

AUS DEM INHALT:

HERAUSGEBER
IM AUFTRAG DES VORSTANDES DER GAMM E.V.:
PROF. DR. AXEL KLOWONN
UNIVERSITÄT ZU KÖLN
PROF. DR.-ING. DANIEL BALZANI
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

BERND SCHMIDT:
EFFEKTIVE THEORIEN UND ENERGIE
MINIMIERENDE KONFIGURATIONEN FÜR
HETEROGENE SCHICHTEN

BAI-XIANG XU AND YANGYIWEI YANG:
PHASE-FIELD MODELING OF ADDITIVE
MANUFACTURING PROCESS

1/2020

JUNGE WISSENSCHAFTLER:
JAN HEILAND
MATTI SCHNEIDER

Herausgeber:
 Prof. Dr. Axel Klawonn
 Universität zu Köln
 Prof. Dr.-Ing. Daniel Balzani
 Ruhr-Universität Bochum

Schriftleitung:
 Prof. Dr. Axel Klawonn
 Universität zu Köln
 Department Mathematik/Informatik
 Weyertal 86-90
 50931 Köln
 Tel.: +49 (0)221 / 470-7868
 E-Mail: klawonn@math.uni-koeln.de

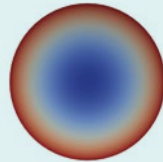
Anzeigenverwaltung
 GAMM-Geschäftsstelle
 c/o Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
 Institut für Statik und Dynamik der
 Tragwerke
 Fakultät Bauingenieurwesen
 Technische Universität Dresden
 01062 Dresden
 Tel.: +49 (0)351 / 463-33448
 E-Mail: GAMM@mailbox.tu-dresden.de

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

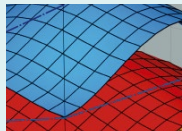
Druck:
 Bauer & Frischluft Werbung GmbH
 Gutenbergstr. 3
 84069 Schierling
 Tel.: +49 9451 943024
 Fax.: +49 9451 1837
 E-Mail: sr@bauer-frischluft-werbung.de
 www.bauer-frischluft-werbung.de

ISSN 2196-3789

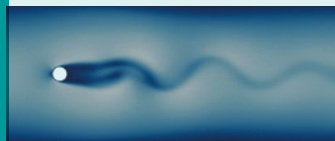
- 4 Effektive Theorien und Energie minimierende Konfigurationen für heterogene Schichten** 28
 Bernd Schmidt



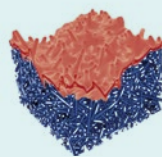
- 12 Phase-field Modeling of additive manufacturing process**
 Bai-Xiang Xu and
 Yangywei Yang



- 21 Steckbrief**
 Jan Heiland



- 23 Steckbrief**
 Matti Schneider



- 27 SAMM 2019: Spacetime Finite Element Methods for parabolic and hyperbolic conservation laws**
 Philipp Morgenstern

Berichte aus den Fachausschüssen:

- Angewandte Operatortheorie** 28
Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen 28
Analysis partieller Differentialgleichungen 29
Dynamik und Regelungstheorie 30
Mathematische Signal- und Bildverarbeitung (MSIP) 31
Analysis von Mikrostrukturen 32
Computational and Mathematical Methods in Data Science 33
Stochastische Optimierung 34
Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA) 34
Computational Biomechanics 35
Computational Science and Engineering (CSE) 36
Phasenfeldmodellierung 37
Data-driven modeling and numerical simulation of micro-structured materials (AG Data) 37
Experimentelle Festkörpermechanik 38
Modellierung, Analysis und Simulation molekularer Systeme 39
Numerische Analysis 39
Uncertainty Quantification (UQ) 40
Wissenschaftliche Veranstaltungen 40
Ausschreibung: Richard-von-Mises-Preis 2021 41
Vorstand der GAMM 42
Ehrenmitglieder der GAMM 43



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

LIEBE GAMM-MITGLIEDER,



„Effektive Theorien und energieminimierende Konfigurationen für heterogene Schichten“ ist der Titel des Beitrags des Kollegen Bernd Schmidt aus Augsburg. In diesem wird die Modellierung der Verformung dünner, heterogener, dreidimensionaler Schichten behandelt, wie sie zum Beispiel bei einem Bimetallstreifen auftreten können. Durch Wärmezufuhr kann hierbei eine flache Referenzkonfiguration erzeugt werden, die interne Spannungen aufweist. In seinem Beitrag gibt Bernd Schmidt einen Einblick in effektive Theorien für heterogene, dünne Platten, die aus geschichteten Materialien zusammengesetzt sind.

Erzeugnisse von 3D-Druckern sind heute im industriellen Bereich, aber auch in privaten Haushalten, zunehmend vorzufinden. Im zweiten Beitrag behandeln die Kollegin Bai-Xiang Xu und ihr Doktorand Yangyiwei Yang, beide aus Darmstadt, die Modellierung additiver Fertigungsprozesse mit Hilfe von Phasenfeld-Methoden, sowie deren Simulation mit finiten Elementen. Auf dieser Basis lassen sich komplexe Prozesse auf Mikroskala wie Kornwachstum, Schmelzen und Wiedererstarrung als Folge großer, sich ändernder Temperaturgradienten beschreiben.



Auch in dieser Ausgabe stellen sich zwei Nachwuchswissenschaftler mit ihren Arbeitsgebieten vor. Diese sind aus der Mathematik Jan Heiland vom MPI für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg und aus der Mechanik Matti Schneider vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Im August 2019 fand die Summer School on Applied Mathematics and Mechanics (SAMM) der GAMM Juniors an der Leibniz Universität Hannover statt. In diesem Jahr wurden dort Raum-Zeit-Finite-Elemente-Methoden für parabolische und hyperbolische Erhaltungsgleichungen behandelt. Für die GAMM Juniors berichtet Philipp Morgenstern in dieser Ausgabe von der Tagung.

Traditionell schreiben in der Frühjahrsausgabe des GAMM-Rundbriefes die aktuell existierenden GAMM-Fachausschüsse über ihre Aktivitäten des vergangenen Jahres. Derzeit hat die GAMM 17 aktive Fachausschüsse. Hinweisen möchten wir auch wieder auf die Ausschreibung des Richard-von-Mises-Preises auf S.41; der Stichtag für Nominierungen ist der 30. September 2020.

Als Herausgeber des Rundbriefes bedanken wir uns herzlich bei den Autorinnen und Autoren für Ihre Beiträge. Für weitere Anregungen zur Gestaltung des GAMM-Rundbriefes und die Einsendung von Beiträgen schicken Sie bitte eine E-Mail an daniel.balzani@rub.de (Mechanik) oder axel.klawonn@uni-koeln.de (Mathematik).

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

Köln und Bochum im Januar 2020
Axel Klawonn und Daniel Balzani

P.S.: Liebe GAMM-Mitglieder,
mit dieser Ausgabe des GAMM-Rundbriefes übernehme ich die Aufgabe als Mit-Herausgeber von meinem Kollegen Jörg Schröder. Ich freue mich sehr auf diese neue Herausforderung und schaue zuversichtlich auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Kollegen Axel Klawonn, der GAMM-Geschäftsstelle sowie allen zukünftigen Autoren.

Daniel Balzani

EFFEKTIVE THEORIEN UND ENERGIE MINIMIERENDE KONFIGURATIONEN FÜR HETEROGENE SCHICHTEN

VON BERND SCHMIDT

Heterogene Schichten mit Verspannungen

Motiviert durch experimentelle Beobachtungen an dünnen heterogenen Schichten untersuchen wir effektive Modelle für solche Systeme und energetisch optimale Konfigurationen in Plattentheorien mit internen Verspannungen. Das einfachste Beispiel einer solchen Struktur ist der klassische (zweidimensionale) Bimetallstreifen, der sich aus zwei der Länge nach verbundenen Streifen unterschiedlicher Materialien mit verschiedenen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zusammensetzt. Durch Erhitzen oder Abkühlung entwickeln sich aufgrund inkompatibler Ruhelagen interne Verspannungen, so dass die flache Referenzkonfiguration nicht länger energetisch optimal ist und sich der Streifen durchbiegt, um seine elastische Energie zu verringern, s. Abb. 1.

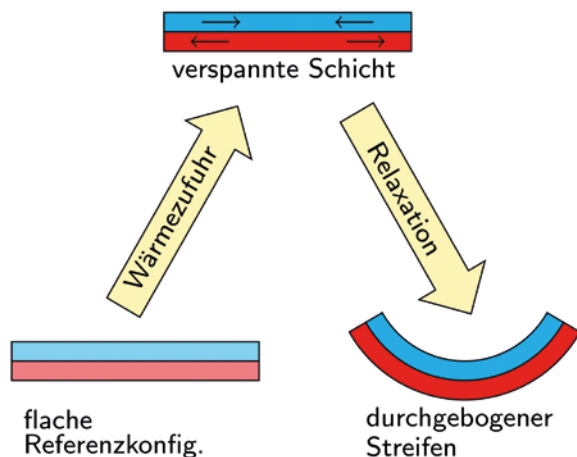


Abb. 1: Durchbiegen eines Bimetalls, in dem sich das rote Material durch Wärmezufuhr spannungsinduziert stärker ausdehnt als das blaue.

Effektiv kann dieses Verhalten sogar durch ein eindimensionales Energiefunktional für die Auslenkung der Mittellinie modelliert werden, das einen temperaturabhängigen spontanen Krümmungsterm aufweist.

Wir betrachten im Folgenden nun dünne dreidimensionale Schichten, deren laterale Dimensionen wesentlich größer

sind als ihre geringe Höhe und deren flache Referenzkonfiguration interne Verspannungen aufweist. Wie eingangs erwähnt können solche Verspannungen thermische Ursachen haben (durch inhomogene Ausdehnungskoeffizienten wie im Bimetallstreifen aber auch durch Temperaturgradienten in homogenen Materialien). In biologischen Materialien wie beispielsweise Pflanzenblättern etwa kann Wachstum oder Schwellung von Gewebe die Ursache einer solchen Verspannung sein. Im Besonderen interessieren wir uns im Folgenden für epitaktisch gewachsene Zwei- oder auch Mehrschichtsysteme, in denen eine Fehlpassung in den Gitterkonstanten zu internen Verspannungen führt.

In der Tat ist die Situation für (effektiv zweidimensionale) Platten wesentlich interessanter als für (effektiv eindimensionale) Streifen. Beobachtungen zeigen, dass die Geometrie optimaler Konfigurationen von der Stärke der Verspannung und dem Aspektverhältnis abhängt: Starke Verspannungen in sehr dünnen Schichten führen zu zylindrischen Konfigurationen, während schwächere Verspannungen in dickeren Platten zu sphärischen Formen führen, vgl. etwa [MN:93, SM:95, FS:96, Fr:00, EKL:16]. Die übliche Erklärung hierfür ist, dass lokal durch eine sphärische Verformung der größte Energiebeitrag freigesetzt wird. Ist jedoch das Aspektverhältnis sehr klein, die lateralen Dimensionen also viel größer als die Schichtdicke, so führt dies zu geometrischen Inkompabilitäten: Eine nichtverschwindende Gauß-Krümmung induziert eine Änderung der Metrik und damit den viel zu hohen Anteil einer elastischen Membranenergie. Zylindrische Konfigurationen dagegen führen nicht zu solchen Inkompabilitäten. Im Folgenden soll dieses Phänomen auf der Grundlage von rigoros hergeleiteten effektiven Modellen untersucht werden.

Ein genaues Verständnis dieses Mechanismus, durch den eine Fehlpassung von Ruhelagen in mechanische Verformung umgewandelt wird, ist nun nicht nur von rein mathematischem Interesse. In Anwendungen hat sich dieser Zugang erfolgreich erwiesen bei der Manipulation von Objekten auf einer weiten Skala von Größenordnungen bis in den Nanometerbereich. Schmidt und Eberl sowie Prinz, Grützmaker, Beyer, David, Ketterer und Deccard nutzten dies schon 2001 zu einem neuartigen Verfahren zur selbstorganisierten Herstellung von Nanoröllchen, [SE:01, PGBD-KD:01]: Vom Substrat etwa durch Ätzung einer Opferschicht gelöst, rollen sich die Schichten spannungsinduziert zusammen, s. Abb. 2.

