulrich Rüde



Oliver Röhrle



Barbara Wohlmut

Der im Jahr 2012 neu eingerichtete Fachausschuss hat dieses Jahr seine Arbeit voll aufgenommen und dabei viele neue Aktivitäten gestartet. Zu den fachlichen Highlights des Gebiets CSE gehörte sicherlich die große Fachtagung der SIAM in Boston: Mit mehr als 1300 Teilnehmern hatte die SIAM Conference in CSE im Februar eine Rekordbeteiligung zu verzeichnen. Am Rande der Konferenz hatte auch ein informelles Treffen der Mitglieder des GAMM FA CSE stattgefunden. Ebenfalls auf der Konferenz hatte die SIAM Activity Group CSE, also das Pendant zum Fachausschuss CSE, ihre Mitgliederversammlung. Als Chair der Arbeitsgruppe wurde Ulrich Rüde gewählt, so dass hier in den kommenden zwei Jahren eine enge Abstimmung zwischen dem GAMM FA CSE und der SIAG CSE möglich sein wird. Die Folien zu diesem Treffen und weitere Information können unter http://wiki.siam.org/siag-cse/index.php/Main_Page abgerufen werden.

Am 20. März 2013 fand im Rahmen der GAMM Jahrestagung in Novi Sad die diesjährige Mitgliederversammlung des FA CSE statt, die von Oliver Röhrle geleitet wurde. Insbesondere wurde dabei über die Unterstützung des Faches CS&E im Programmkomitee der Jahrestagungen diskutiert und dass das Potential des Gebiets CS&E zur fachlichen Verbreitung der GAMM bislang nicht genutzt wird

Im August fand in Washington DC der EXaMath 2013 Workshop statt, auf dem neue Forschungsnotwendigkeiten für die angewandte Mathematik vor dem Hintergrund des aktuellen Technologiebruchs in der Computertechnik diskutiert wurden. Dies läuft parallel zu Überlegungen auf der Europäischen Ebene, wo im Rahmen der Exa-Scale Software Initiative (EESI-2) ebenfalls die Forschungsrichtungen der Computational Sciences kritisch evaluiert werden. Zentrales Ergebnis dieser Analyse ist beiderseits des Atlantiks, dass für Anwendungen,

die einen höheren Bedarf an Rechenleistung haben, derzeit erhebliche Forschungsdefizite bestehen. Der Umbruch bringt sowohl Chancen als auch Risiken mit sich.

Mehr Information hierzu findet man unter: <https://collab.mcs.anl.gov/display/examath/ExaMath13+Workshop> und unter <http://www.eesi-project.eu/pages/menu/homepage.php>.

Am 14.-15. November fand ein Workshop des FA CSE zum Thema „Education in CSE“ statt, der von Ursula van Rienen und Dirk Hecht in Rostock organisiert wurde.

Zum Jahresende fand vom 4.-6. Dezember 2012 schließlich der Workshop „New Algorithms for Exascale Computing“ in Köln statt. Er wurde von Projekten aus dem DFG Schwerpunktprogramm „Software for Exa-Scale Computing“ veranstaltet und von den Herren Klawonn, Basermann, Ohlberger und Rheinbach organisiert. Nähere Information findet man unter http://www.mi.uni-koeln.de/numerik_workshop.

Als Ausblick für 2014 möchten wir auf die Sektion Scientific Computing hinweisen, die auf der GAMM Jahrestagung 2014 von Sabine Roller und Matthias Bolten geleitet werden wird. Weiter sind ein gemeinsamer Workshop des FA Optimierung und des FA CSE geplant, der von Frau Walther (Paderborn) sowie Herrn Meyer und Herrn Turek (Dortmund) koordiniert werden wird. Ebenfalls in 2014 wird der FA CSE den International Workshop on Parallel Numerics (PARNUM) in der Nähe von Nürnberg ausrichten. Eine genauere Ankündigung folgt demnächst. Schließlich ist im Sommer 2014 in den USA Workshop zum Thema CSE geplant, in dem das Strategiepapier der SIAM zum Thema CSE von 1998 überarbeitet werden soll, siehe <http://www.siam.org/students/resources/report.php>. Dabei ist auch eine Mitarbeit des FA CSE erwünscht.