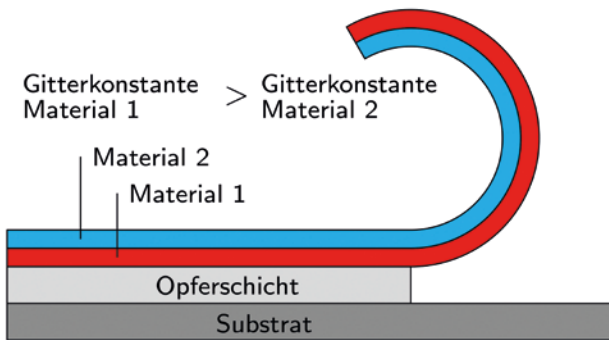


Abb. 2: Aufrollen durch epitaktisches Wachstum verspannter Schichten. (Nach [SE:01].)

Durch Dünnschichtepitaxie können heterogene Filme mit nur wenigen Atomlagen und damit Röllchen im Nanometerbereich hergestellt werden, s. [SE:01, PGBHW:06, Gr:06] sowie Abb. 3.

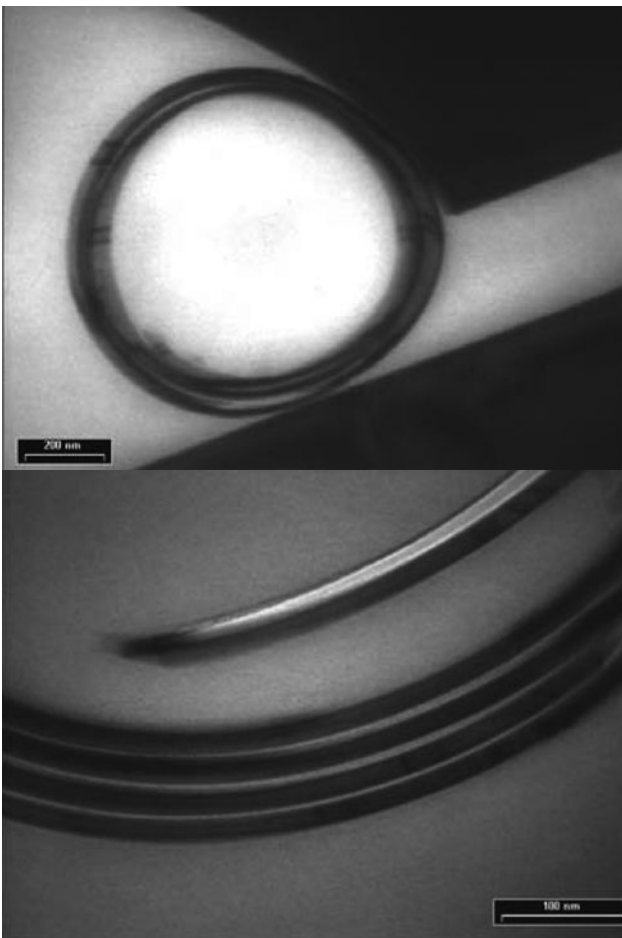


Abb. 3: TEM Querschnitt und Ausschnitt aus einem TEM Querschnitt einer in 100-Richtung aufgerollten BGaAs 7 nm/InGaAs 9 nm Doppelschicht (erhalten durch metall-organische Dampfphasenepitaxie). Aus [PGBHW:06, S. 821], Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduziert mit freundlicher Genehmigung.

Im Gegensatz hierzu beobachtet man bei dickeren Schichten oder weniger stark ausgeprägter interner Verspannung nicht zylindrische Konfigurationen sondern Kugelkappen, s. z.B. Abb. 4.

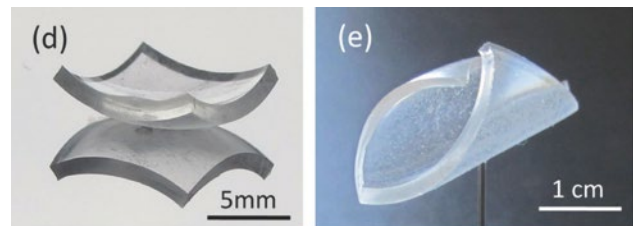


Abb. 4: Sphärische und zylindrische Deformation in intern verspanntem Polydimethylsiloxanfilm in Abhängigkeit von der Probengröße. Aus [EKL:16, S. 46], Copyright Royal Society of Chemistry. Reproduziert freundlicher Genehmigung.

Gemeinsam ist diesen Beispielen, dass die interne Verspannung in Richtung der kleinen Höhe signifikant variieren darf, innerhalb der Ebene jedoch nicht. Dies führt, wie wir unten sehen werden, zu einer vollständigen und letztlich elementaren Analyse von energetisch optimalen Konfigurationen.

Ohne dies im Folgenden zu vertiefen, wollen wir erwähnen, dass freilich auch der hierzu komplementäre Fall, dass Verspannungen inhomogen innerhalb der Ebene sind, dabei aber keine wesentliche Variation entlang der Schichtdicke aufweisen, von Interesse ist. In den letzten Jahren sind solche Funktionale intensiv untersucht wurden, um z.B. das inhomogene Wachstum in Pflanzen (Faltenbildung in Blättern) oder plastische Restdehnungen in Werkstoffen (etwa nahe Risskanten) zu modellieren, s. etwa [SRS:07, LMP:11]. Die resultierenden optimalen Konfigurationen können hochgradig komplexe (Mikro-)Strukturen aufweisen.

Effektive Theorien für dünne Strukturen

Die mathematische Beschreibung von dünnen Strukturen, wie Membranen, Platten, Schalen, Saiten und Stäben ist ein klassisches Problem der Elastizitätstheorie. Neben dem schon erwähnten Interesse aus Sicht der Anwendungen sind im Vergleich zu dreidimensional ausgedehnten Objekten hier auch grundlegend neue Phänomene zu beobachten. Insbesondere lassen sich dünne Schichten schon bei kleiner elastischer Energie stark deformieren. Wesentliche Beiträge zu deren Verständnis lieferten bereits Euler, Germain, D. Bernoulli, Cauchy, Kirchhoff, Love, E. und F. Cosserat sowie von Kármán. In den letzten hundert Jahren wurden diese Entwicklungen vorangetrieben u.a. von Mindlin, Reissner und Timoshenko. Für eine Beschreibung der klassischen Resultate sei auf [Lo:27] verwiesen, für eine umfassende Darstellung auch der neueren Entwicklungen bis zum Ende des letzten Jahrhunderts siehe [Ci:97].

Das wesentliche Ziel all dieser Bemühungen ist es, dimensionsreduzierte Theorien bereitzustellen, deren Variable nicht das volle Deformationsfeld der dreidimensionalen

nichtlinearen Elastizitätstheorie ist. Dünne Platten etwa sollten sich in führender Ordnung durch die Verformung ihrer Mittelebene gut beschreiben lassen. In solcher Weise reduzierte Modelle sind sowohl in theoretischer als auch praktischer Hinsicht von großer Bedeutung. Auf der einen Seite sind sie mathematisch einfacher zu verstehen. Das ist besonders deutlich im Falle von Saiten und Stäben, die effektiv durch Felder auf einem (eindimensionalen) Intervall definiert sind. In variationeller Beschreibung führt dies auf skalare Funktionale, die Gleichgewichtsbedingungen und die dynamische Entwicklung werden durch gewöhnliche anstelle von partiellen Differentialgleichungen beschrieben. Auch Plattentheorien, deren Variable von nur zwei anstatt drei unabhängigen Koordinaten abhängen, sind wesentlich besser zugänglich als die dreidimensionale nichtlineare Elastostatik bzw. Elastodynamik. Dabei führt nicht nur die Reduktion der Anzahl der Variablen zur Vereinfachung, vielmehr weisen etliche effektive Modelle auch eine einfachere Struktur (etwa semilineare Gleichungen statt der quasilinearen Gleichungen der dreidimensionalen nichtlinearen Elastizität) auf.

Tatsächlich wurden für Platten, wie oben schon angedeutet, von einer ganzen Reihe von Autoren unterschiedliche, auch unvereinbare "effektive Theorien" vorgeschlagen. Die Ursache hierfür liegt in den ad hoc-Annahmen an das dreidimensionale Verzerrungsfeld, die in all den klassischen Herleitungen der verschiedensten Plattentheorien gemacht werden. Wird z.B. wie in den unten noch genauer beschriebenen Kirchhoffschen oder von Kármánschen Theorien das effektive Modell durch die Verformung der Mittelebene beschrieben, so legen Ansätze das kinematische Verhalten der dünnen Schicht in der hierzu orthogonalen "dünnen" Richtung fest. Weitere Annahmen können einfließen bei der Beschreibung der mechanischen Eigenschaften. Die aufwändigeren Cosserat-Modelle etwa führen zusätzliche auf der Mittelebene definierte Vektorfelder ein, die das Verhalten außerhalb der Ebene beschreiben.

Es stellt sich so in natürlicher Weise die Frage, ob und welche dieser Theorien unter welchen Voraussetzungen gültig sind und ob sich diese durch rigorose, ansatzfreie Herleitungen aus der dreidimensionalen Theorie rechtfertigen lassen.

Gamma-Konvergenz für homogene Schichten

Erst gegen Ende des letzten Jahrhunderts konnten erste rigorose Ergebnisse erzielt werden. Als besonders fruchtbar erwies sich der Zugang, niederdimensionale Theorien durch ein "Gamma-Konvergenz"-Resultat als einen "Gamma-Limes" der dreidimensionalen Elastizitätstheorie zu identifizieren. Genauer wird dabei gezeigt, dass die – geeignet reskalierten – Energiefunktionale im Limes verschwindender Schichtdicke gegen ein Grenzfunktional im Sinne der sogenannten Gamma-Konvergenz streben, welches dann das Energiefunktional einer effektiven Plattentheorie darstellt. (Grundlagen zur Gamma-Konvergenz findet man z.B. in [Br:02, Kap. 1].) Der

wesentliche "rigorose" Punkt ist dabei, dass sich – allein in Abhängigkeit von der asymptotischen Energieskalierung – ein Limes-Modell ohne alle artifiziellen Annahmen an die dort auftretenden Variablen ergibt. (Heuristisch: Die Gamma-Konvergenz sorgt dafür, dass im Limes nicht berücksichtigte Freiheitsgrade "ausrelaxiert" werden.) Die Gamma-Konvergenz stellt ferner sicher, dass Minimierer des dreidimensionalen Energiefunktionals (auch bei Einwirken bestimmter äußerer Kräfte) gegen Minimierer des Limesfunktionals konvergieren. Grundlegend sind hier die Arbeiten von Acerbi, Buttazzo und Percivale [ABP:91] zu eindimensionalen Saiten, von Anzellotti, Baldo und Percivale [ABP:94] zur Herleitung von Plattentheorien für linear elastische Materialien sowie von Le Dret und Raoult [LR:95] zur Herleitung einer Membrantheorie aus der nichtlinearen dreidimensionalen Elastizitätstheorie. In bahnbrechenden Arbeiten [FJM:02, FJM:06] gelang es dann Friesecke, James und Müller, eine ganze Hierarchie von Plattentheorien aus der dreidimensionalen nichtlinearen Elastizitätstheorie rigoros herzuleiten.

Der Ausgangspunkt ist dabei ein Energiefunktional von der Form

$$E^h(y) = \int_{\Omega_h} W(\nabla y(x)) dx,$$

das die elastische Energie einer Deformation $y : \Omega_h \rightarrow \mathbb{R}^3$ misst. Hierbei ist $W : \mathbb{R}^{3 \times 3} \rightarrow [0, \infty]$ eine Rahmeninvariante nichtdegenerierte (nichtlineare) gespeicherte Energiedichte, die genau auf $SO(3)$ minimal ist und dort auf den Wert 0 normiert ist. $\Omega_h = \omega \times (-h/2, h/2)$ mit $\omega \subset \mathbb{R}^2$, $h \ll 1$ bezeichnet die Referenzkonfiguration der untersuchten dünnen Schicht. Die Stärke der Auslenkungen aus der Ruhelage $y(x) = x$ kann so (bis auf starre Bewegungen) durch deren elastische Energie $E^h(y)$ gemessen werden. Das wesentliche Ziel ist es nun, für eine Folge von Deformationen $y^h : \Omega_h \rightarrow \mathbb{R}^3$ im Limes $h \rightarrow 0$ eine entsprechende Plattendeformation $y : \omega \rightarrow \mathbb{R}^3$ zu identifizieren, die das asymptotische Verhalten von y^h in führender Ordnung beschreibt und deren Energie durch eine geeignete Plattentheorie gegeben ist. Skaliert etwa $E^h(y^h)$ mit h^β , $\beta \geq 1$, so führt das auf die Aufgabe, den Gamma-Limes der reskalierten Funktionale $h^{-\beta} E^h$ zu bestimmen. Für $\beta = 1$, also linear in der Schichtdicke skalierenden Energien, erhielten Le Dret und Raoult in [LR:95] unter geeigneten Annahmen in dieser Weise die schon oben angesprochene effektive Membrantheorie.

Ein Durchbruch im Hinblick auf die weitere Entwicklung gelang Friesecke, James und Müller in [FJM:02]. Mit Hilfe eines neuartigen geometrischen Starrheitsresultats konnte das asymptotische Verhalten der reskalierten Funktionale $h^{-3} E^h$ im Sinne der Γ -Konvergenz bestimmt werden. So ergab sich für Deformationen y^h , deren Energie $E^h(y^h)$ kubisch in der Schichtdicke skaliert, im Grenzwert $h \rightarrow 0$ in rigoroser Weise das Funktional der klassischen Kirchhoffschen Plattentheorie als effektive Theorie. Dieses Funktional misst (hinreichend regulären) Plattendeformationen $y : \omega \rightarrow \mathbb{R}^3$, die isometrische

Immersionen sind (und deren Gauß-Krümmung daher verschwindet), die Biegeenergie

$$E_{\text{ki}}(y) = \frac{1}{24} \int_{\omega} Q(\text{II}(x)) dx,$$

zu, wobei II die zweite Fundamentalform von y und Q eine durch W bestimmte quadratische Form ist.

Diese Analyse wurde in [FJM:06] auf wesentlich allgemeinere Skalierungen $E^h(y^h) \ll h^3$ erweitert. Als variationeller Grenzwert der reskalierten Funktionale $h^{-\beta} E^h$, $\beta > 3$, ergaben sich hier unter geeigneten Voraussetzungen verallgemeinerte von Kármán-Theorien von der Form

$$E_{\text{vK},\beta}(u, v) = \frac{\Lambda_{\beta}}{2} \int_{\omega} Q\left(\frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T + \nabla v \otimes \nabla v)\right) dx + \frac{1}{24} \int_{\omega} Q(\nabla^2 v) dx$$

für geeignet reskalierte Plattenverschiebungskomponenten $u : \omega \rightarrow \mathbb{R}^2$ innerhalb der Ebene und $v : \omega \rightarrow \mathbb{R}$ außerhalb der Ebene. Der Faktor Λ_{β} ist dabei gegeben durch $\Lambda_{\beta} = \infty$ falls $3 < \beta < 5$, $\Lambda_{\beta} = 1$ falls $\beta = 5$ und $\Lambda_{\beta} = 0$ falls $\beta > 5$, so dass der Fall $\beta = 5$ auf das klassische von Kármán-Funktional führt. In den beiden anderen Fällen ergibt sich das lineare Funktional $v \mapsto \frac{1}{24} \int_{\omega} Q(\nabla^2 v(x)) dx$, das im Fall $3 < \beta < 5$ jedoch mit der nichtlinearen Nebenbedingung

$$\nabla u + (\nabla u)^T + \nabla v \otimes \nabla v = 0$$

gekoppelt ist.

Effektive Theorien für Mehrschichtsysteme

Heterogene dünne Platten, die aus geschichteten Materialien unterschiedlicher Eigenschaften bestehen, führen nun zu weiteren Herausforderungen: Zum einen ist ihr effektives elastisches Verhalten durch ein komplexes Zusammenspiel der einzelnen Materialien gegeben. Vor allem aber können unterschiedliche Gitterkonstanten dieser Materialien zu internen Verspannungen führen. Um diese Systeme zu modellieren, betrachten wir nun eine Energiedichte von der Form

$$W_h(x_3, F) = W_0\left(\frac{x_3}{h}, F(I + h^{\alpha} B^h(x_3))\right),$$

die neben der expliziten x_3 -Abhängigkeit von einem "Fehlpassungstensor" $B^h(x_3) = B(x_3/h) + o(1)$ abhängt, der die Abweichung des Energietopfs $\text{argmin} W(x_3, \cdot)$ von den starren Bewegungen $\text{argmin} W_0(x_3/h, \cdot) = \text{SO}(3)$ misst. ($W_0(t, \cdot)$ möge für jedes fixe $t \in (-1/2, 1/2)$ den üblichen Annahmen einer nicht degenerierten homogenen Energiedichte mit Potentialtopf bei $\text{SO}(3)$ genügen.)

Die Kirchhoff-Theorie. Für $\alpha = 1$ sind die internen Verspannungen und die hieraus resultierenden Verzerrungen von der Größenordnung h , so dass sich die Kirchhoffsche

Energieskalierung h^3 als richtige (einzig nicht-triviale) Skalierung herausstellt. (Auf der Skala h^{β} , $\beta < 3$, sind die Verspannungen nicht sichtbar, auf höheren Skalierungen h^{β} , $\beta > 3$, führen die Verspannungen i.A. zu unendlich großen Beiträgen.) Als effektives Energiefunktional für die reskalierten Funktionale $h^{-3} E^h$ ergibt sich ein "verspanntes" Kirchhoffsches Funktional

$$E_{\text{Ki}}^{\text{versp}}(y) = \frac{1}{24} \int_{\omega} Q^*(\text{II}(x) - F_0) dx + \text{const},$$

auf isometrischen Immersionen y mit positiv definierter quadratischer Form Q^* auf $\mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}$ und spontanem Krümmungsterm $F_0 \in \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}$, die beide durch W_0 und die asymptotische Fehlpassung B explizit bestimmt sind, vgl. [Sch:07b].

Für $\alpha > 1$ ist die zugehörige (einzig nicht-triviale) Reskalierung der Funktionale durch $h^{-\beta}$ mit $\beta = 2\alpha + 1$ gegeben. Die Aufgabe besteht also darin, den Γ -Limes von $h^{-2\alpha-1} E_h$ zu identifizieren. In Anlehnung an den homogenen Fall (vgl. [FJM:06]) wird die zugrundeliegende Konvergenz durch die Konvergenz der reskalierten und gemittelten Verschiebungen in und außerhalb der Ebene

$$u_i^h(x_1, x_2) = (\sqrt{\theta} h)^{-\gamma} \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} (R^{hT} y^h(x) - c^h)_i - x_i dx_3,$$

$$v^h(x_1, x_2) = (\sqrt{\theta} h)^{1-\alpha} \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} (R^{hT} y^h(x) - c^h)_3 dx_3,$$

$i = 1, 2$, für geeignet mittels einer starren Bewegung $(R^h)^T \cdot c^h$ "korrigierte" Deformationen beschrieben, wobei $\gamma = 2(\alpha - 1)$ für $\alpha \in (1, 2]$, $\gamma = \alpha$ für $\alpha \geq 2$ und $\theta = 1$ sei für $\alpha \neq 2$.

Es ergeben sich – in Analogie zum homogenen Fall – drei verschiedene Grenzregime für $\alpha > 1$, vgl. [dBS:19a]:

Die linearisierte Kirchhoff-Theorie. Für $\alpha \in (1, 2)$ ist der Γ -Limes

$$E_{\text{IKi}}^{\text{versp}}(v) = \frac{1}{2} \int_{\omega} Q^*(\nabla^2 v(x) - F_0) dx + \text{const},$$

für genügend reguläre $v : \omega \rightarrow \mathbb{R}$ mit $\det \nabla^2 v \equiv 0$ (und $= +\infty$ sonst), wobei Q^* und F_0 wie oben sind. (Die Verschiebung in der Ebene ist – bis auf infinitesimale starre Bewegungen – durch $\nabla u + (\nabla u)^T + \nabla v \otimes \nabla v = 0$ festgelegt.)

Die linearisierte von Kármán-Theorie. Für $\alpha \in (2, \infty)$ ist der Γ -Limes

$$E_{\text{ivK}}^{\text{versp}}(u, v) = \frac{1}{2} \int_{\omega} q\left(\frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T), \nabla^2 v\right) dx$$

für genügend reguläre $v : \omega \rightarrow \mathbb{R}$, $u : \omega \rightarrow \mathbb{R}^2$ (und $= +\infty$ sonst), wobei q die quadratische Funktion

$$q(E, F) = Q^0(E - \mathcal{L}F - E_0) + Q^*(F - F_0) + \text{const}$$

auf $(\mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2})^2$ ist mit einer weiteren positiv definiten quadratischen Form Q^θ , linearen Abbildung $\mathcal{L}: \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2} \rightarrow \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}$ und einer Konstante $E_\theta \in \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}$.

Die von Kármán-Theorie. Für $\alpha = 2$ bestimmen wir den Γ -Limes mit dem zusätzlichen Parameter $\theta \in (0, \infty)$, der als eine weitere "Feinskala" zur Messung des Aspektverhältnisses interpretiert werden kann: Die typischen Verschiebungen innerhalb der Ebene sind (wegen $\gamma = 2$) von der Größenordnung θh^2 , die typischen Verschiebungen außerhalb der Ebene sind (wegen $\alpha - 1 = 1$) von der Größenordnung $\theta^{1/2} h$.

Tatsächlich können wir hierdurch zwischen der linearisierten von Kármán-Theorie und der linearisierten Kirchhoff-Theorie interpolieren, s.u. Im Grenzwert $h \rightarrow 0$ (bei fixem $0 < \theta < \infty$) ergibt sich der Gamma-Limes.

$$E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}}(u, v) = \frac{1}{2} \int_{\omega} q \left(\sqrt{\theta} \left(\frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)^T) + \frac{1}{2} \nabla v \otimes \nabla v, \nabla^2 v \right) dx, \right.$$

für genügend reguläre $v: \omega \rightarrow \mathbb{R}$, $u: \omega \rightarrow \mathbb{R}^2$ (und $= +\infty$ sonst) mit q wie oben.

Zu all diesen Γ -Konvergenzresultaten können entsprechende Kompaktheitseigenschaften beschränkter Energie-Folgen nachgewiesen werden, so dass (Fast-)Minimierer von $h^{-2\alpha-1} E_h$ gegen Minimierer der Grenzfunktionale konvergieren.

Im prototypischen Fall eines homogenen Materials mit linearer Fehlpassung vereinfacht sich das von Kármán-Funktional zu

$$\begin{aligned} E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}}(u, v) &= \frac{\theta}{2} \int_{\omega} Q \left(\frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)^T + \nabla v \otimes \nabla v) \right) dx \\ &\quad + \frac{1}{24} \int_{\omega} Q(\nabla^2 v - I) dx \quad (*) \end{aligned}$$

mit der aus dem homogenen Fall bekannten, bei 0 zentrierten quadratischen Form Q . In dieser Form zeigt sich besonders deutlich – was auch im allgemeinen Fall richtig ist – wie der Parameter θ in der von Kármán-Skalierung zwischen den beiden anderen Funktionalen interpoliert. Im Hinblick auf die unterschiedliche Geometrie von Energieminimierern in diesen Regimes ist daher das folgende Ergebnis von Bedeutung, vgl. [dBS19a]: Im Sinne der Γ -Konvergenz gilt

$$E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}} \xrightarrow{\theta \rightarrow \infty} E_{\text{lKi}}^{\text{versp}} \quad \text{sowie} \quad E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}} \xrightarrow{\theta \rightarrow 0} E_{\text{lvK}}^{\text{versp}}.$$

Auch die nötigen Kompaktheitseigenschaften, um die Konvergenz von Minimierern zu garantieren, gelten.