SPPEXA-Workshop New Algorithms for Exascale Computing, Universität zu Köln, 4.-6. Dezember 2013

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE OPERATORTHEORIE



Birgit Jacob



Carsten Trunk

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 2013

- 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).
- Mini-Workshop „Spectral Theory“ an der Universität Bern, 20. März 2013. Organisation: C. Tretter und P. Siegl (beide Bern).
- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2013, Organisation: A. Batkai (Budapest) und C. Wyss (Wuppertal). Fünf Jahre Gründungsjubiläum „Fachausschuss Angewandte Operatortheorie“ Mai 2013, Berlin. Organisation: J. Behrndt (Graz), E. Emmrich (TU Berlin), B. Jacob (Wuppertal), C. Tretter (Bern) und C. Trunk (Ilmenau).
- DISC Summer School on „Modeling and Control of Distributed Parameter Systems“, Juni 2013, Twente. Organisation: B. Jacob (Wuppertal) und H. Zwart (Twente). Tagung „3rd Najman Conference Spectral Problems for Operators and Matrices“, September 2013, Biograd, Kroatien. Organisation: J. Behrndt (Graz), L. Grubisic (Zagreb), B. Jacob (Wuppertal), V. Kostykin (Mainz), M. Malamud (Donetsk), I. Nakic (Zagreb), G. Teschl (Wien), and I. Veselic (Chemnitz).

Geplante Aktivitäten des Fa 2014

- Tagung „Workshop on Port-Hamiltonian Systems: Approximations, Theory and Practice“, März 2014, Lorentz Center Leiden (Niederlande). Organisation: B. Jacob (Wuppertal) und H. Zwart (Twente).
- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2014. Organisation: M. Hieber (Darmstadt) und C. Tretter (Bern).
- Workshop „Spectral Problems on Shrinking Domains“, Mai 2014, Gregynog Hall, University of Wales (UK). Organisation: J. Behrndt (Graz), B.M. Brown (Cardiff) und O. Post (Durham).
- Workshop „Modern aspects of the Titchmarsh-Weyl m-function and its multidimensional analogues“, Juni 2014, Mittag-Leffler Institut, Stockholm. Organisation: J. Behrndt (Graz), B.M. Brown (Cardiff) und D. Evans (Cardiff)
- Tagung „25th International Workshop on Operator Theory and its Applications (IWOTA 2014)“, Juli 2014, Amsterdam, Organisation: T. Eisner (Leipzig), B. Jacob (Wuppertal), A. Ran (Amsterdam) und H. Zwart (Twente)
- Sitzung des Fachausschusses Angewandte Operatortheorie, September 2014, Budapest. Organisation: A. Batkai (Budapest)
- Workshop „Linear Relations and Extension Theory“, September 2014, Obergurgl Conference Center (Österreich). Organisation: J. Behrndt (Graz), C. Trunk (Ilmenau) und H. Woracek (Wien)



Foto: Peter-Ulrich Hein

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE UND NUMERISCHE LINEARE ALGEBRA (ANLA)



Andreas Frommer



Daniel Kressner

Nach 12 erfolgreichen Jahren wurde der Fachausschuss gemäß den Statuten der GAMM in 2013 geschlossen. Dem Antrag auf Neueinrichtung des Fachausschusses hat der GAMM-Vorstand im März entsprochen. Der neu eingerichtete Fachausschuss besteht aus 72 Mitgliedern aus 16 Ländern.

Im Zuge der Neueinrichtung erfolgten einige Neuerungen. So gibt es jetzt ein internationales Beratergremium, welches den Fachausschuss bei der Koordination von internationalen Aktivitäten (zum Beispiel Sommerschulen) unterstützt. Andreas Frommer und Daniel Kressner wurden zum Vorsitzenden bzw. stellvertretenden Vorsitzenden gewählt. Damit beendet Peter Benner seine überaus erfolgreiche, mehr als 4 Jahre währende Tätigkeit als Vorsitzender, welche den Fachausschuss insbesondere in seiner internationalen Ausrichtung entscheidend geprägt hat.

Der jährliche Workshop fand diesmal vom 09.-10.09.2013 an der Bergischen Universität Wuppertal statt und wurde von den ANLA-Mitgliedern Matthias Bolten und Karsten Kahl organisiert.

Die Hauptvortragenden waren Laura Grigori (INRIA Paris, Frankreich) und Valeria Simoncini (Università di Bologna, Italien). Der Workshop war unserem im Juli im Alter von nur 55 Jahren verstorbenen, hochgeschätzten Kollegen Bernd Fischer gewidmet.