Energie minimierende Konfigurationen

Die erhaltenen Plattentheoriefunktionale sollen nun auf ihre Minimierer untersucht werden.

Kirchhoff-Theorie. Die Minimierer von $E_{\text{lKi}}^{\text{versp}}$ sind Zylinderausschnitte. Ihre (konstante) zweite Fundamentalform ist charakterisiert durch $\text{II} \in \mathcal{N}$, wobei

$$\mathcal{N} := \text{argmin}\{Q^*(F - F_0) : F \in \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}, \det F = 0\},$$

s. [Sch:07a, Sch:07b]. (Die Berechnung optimaler Durchmesser und Rollrichtungen bei vorgegebener Zylindergeometrie findet sich bereits in [Gr:03].)

Für $\beta > 3$ ist die Geometrie der Deformationen in führender Ordnung durch den Graphen der Verschiebung v außerhalb der Ebene gegeben, da ja – nach Zurückskalierung auf das physikalische Gebiet Ω_h , $h \ll 1$, die ursprüngliche Verschiebung gegeben ist durch

$$(x_1, x_2) \mapsto \left((\sqrt{\theta} h)^\gamma u(x_1, x_2), (\sqrt{\theta} h)^{\alpha-1} v(x_1, x_2) \right),$$

wobei $\gamma > \alpha - 1$ ist. Wir beschränken uns daher im Folgenden auf die v -Komponente. Für die Geometrie von Energieminimierern ergibt sich das folgende Bild, vgl. [dBS:19b].

Linearisierte Kirchhoff-Theorie. Die Minimierer von $E_{\text{lKi}}^{\text{versp}}$ sind – bis auf einen affinen Summanden – von der Form

$$v(x) = \frac{1}{2} x^T F x, \quad F \in \mathcal{N}.$$

Wegen $\det F = 0$ sind dies degeneriert parabolische Konfigurationen (infinitesimale Zylinderausschnitte).

Linearisierte von Kármán-Theorie. Die Minimierer von $E_{\text{lvK}}^{\text{versp}}$ sind von der Form

$$v(x) = \frac{1}{2} x^T F_0 x$$

mit explizit gegebenem $F_0 \in \mathbb{R}_{\text{sym}}^{2 \times 2}$. v ist eindeutig bis auf affine Transformationen. F_0 ist hier i.A. nicht degeneriert, so dass sich allgemeine parabolische Konfigurationen ergeben. Im prototypischen Fall (*) mit $F_0 = I$ sind dies infinitesimale Kugelkappen.

Von Kármán-Theorie. Für die von Kármán-Funktionale mit dem zusätzlichen Feinstrukturparameter θ ist eine explizite Lösungsformel für ihre Energieminimierer wohl nicht zu erwarten. Als Konsequenz der oben erwähnten Γ -Konvergenzresultate lässt sich jedoch das asymptotische Verhalten der optimalen Konfigurationen ablesen: Sind (u^θ, v^θ) Minimierer von $E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}}$, so konvergiert

- v^θ für $\theta \rightarrow \infty$ (modulo affiner Transformationen und Auswahl einer Teilfolge) gegen einen Minimierer von $E_{\text{lKi}}^{\text{versp}}$, also eine ausgeartete Parabel, und
- (u^θ, v^θ) für $\theta \rightarrow 0$ (modulo starrer Bewegungen bzw. affiner Transformationen) gegen einen Minimierer von $E_{\text{lvK}}^{\text{versp}}$, also eine allgemeine Parabel.

Schließlich wollen wir die Minimierer von $E_{\text{vK}(\theta)}^{\text{versp}}$ im prototypischen Beispiel (*) durch numerische Simulationen untersuchen, s. [dBS:19b]. Um ein Problem erster Ordnung

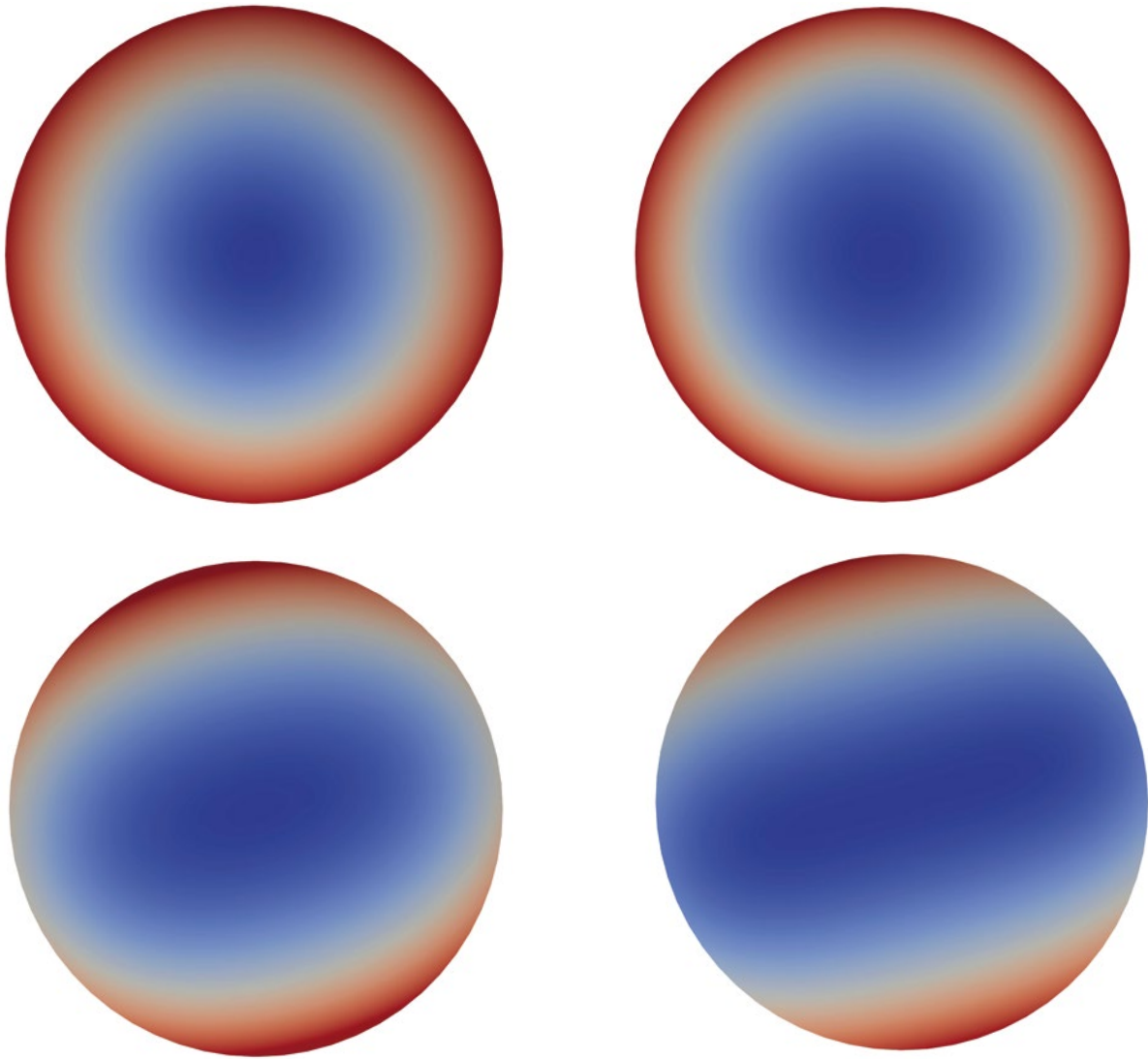


Abb. 5: Finale Konfigurationen nach Gradientenabstieg beginnend mit einer flachen Scheibe von oben betrachtet. Von links nach rechts und oben nach unten: $\theta = 1,81,91$ und 150 . Die Farbe gibt den Betrag der Verschiebung an, von blau im Minimum bis rot am Maximum.

zu erhalten, wurde hier der Gradient der Verschiebung außerhalb der Ebene als unabhängige Variable substituiert und deren Rotationsfreiheit durch einen Penalisierungsterm sichergestellt. Die (diskreten) Minimierer wurden dann mit einem projizierten Gradientenabstiegsverfahren berechnet. Um sicherzustellen, dass die berechneten Minimierer im Grenzwert feiner Gitter gegen die gesuchten optimalen Konfigurationen konvergieren, wurde gezeigt, dass die diskretisierten Funktionale im Grenzwert kleiner Gitter tatsächlich im Sinne der Γ -Konvergenz gegen das Ausgangsfunktional streben.

Tatsächlich ergaben sich bemerkenswerte Ergebnisse in Bezug auf die Abhängigkeit vom Interpolationsparameter: Die numerischen Experimente zeigen einen stark lokalisierten "Phasenübergang" von einer symmetrisch aufgebogenen Kappe zu einem Zylinderausschnitt, s. Abb. 5, vgl. [dBS:19b].

Literatur

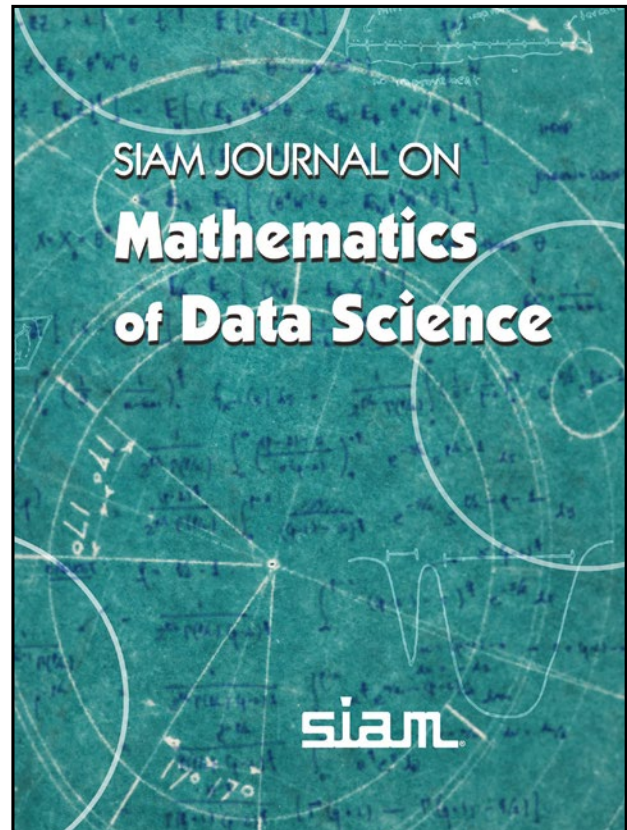
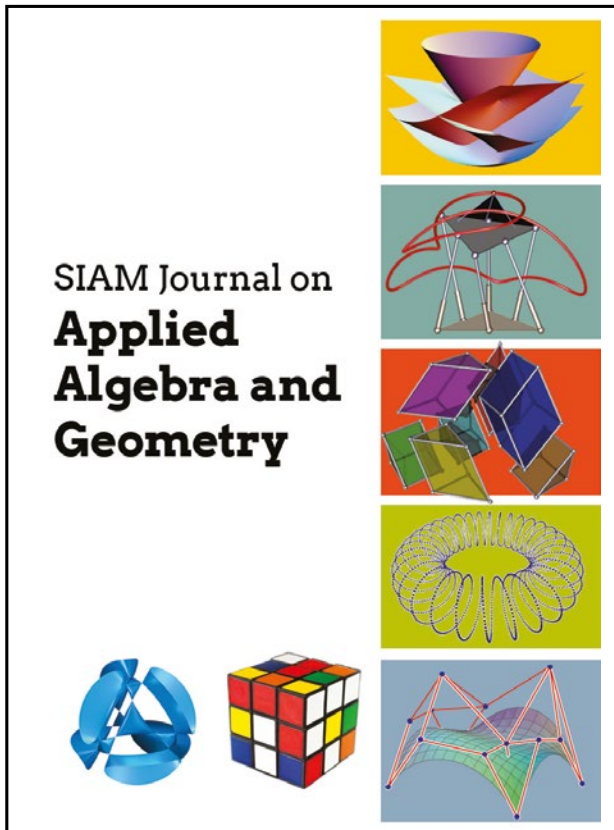
- [ABP:91] E. Acerbi, G. Buttazzo, D. Percivale. A variational definition of the strain energy for an elastic string. *J. Elasticity* 25, 137–148, 1991.
- [ABP:94] G. Anzellotti, S. Baldo, D. Percivale. Dimension reduction in variational problems, asymptotic development in Γ -convergence and thin structures in elasticity. *Asymptotic Anal.* 9, 61–100, 1994.
- [Br:02] A. Braides: Γ -convergence for beginners. Oxford University Press, Oxford 2002.
- [Ci:97] P. G. Ciarlet. *Mathematical elasticity. Vol. II. Theory of plates.* North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1997.
- [dBS:19a] M. de Benito Delgado, B. Schmidt. A hierarchy of multilayered plate models. Submitted 2019. Preprint at <https://arxiv.org/abs/1905.11292>
- [dBS:19b] M. de Benito Delgado, B. Schmidt. Energy minimising configurations of pre-strained multilayers. Submitted 2019. Preprint at <https://arxiv.org/abs/1907.00447>