Der von ANLA-Mitgliedern alle 2 Jahre organisierte Workshop zu „Matrixgleichungen und Tensortechniken“ fand vom 10.-11.10.2013 an der EPF Lausanne in der Schweiz statt.

Der nächste ANLA-Workshop wird gemeinsam mit dem spanischen Netzwerk ALAMA zur Linearen Algebra, Matrixanalysis und ihren Anwendungen vom 14.-16.07.2014 in Barcelona ausgerichtet.

Die fachlichen Aktivitäten des Fachausschusses werden in einem soeben veröffentlichten Themenheft der GAMM Mitteilungen beleuchtet. Dabei wird auf neue Entwicklungen der letzten Jahre eingegangen, insbesondere in den Bereichen Matrixfunktionen, Matrixgleichungen, Tensortechniken, Compressed Sensing, sowie iterative Löser und adaptive FEM.

JAHRESBERICHT 2013 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MULTISCALE MATERIAL MODELING



Holger Steeb



Stefan Diebels

Der Fachausschuss beschäftigt sich mit der theoretischen Modellentwicklung und algorithmischen Umsetzung von Mehrskalenmethoden.

Der Ausschuss hat das Ziel, als Diskussions- und Interaktionsforum für Mechaniker, Mathematiker, Materialwissenschaftler und Ingenieure zu dienen, die sich mit solchen Forschungsthemen beschäftigen.

Unter aktiver Beteiligung der Mitglieder und externer Teilnehmer wurde das jährliche Seminar des Fachausschusses 2013 in Dresden organisiert. Ausgewählte wissenschaftliche Beiträge sollen in der Zeitschrift „Technische Mechanik“ publiziert werden. Die Veröffentlichung des Sonderheftes ist für die erste Hälfte 2014 geplant.

Im Berichtszeitraum 2013 fanden die folgenden ausgewählten Aktivitäten des FA statt:

- Jährliches Seminar des FA „Multiscale Material Modeling“ in Dresden, 20.-21.06.2013 (organisiert von Prof. Dr.-Ing. Bernd W. Zastrau Technische Universität Dresden).

- Minisymposium „Dislocation based plasticity“ auf der Jahrestagung der GAMM, 18.-22.03.2013, Novi Sad, Serbien.
- YR Minisymposiums „Scale-bridging modeling and simulation methodological and computational aspects“ auf der GAMM Jahrestagung 2013.
- „1st International Workshop on Order-Reduction Methods for application to Mechanics of Materials“ (WORM2013), 25.-28.08.2013, Bad Herrenalb.

Im nächsten Jahr sollen die erfolgreichen Aktivitäten des Fachausschusses fortgeführt werden. Bislang geplante Aktivitäten sind u.A.:

- Jährliches Seminar „Multiscale Material Modeling“, (Details werden angekündigt)
- Minisymposium „Multi-scale modeling of porous media based on advanced tomography techniques“, Interpolate 2014, 27.-30.05. 2014, Milwaukee, USA.
- Minisymposium „Scale-dependent plasticity: Experiments, Theory and Numerical Implementation“, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI) in Barcelona, July 20-25, 2014

WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

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

Tagungsjahr 2014

GAMM Annual Meeting
 10. - 14.03. 2014, Elangen, Germany
<http://jahrestagung.gamm-ev.de/>

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.

Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences (AMSES)

New open access journal

www.springer.com/materials/mechanics/journal/40323

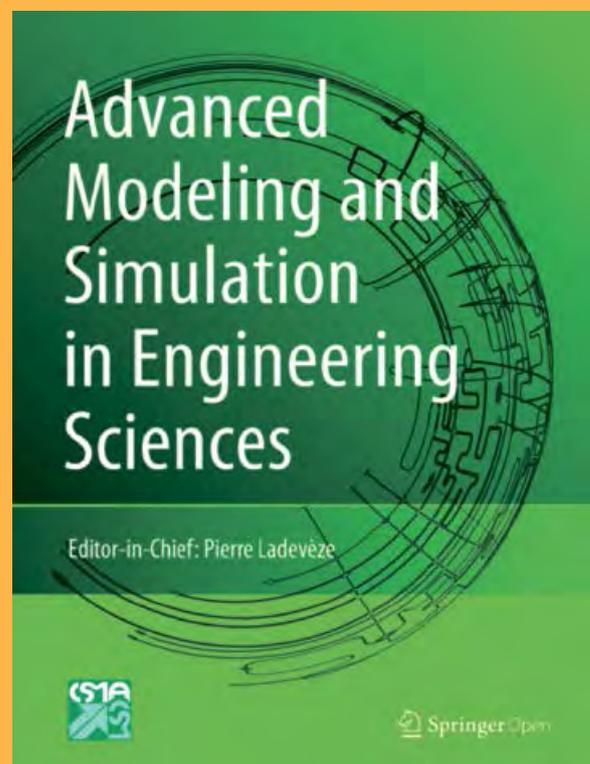
Papers are highly welcome!