- [EKL:16] A. I. Egunov, J. G. Korvink, V. A. Luchnikov. Polydimethylsiloxane bilayer films with an embedded spontaneous curvature. *Soft Matter*, 12, 45–52, 2016.
- [FS:96] M. Finot and S. Suresh. Small and large deformation of thick and thin-film multi-layers: Effects of layer geometry, plasticity and compositional gradients. *J. Mech. Phys. Solids*, 44, 683–721, 1996.
- [Fr:00] L. B. Freund. Substrate curvature due to thin film mismatch strain in the nonlinear deformation range. *J. Mech. Phys. Solids*, 48, 1159–1174, 2000.
- [FJM:02] G. Friesecke, R. D. James, S. Müller. A theorem on geometric rigidity and the derivation of nonlinear plate theory from three-dimensional elasticity. *Comm. Pure Appl. Math.* 55, 1461–1506, 2002.
- [FJM:06] G. Friesecke, R. D. James, S. Müller. A hierarchy of plate models derived from nonlinear elasticity by Gamma-convergence. *Arch. Rational Mech. Anal.* 180, 183–236, 2006.
- [Gr:03] M. Grundmann. Nanoscroll formation from strained layer heterostructures. *Appl. Phys. Lett.* 83, 2444–2446, 2003.
- [Gr:06] M. Grundmann. *The Physics of Semiconductors: An Introduction Including Devices and Nanophysics*. Springer, Berlin · Heidelberg, 2006.
- [LR:95] H. Le Dret, A. Raoult. The nonlinear membrane model as a variational limit of three-dimensional elasticity. *J. Math. Pures Appl.* 74, 549–578, 1995.
- [LMP:11] M. Lewicka, L. Mahadevan, M. R. Pakzad. The Föppl-von Kármán equations for plates with incompatible strains. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A*, 467, 402–426, 2011.
- [Lo:27] A. E. H. Love. *A treatise on the mathematical theory of elasticity*. Cambridge University Press, Cambridge, 1927.
- [MN:93] C. B. Masters, N. Salamon. Geometrically nonlinear stress-deflection relations for thin film/substrate systems. *Int. J. Eng. Sci.*, 31, 915–925, 1993.
- [PGBD-KD:01] V. Y. Prinz, D. Grützmacher, A. Beyer, C. David, B. Ketterer, E. Deccard. A new technique for fabricating three-dimensional micro- and nanostructures of various shapes. *Nanotechnology* 12, 399–402, 2001.
- [PGBHW:06] H. Paetzelt, V. Gottschalch, J. Bauer, H. Herrmberger, G. Wagner. Fabrication of A(III)-B(II) nano- and microtubes using MOVPE grown materials. *Phys. Stat. Sol. (A)* 203, 817–824, 2006.
- [Sch:07a] B. Schmidt. Minimal energy configurations of strained multi-layers. *Calc. Var. Partial Diff. Eq.* 30, 477–497, 2007.
- [Sch:07b] B. Schmidt. Plate theory for stressed heterogeneous multilayers of finite bending energy. *J. Math. Pures Appl.* 88, 107–122, 2007.
- [SE:01] O. Schmidt, K. Eberl. Thin solid films roll up into nanotubes. *Nature* 410, 168, 2001.
- [SM:95] N. Salamon, C. B. Masters. Bifurcation in isotropic thinfilm/substrate plates. *Int. J. Solids Structures*, 32, 473–481, 1995.
- [SRS:07] E. Sharon, B. Roman, H. L. Swinney. Geometrically driven wrinkling observed in free plastic sheets and leaves. *Phys. Rev. E* 75, 046 211–046 217, 2007.



Bernd Schmidt ist seit 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Nichtlineare Analysis an der Universität Augsburg. Er studierte Mathematik an der Freien Universität Berlin und an der Indiana University in Bloomington, USA. Als Doktorand am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften promovierte er an der Universität Leipzig 2006. Von 2006 bis 2007 war er PostDoc am California Institute of Technology in Pasadena, USA, von 2007 bis 2011 zunächst wissenschaftlicher Mitarbeiter dann Juniorprofessor für Angewandte Analysis an der TU München. Seine Forschungsinteressen liegen vor allem im Bereich der Variationsrechnung mit ihren Anwendungen in der mathematischen Kontinuumsmechanik, insbesondere der Elastizitätstheorie, der Bruchmechanik und der Analyse von Mehrskalensystemen und atomistischen Systemen.

Happy Anniversary to SIAM's two newest journals!



Access papers and submit your own work at
siaga.siam.org • simods.siam.org

Join us in marking the three-year anniversary of SIAGA and the one-year anniversary of SIMODS by reading articles and submitting a paper of your own.

siam | Society for Industrial and Applied Mathematics

Learn more about SIAM journals: siam.org/journals

PHASE-FIELD MODELING OF ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS

BY BAI-XIANG XU AND YANGYIWEI YANG

Abstract

Additive manufacturing (AM) refers to the jointing of materials to assemble objects, usually layer by layer, from 3D virtual prototypes. Beside the merits of high cost/time efficiency, individuality and complexity, AM allows for microstructure control and thus a new design route of materials with desired mechanical and functional properties. But, the wide application of AM is currently limited by quality issues of the final component including insufficient hardness and susceptibility to fracture due to distortion, crack, and porosity. The process-microstructure-property relation in general is hardly understood due to various interactive physics and should be extracted from massive data obtained by physical modeling and simulation, complimentary to the limited experimental data. A unified modeling scenario considering interactions among the transient heat transfer, melt flow dynamics and microstructure evolution is thereby essential for a thermodynamically consistent description and thus reliable microstructure and property prediction. A non-isothermal phase-field model is discussed in the contribution, which goes beyond the state of the art where either individual physics is considered or the thermal history is taken as input from separate numerical schemes. Simulation examples on stainless steel 316L powder bed demonstrate that the model can reproduce not only well-observed features, but also help to discover new in-process phenomena and reveal the defect formation mechanisms. Based on massive parameter study, we present the densification map w.r.t. beam power and scan speed, and classified the regions of the parameter combination by the distinct resultant morphology.

Additive Manufacturing

Additive manufacturing is referred to as a process of joining materials for directly constructing objects from 3D virtual prototypes, and is also generally called 3D printing. As a revolutionary alternative to conventional subtractive or forming manufacturing methods, Powder Bed Fusion (PBF) is an AM process for the construction of metal, polymer or even ceramic components, in which thin layers of powder are deposited and scanned selectively by laser or electron beams according to the digital prototype. Depending on the energy absorption, the fusion process can be sintering dominant (Selective Sintering or SS) or melt-resolidification dominant (Selective Melting, or SM). As illustrated in Fig. 1, the selective melting AM process involves complex

physical effects, including densification, grain growth, melting, and resolidification, all of which take place not in a controlled isothermal environment as in conventional process but under the extreme short thermal circle, featuring high-gradient temperature profile and rapid heating and cooling rates. These involved effects cover also a broad range of time and length scales. Material transformations take place locally on short time scales, but parts have macroscopic scales and the building process takes hours or even days. Experimental efforts focus on optimization of the process parameters related to the energy beams and the powder materials and they have achieved important progress. Nevertheless, these researches are often based on trial-and-error principle, which are time/cost consuming and from which it is difficult to derive directly transferable fundamental insights into the process-microstructure-property relations.

Modeling and simulation of the PBF-AM process offer an efficient and flexible alternative for further investigations. As summarized in the recent reviews [1], [2], various approaches have been studied for the characterization and simulation of PBF-AM processes on different length scales. On the mesoscopic scale of powders the simulations play indubitably a crucial role to reveal direct linkage between the process parameters and the resultant microstructure and thus property. Various simulations have been carried out, including melt pool dynamics study based on Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations or on Lattice Boltzmann (LB) simulations as well as pore and grain structure simulation based on cellular automata (CA) coupled with LB method. They are very helpful to understand the relation between the process parameter and the related microstructure aspects. However, these simulations are mostly subject to strong simplifications and segregated modeling schemes, considering either only selected aspects or only the thermal history as input from separate numerical schemes. In fact, the heat transfer and thus melt pool are sensitive to the powder bed morphology, and have strong local impact on melting, resolidification, pore/bubble evolution and grain growth. In return, the evolving microstructure changes the local thermal conductivity and the melt flow transports heat. It thus requires a unified modeling approach to derive a thermodynamically consistent model covering the interactions of the heat-melt-microstructure.

One promising approach is the phase-field modeling based on the general concept of energy variation formulation

[3]–[5]. Thanks to the merits including generality of the theoretical framework, straightforward numerical implementation and flexible coupling of multi-physics, phase-field models have been extensively developed for the study of solidification [3], grain growth [6], solid-state sintering [7], and fluid dynamics [8]. Surprisingly, very few phase-field efforts have been made to model AM process, and they are mostly limited to individual microstructure aspects. Krivlyov et al. [9] presented phase-field simulations based on their multiphase flow model to study the powder consolidation behavior, but without explicit thermal information of AM. Zhang et al. [10] directly adopted the phase-field model constructed under an isothermal condition, while the heat transfer and the coupled non-isothermal microstructure evolution are not addressed. In 2018 Lu et al. [11] made the first attempt to construct a unified phase-field model of melting, resolidification and grain structure for-

mation under an evolving temperature field in a spatially resolved powder bed. Their 2D simulations demonstrated that the model can reproduce many important microstructure phenomena observed experimentally. But, the thermodynamic consistency of the model seems questionable, since its derivation starts from a free energy functional of the isothermal case with certain temperature-dependent parameters added ad hoc, which leads to an incomplete consideration of the impact of the temperature and its gradient on the microstructure. Moreover, the model disregards the fluid dynamics of the melt pool. In recent decades, the phase-field method has been successfully applied to modeling the multi-fluid phase problems by the so-called Navier-Stokes-Cahn-Hilliard (NSCH) system [12] and the Navier-Stokes-Allen-Cahn (NSAC) system [13]. It implies the possibility of developing a unified and thermodynamically consistent phase-field modeling for the PBF-AM.

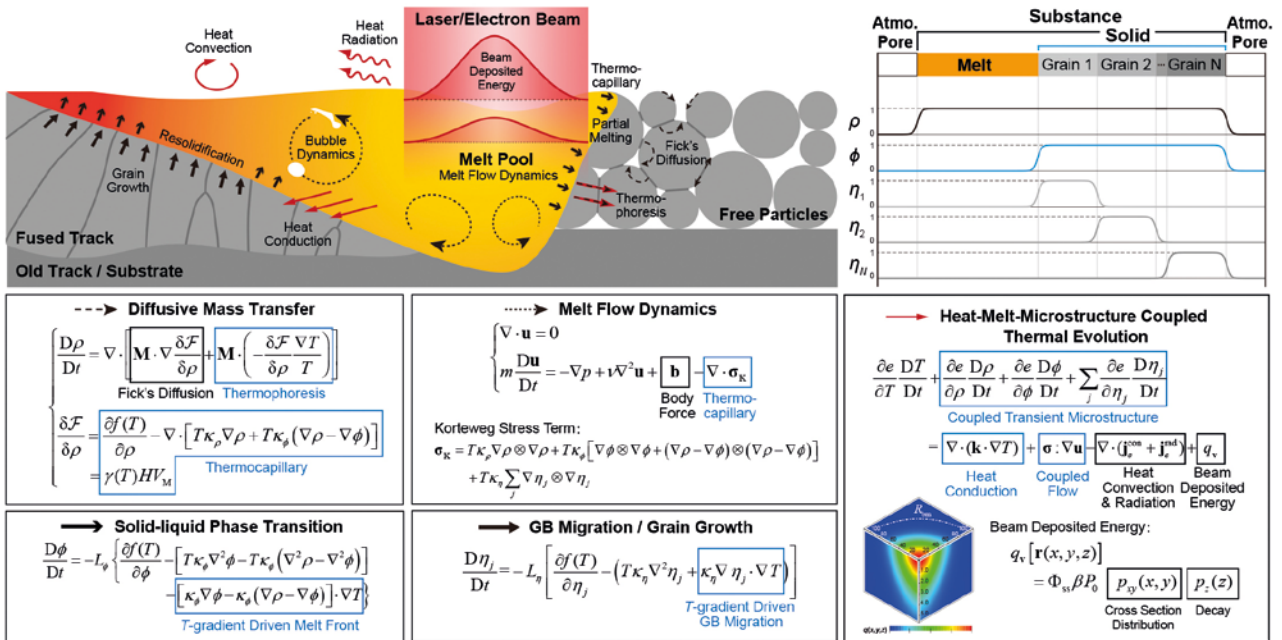


Fig. 1: Interactive physical processes during AM (top left), the order parameters of the non-isothermal phase-field model (top right) and the complete set of kinetic system with non-conventional contributions by temperature gradient and by interactions with microstructure.

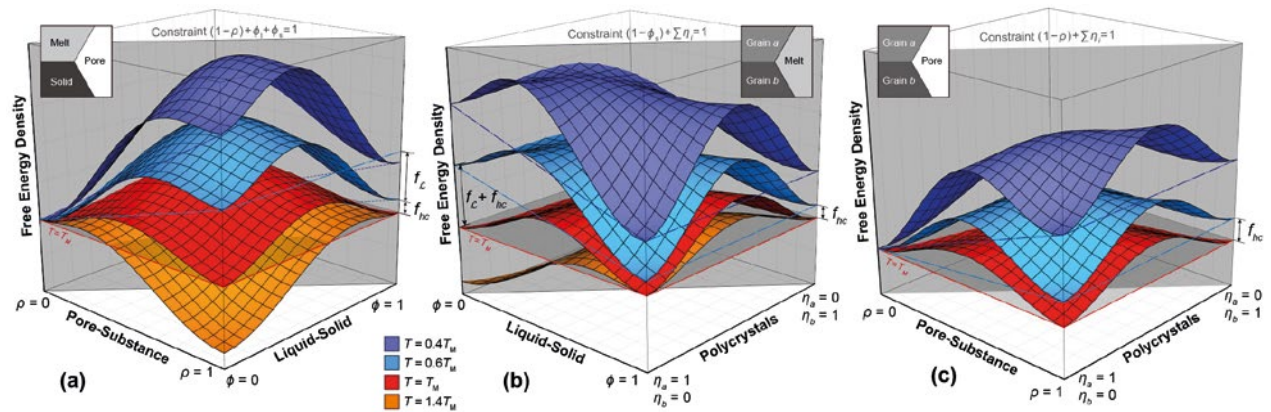


Fig. 2: Temperature dependency of the free energy density.

Non-isothermal Phase-field Model and Finite Element Simulation

In general, phase-field models apply order parameters (OP) to represent the microstructure (pore/liquid/solid phases, grains, or even solid-state phases). The OPs take different constant values in different regions and have rapid spatial variation across the interfaces. The microstructure and its evolution are thus recaptured by the distribution of the order parameters in space and time, with no need of interface tracking. For SM simulation of polycrystal, we use a conserved OP ρ to represent the substance and atmosphere/pores; a non-conserved OP ϕ to represent the solid and melt, respectively; and a series of non-conserved OPs $\{\eta_j\}$ to represent the orientation variants of the polycrystal. Their profiles are illustrated in top right inset of Fig. 1.

One can also naturally include thermodynamic quantities (like temperature or internal energy) and mechanical fields. The evolution equations of the OPs and the conjugated quantities of the state variables can be obtained from the variational derivative of a thermodynamic potential functional. In the isothermal case it is sufficient to consider the free energy functional as the potential. But in the non-isothermal case the entropy functional should be directly regarded, because a thermodynamic consistent phase-field model requires not only a temperature-dependent free energy functional but also a kinetic system which should include explicitly the driving force contribution by the local temperature gradient, a significant feature of AM. We presented hence in [14] a Ginzburg-Landau-type entropy functional, which contains the local (bulk and phase) contributions and the spatial gradient terms of the OPs as an entropy penalty of interfaces, i.e.

$$S = \int \left[s_{\text{loc}}(e, \rho, \phi, \{\eta_j\}) - \frac{1}{2} \kappa_\rho |\nabla \rho|^2 - \frac{1}{2} \kappa_\phi |\nabla \phi|^2 - \frac{1}{2} \kappa_\eta \sum_j |\nabla \eta_j|^2 \right] d\Omega.$$

We also develop useful algorithm to determine the material parameters in the free energy from measurable experimental data like the temperature dependent interface and surface energy. From the Legendre transformation we arrive at a non-isothermal free energy functional. While mathematical formulations can be found in [14], Fig. 2 demonstrates its temperature dependency. For instance, when local temperature meets the thermal conditions of melting (i.e. overheating) and resolidification (i.e. undercooling), vast tilting of the multi-well on the side of the liquid phase can be observed. On the other hand, grains at the same temperature should maintain equal in local thermodynamic stability. Considering this free energy and the kinetic energy of melt flow in the first and second law of thermodynamics as well as the energy and mass conservation law and momentum balance, we arrive at a kinetic system, summarized in the bottom rows of Fig. 1. It covers distinct underlying physical processes, i.e. diffusive mass transfer, solid-liquid phase-transition, grain boundary GB migration and grain growth, melt flow dynamics, and, last but not the least, a heat-melt-microstructure coupled

temperature evolution. In particular, the non-conventional contributions related to the temperature gradient and the coupling physics are highlighted in blue, for instance, the thermocapillary, thermophoresis, temperature-gradient-driven grain boundary migration, and the microstructure-coupled heat equation.

The model is numerically implemented via the finite element method (FEM) within the program NISO developed by the authors based on the MOOSE framework [15]. The Cahn-Hilliard equation is solved using the mixed formulation. Transient solver with preconditioned Jacobian-Free Newton-Krylov method and the backward Euler algorithm have been employed. Adaptive mesh and time-stepping schemes are used to reduce the computation costs, and stabilization methods are applied to numerically handle the Navier-Stokes equations.

To generate the powder bed as the initial condition of the phase-field simulation, the discrete element method (DEM) simulator YADE or random close packing procedure can be used. The heat absorption of the scanning energy beam is modeled as a heat source term. There are different formulations depending on the type of beams. In general, it can be expressed by the nominal beam power reaching the surface of the powder bed with a surface Gaussian distribution and a penetration function.

Generally, the number of non-conserved OPs $\{\eta_j\}$ is required to be the same as the number of the grains to statistically retain the uniqueness of each crystalline orientation. However, such computation is expensive and is inefficient since only a few variables are nonzero at one point in the domain. To solve those problems, grain tracking methods have been proposed. Based on this, we further translate the problem of OPs assignment into a classical minimum coloring problem (MCP) and solve the MCP with the Welsh-Powell algorithm. The workflow of the process is presented in the Supplementary of [16]. In doing so, 8 OPs are sufficient to represent about 200 particles/grains. For another simulation attempt using a loosely packed powder bed with about 400 uniformly sized particles, only 6 OPs are sufficient. In other words, we manage to reduce the number of DOFs remarkably. Moreover, parallel CPU computations are performed with a couple of hundred processors and 2 GByte RAM per processor based on MPI in the Lichtenberg HPC at Hessischen Komptenzentrum für Hochleistungsrechnen at TU Darmstadt.

Application to Selective Melting

The finite element phase-field simulations were carried out for single scan of stainless steel 316L (SS316L) in an argon atmosphere. SS316L belongs to the family of austenite stainless steel, and no solid structural transition is expected. Characteristic radius and depth of the beam are set as 10 μm and 80 μm , respectively. The melting point of SS316L is set as $T_M = 1700$ K. Initial temperature of the powder bed is taken as the pre-heating temperature $0.4T_M = 680$ K. The full setup of kinetics in 3D problem will be included in our upcoming work. To avoid vast computational cost, preliminary 2D mid-section

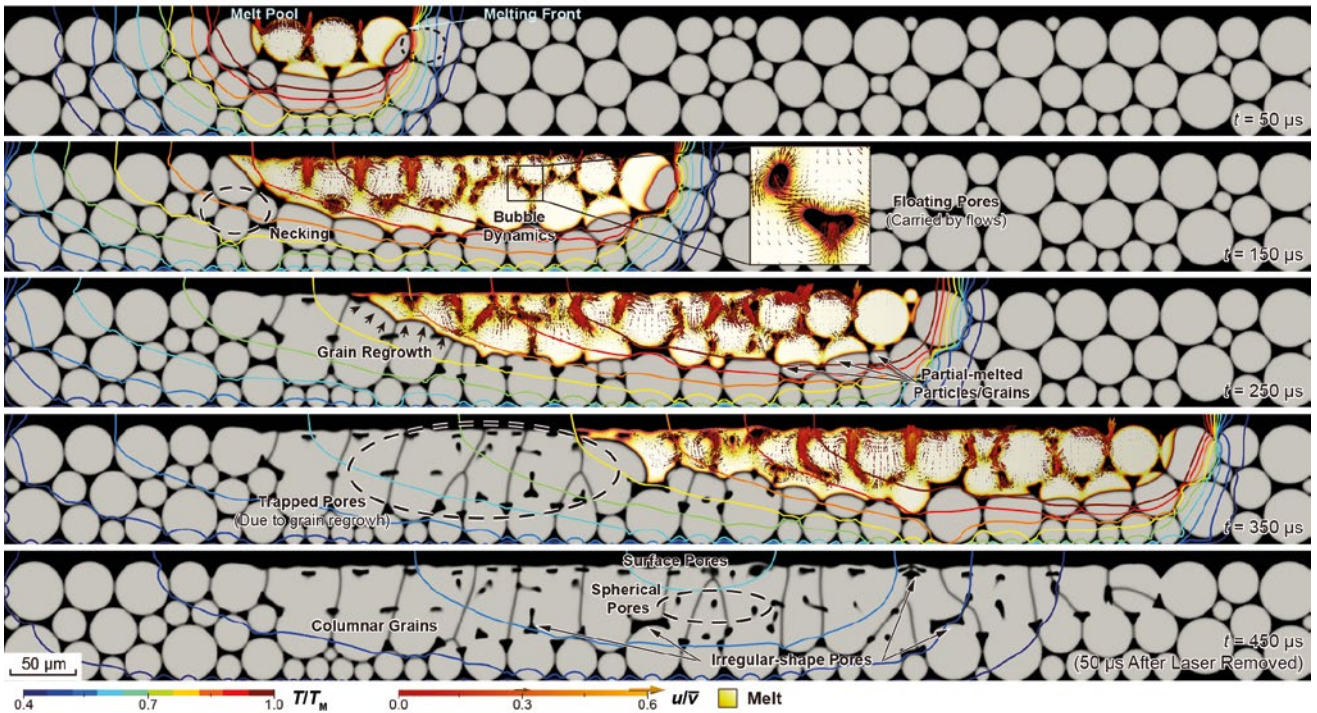


Fig. 3: Finite element phase-field simulation of SM process of stainless steel 316L powder bed (SS316L) with beam power of 300 W and scan speed of 2000 mm/s. Results are shown on the temperature profile with high temperature gradient at melting front, the powder bed fusion features (i.e. melt flow, resolidification, necking, grain regrowth) and the residual pores resultant from the competition of different kinetics (mass diffusion, solidification, bubble dynamics).