Editor-in-Chief:

Pierre Ladevèze

Associate Editors:

Francisco Chinesta
 Alberto Corigliano
 Jay Gopalakrishnan
 Antonio Huerta
 Jean-Francois Molinari
 Stefanie Reese
 Jianxiang Wang



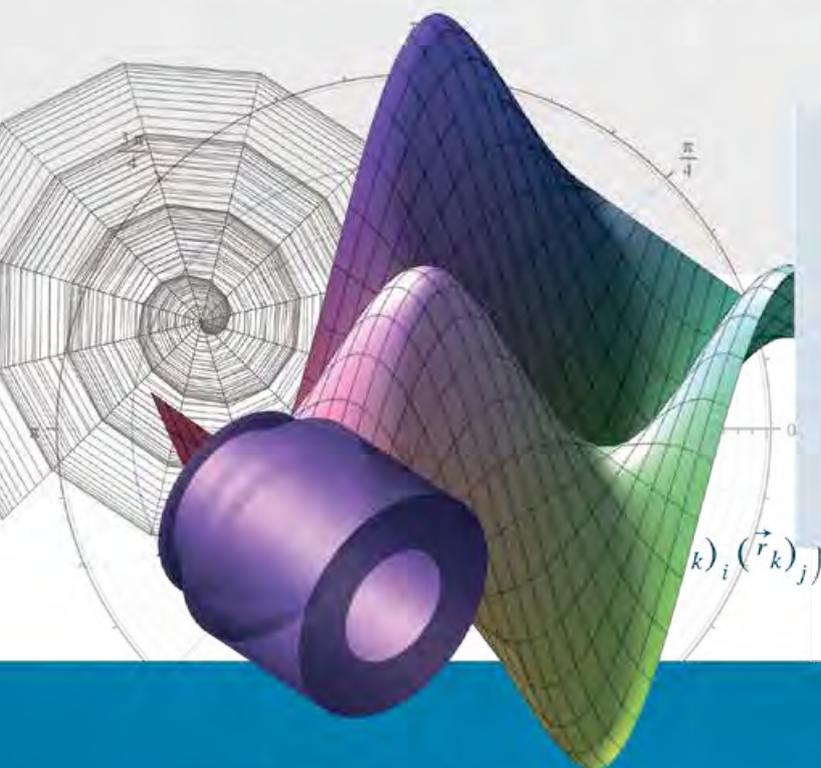
Maple™ 17

Das unerlässliche Werkzeug für Mathematik und Modellierung

Darauf vertrauen Mathematiker auf der ganzen Welt ...

Auf Maplesoft vertrauen Mathematiker seit rund 25 Jahren. Mit ihrer Kombination aus der fortschrittlichsten symbolischen Rechenengine, mächtigen numerischen Algorithmen, ausgefeilten Visualisierungswerkzeugen und intuitiven Benutzerschnittstellen bereichern Maplesoft-Produkte den Unterricht und beschleunigen die Forschung.

Maple hilft Ihnen dabei, mathematische Probleme schnell, einfach und genau zu analysieren, zu erkunden, zu visualisieren und zu lösen. Mit über 5000 Funktionen aus allen Bereichen der Mathematik bietet Maple die richtigen Werkzeuge, um alle Herausforderungen in der Mathematik zu bewältigen. Unter anderem bietet Maple jetzt neue Pakete im Bereich Signalverarbeitung und Gruppentheorie sowie stark verbesserte Paketen in der Physik und Differentialgeometrie!



Folgen Sie dem Link unten, um zu erfahren, warum sich Dozenten, Wissenschaftler und Ingenieure aus der ganzen Welt auf **MapleSim** verlassen, wenn es um physikalische Systemmodellierung geht.

Fordern Sie Ihr kostenloses Papier-Exemplar der Broschüre „Bringen Sie Leben in Ihren Unterricht“ an:

www.maplesoft.com/gamm