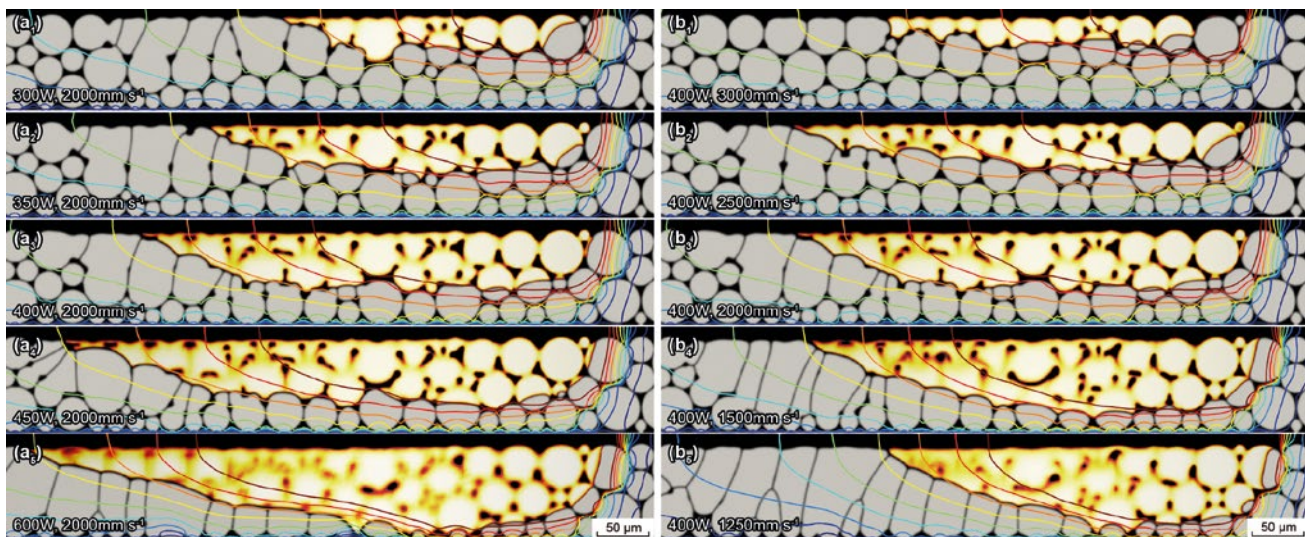


Fig. 4: The melt pool size varies in a different manner with respect to the increasing power (a) and to the decreasing scan speed (b). Its length increases monotonically with increasing power. But for decreasing speed, it increases first and then starts to decrease after the speed becomes small enough. This is attributed to the competition between heat consumption, enhanced by on-site morphological changes, and scan-induced melting.

simulation neglecting the thermocapillary and thermophoresis terms were carried out. The results are still very helpful to reveal underlying physical processes and their interactions.

Fig. 3 shows the chronological temperature profile and fusion progress of a powder bed with a height of 100 μm and a length of 1000 μm . Other details on the boundary conditions can be found in [14]. Inside the melt pool, melt flow can be observed. Due to the existence of the gravitational Froude term, melts at the convex position tend to flow down, causing the flat flow around the surface and

floating pores (inset in Fig. 3). The resolidification front follows the local profile of the temperature field. More exactly, grains are resolidified along the local cooling directions, i.e. the negative gradient of the temperature field. Due to the Allen-Cahn governed phase transition, we notice that the melting process does not happen instantly inside the overheating region. As a result, partially melted particles/grains can be observed. Undercooled melts also exist (the melt phase in the region where $T < T_M$) where the resolidification of grains can be observed. When the resolidification rate is approximately equal to

the scan speed, a dragged tail of melt pool forms, behind which the columnar grains remain. Pores/bubbles which are not yet emerged to the surface are thereby trapped. Outside the melt pool, the local temperature is still high enough to activate diffusion and thus induce necking among adjacent particles, presenting the feature of sintering. The interaction between the local morphology/phase change and the temperature field is apparent. For instance, the melt flow flats the surface and enlarges the melt pool. Since the melt flow transports not only mass but also energy, it thus influences the local thermal profile. Similarly, resolidification of the grains not just follows the local temperature field, it also creates a densified structure which is distinct from that before the beam

scan, resulting in a different local environment for heat transfer at the tail of the melt pool, compared to the front. It explains the higher temperature gradient at the front of the beam compared to the one at the tail.

In general, either increasing beam power or decreasing scan speed leads to more energy deposition. But we found that melt pool sizes react differently to them. As it is shown in left subfigures in Fig. 4, the dimensions of the melt pool, both length and depth increase monotonically with the beam power (from 300 W to 600 W at fixed scan speed of 2000 mm/s). Whereas, if we decrease the scan speed from 3000 mm/s to 1250 mm/s, the length of the melt pool first increases and then decreases when scan speed becomes small enough, as it can be seen in the

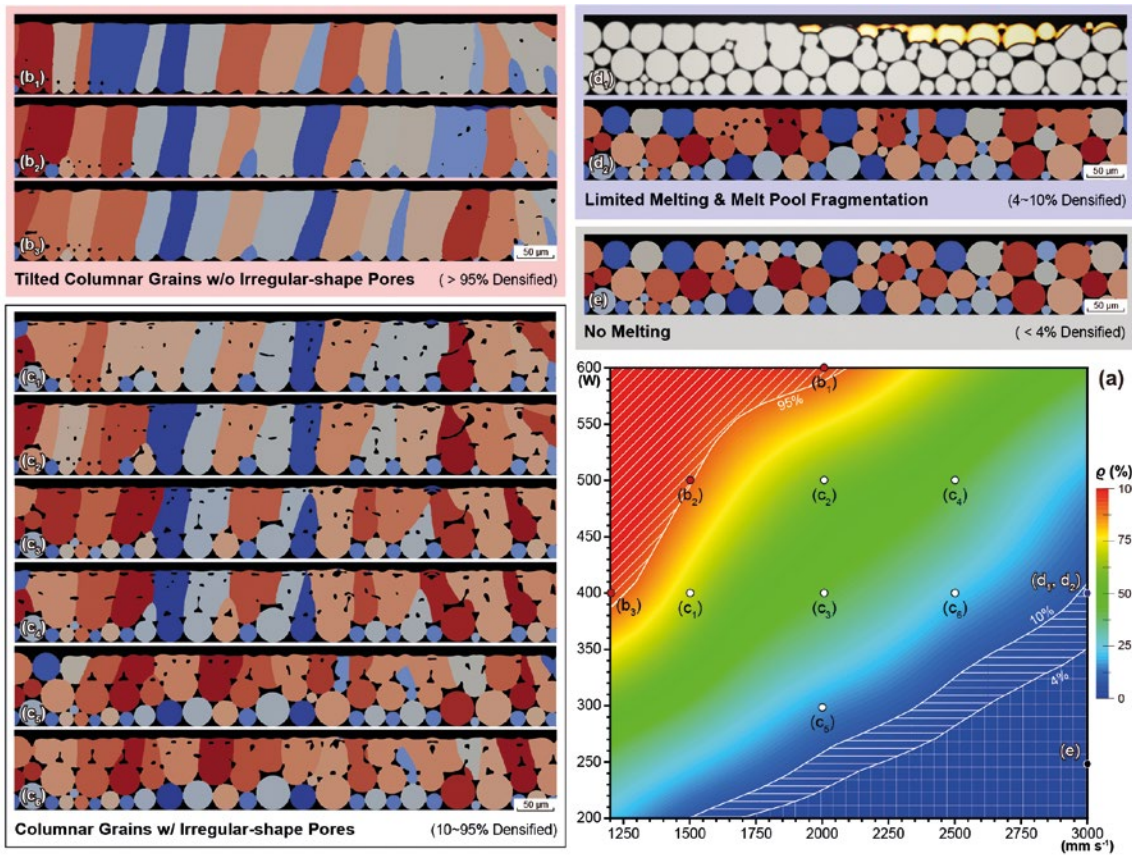


Fig. 5: Densification map (a) and corresponding microstructure of SM processed powder bed using different beam power and scan speed. Exemplary resultant microstructures are shown for selected process parameter combinations.

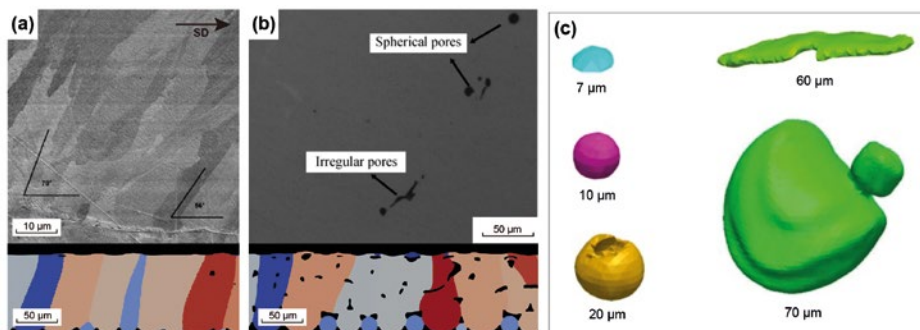


Fig. 6: Comparison between experimental observations and simulated microstructures in (a) tilted columnar grains [17] and (b) pores in irregular shape [18]. (c) Presents several featured appearances and sizes of pores during laser-PBF processes of SS316L by 3D reconstructed sXCT images [19].

right subfigures of Fig. 4. If we consider the specific energy input defined as the ratio of power over scan speed, the results imply that the pool length can decrease with increasing specific energy input. A possible reason is the enhancement of heat dissipation induced by the on-site morphological changes.

A large amount of SM simulations were carried out for varying beam power and scan speed, and the obtained microstructures were evaluated. Fig. 5a shows the densification map w.r.t. the two process parameters. It is clear that the densification isolines do not follow the ratio of beam power and scan speed. It indicates again that the specific energy input is not an accurate process parameter. The simulated microstructure can be roughly classified into four types. Example microstructure for each class can be found: (b1)-(b3) tilted columnar grains; (c1)-(c6) columnar grains with irregular-shape pores; (d1)-(d2) limited melting phenomenon with possible melt pool fragmentation; (e) no melting phenomenon. Despite the simplified 2D simulation, one obtains the microstructure features, such as tilted columnar grains and irregular-shaped pores, confirmed by experimental data shown

in Fig.6. Tracking back the simulation data, it allows us to explain the formation of these pores by the competition between the bubble dynamics inside a melt pool and the solidification rate.

Application to Selective Sintering

Selective Sintering is another typical AM process. Different from selective melting, there is no significant melting phenomenon. But the temperature is sufficiently high for particles to bind together through sorts of mechanisms, leading to products with relatively high porosity. It is particularly interesting for the industrial production of porous biomaterials, especially medical scaffold and bones, and functional materials. The printing materials can be organic polymers, ceramics, and metallic alloys which have relatively high melting or transition temperatures. The non-isothermal phase-field model outlined in the previous section can be degenerated to a model for the simulation of SS. Thereby the order parameter ϕ distinguishing the melt from solid and the related solid-melt phase transition equation should be removed, along with the coupling terms in the other kinetic equations shown in

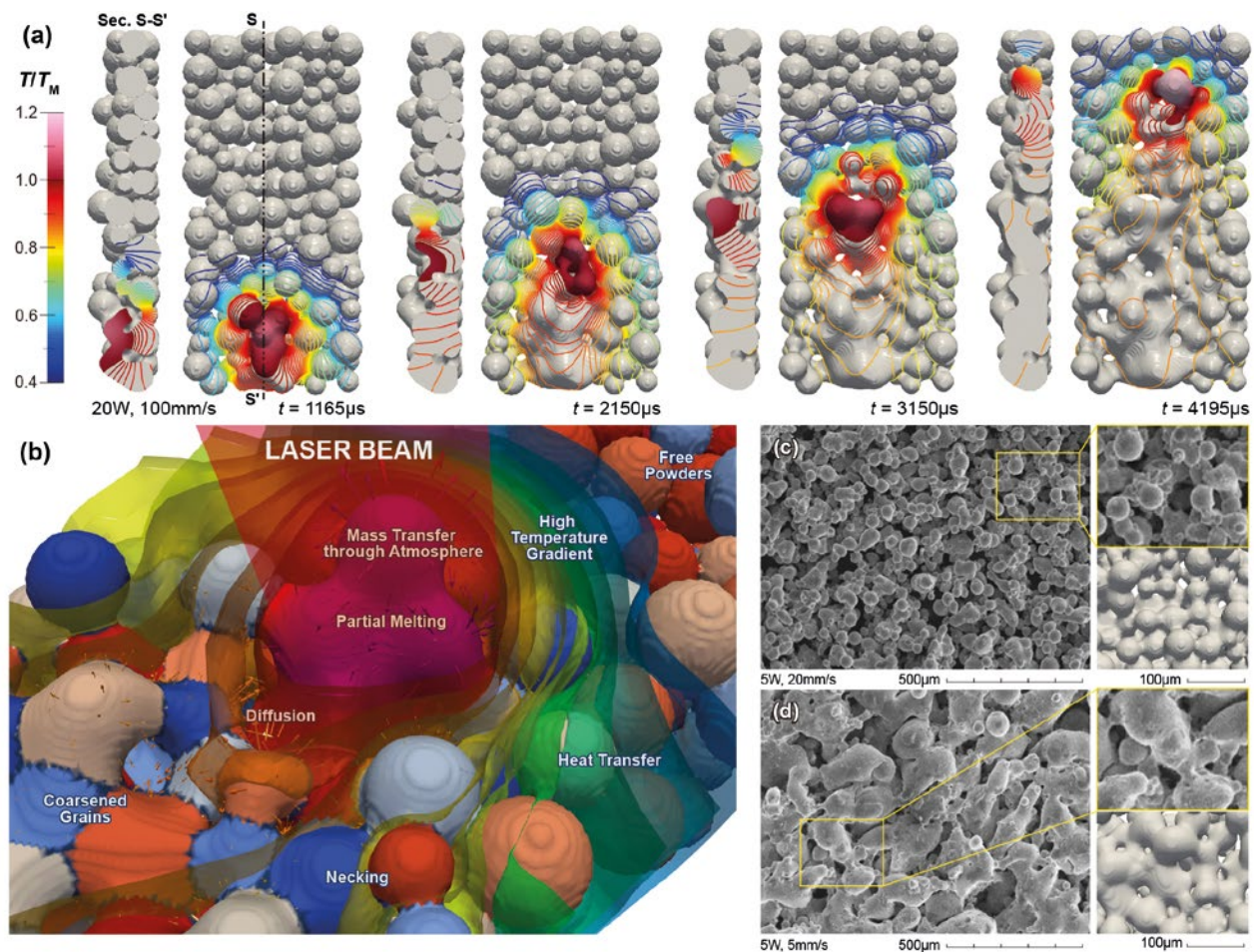


Fig. 7: (a) Simulation results on SS of SS316L powder bed with beam power 20W and scan speed 100 mm/s. Overheat region above melting temperature is noted with continuous color map; (b) phenomena and characteristics around the beam spot. Comparison of the surface morphology between the simulated and experimental results in the case of (c) power 5W, speed 20mm/s and (d) power 5W, speed 5mm/s. SEM images are reprinted with permission from Liu et al [20].

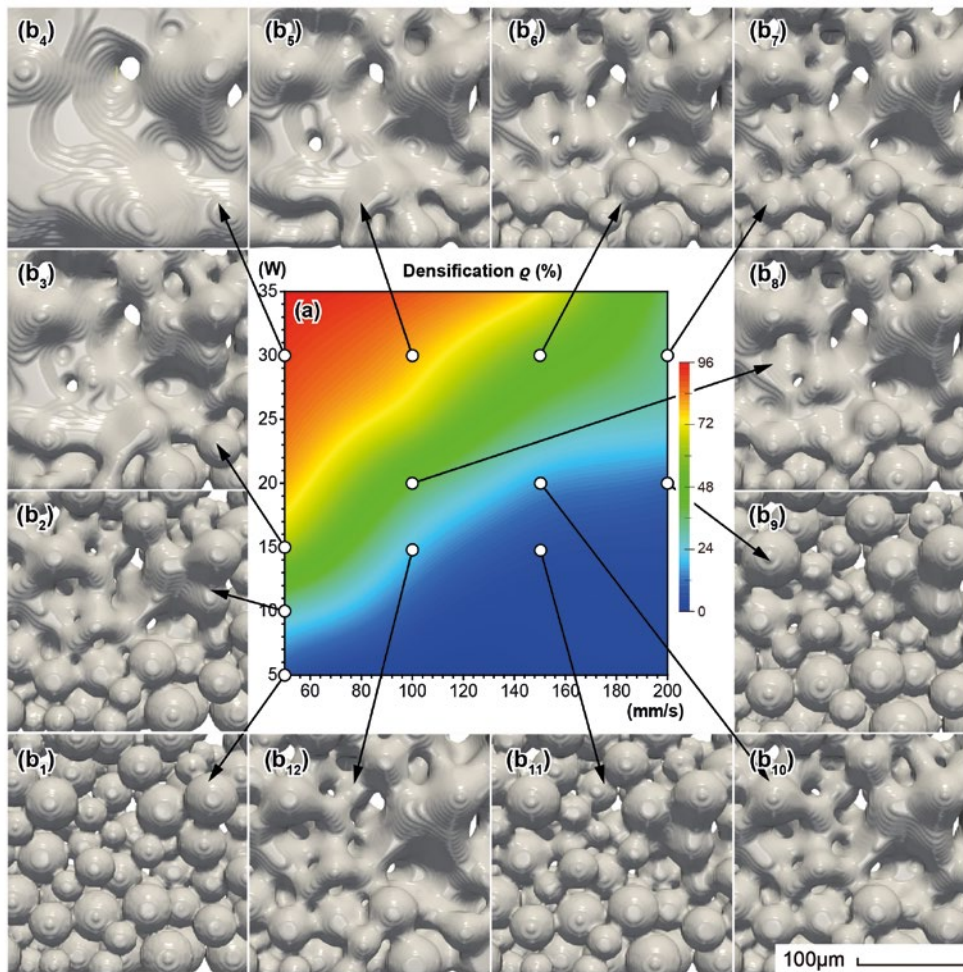


Fig. 8: (a) Densification map and (b₁)-(b₁₂) dependency of the resultant morphology of the SS processed powder bed on beam power and scan speed.

Fig. 1. Even though a visible melt pool is not expected, the overheat regions with local temperature above or equal to the melting temperature T_M are still possible. It can lead to partial/surface melting of the individual particles and thus enhanced mass flow. We regard it as an increase of mass flux by variations of surface mean curvature and specific surface energy. More details can be found in [16].

Fig. 7a demonstrates the simulated 3D microstructure evolution during a single scan with a beam power of 20 W and a scan speed of 100 mm/s. Physical phenomena around the laser beam spot are highlighted in Fig. 7b. Within such overheat region, particles are partially melted. Reduction of the total surface energy (or surface capillary pressure) generates melts flows from the convex to the concave. This kind of melt flow results in a continuous piece with coarsened grains once cooled down. Nearby the temperature is still high enough to activate diffusion and thus induce necking among adjacent particles. We can estimate the local temperature gradient around the partial melting region and the pore region as high as 50 K/ μm and 100 K/ μm , respectively. Such large-gradient temperature fields may induce the mass transfer due to temperature-induced inhomogeneity of the surface energy. This also distinguishes SS from conventio-

nal isothermal sintering. Fig. 7c shows the high level of resemblance between the simulated surface morphologies and the experimental data. Beam power and scan speed are also important processing parameters for SS, through which one can effectively control the properties (e.g. porosity and grain size) of the processed components. The densification map w.r.t. beam power and scan speed are shown in Fig. 8, along with representative morphology of the SS processed powder. Similar as in the case of SM, the densification isolines do not follow the isolines of the specific energy input. We show in [16] the calculated densification coefficients for different specific energy inputs agree very well with the experimental measurements. It strongly indicates the high capability of the phase-field model and simulations

Outlook

AM is attracting a vast amount of interest from various industrial fields. Modeling and design of AM processed materials should be a long-run task with great challenges due to unique process conditions. It should involve more contributions from the continuum modeling on both macro- and microscopic scales. On the microscopic scale of the powder bed, phase-field modeling offers a

thermodynamically consistent description of the interactive heat-melt-microstructure process, even though it is numerically more expensive than other numerical method like CA. We show that through efficient algorithms and parallel computing one can obtain large size simulations. From these physics-based simulation data one can derive process-microstructure relations, which is otherwise difficult to obtain from limited experimental data. Nevertheless, phase-field simulations of AM process are still very few. The current simulations are still subject to further simplifications and should be further extended to include more physics such as nonlinear solid mechanics. Also large size phase-field simulations with multi-scans and multi-layers are required, in order to obtain the representative volume element, from which homogenization can be carried out to evaluate the macroscopic properties and from which the process-parameter-dependent constitutive models can be developed. In this way, we can close the whole chain of process-microstructure-property in a virtual scenario.

References

- [1] M. Markl and C. Körner, "Multiscale Modeling of Powder Bed-Based Additive Manufacturing," *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 46, no. 1, pp. 93–123, 2016.
- [2] H. Bikas, P. Stavropoulos, and G. Chryssolouris, "Additive manufacturing methods and modeling approaches: A critical review," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 83, no. 1–4, pp. 389–405, 2016.
- [3] W. J. Boettinger, J. A. Warren, C. Beckermann, and A. Karma, "Phase-Field Simulation of Solidification," *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 32, no. 1, pp. 163–194, 2002.
- [4] L.-Q. Chen, "Phase-Field Models for Microstructure Evolution," *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 32, no. 1, pp. 113–140, 2002.
- [5] S. I., "Phase-field models in materials science," *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, vol. 17, no. 7, p. 73001, 2009.
- [6] D. Fan and L.-Q. Q. Chen, "Computer simulation of grain growth using a continuum field model," *Acta Mater.*, vol. 45, no. 2, pp. 611–622, 1997.
- [7] Y. U. Wang, "Computer modeling and simulation of solid-state sintering: A phase field approach," *Acta Mater.*, vol. 54, no. 4, pp. 953–961, 2006.
- [8] D. M. Anderson, G. B. McFadden, and A. A. Wheeler, "Diffuse-interface methods in fluid mechanics," *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 30, pp. 139–165, 1998.
- [9] M. D. Krivilyov, S. D. Mesarovic, and D. P. Sekulic, "Phase-field model of interface migration and powder consolidation in additive manufacturing of metals," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 8, pp. 4155–4163, 2017.
- [10] X. Zhang and Y. Liao, "A phase-field model for solid-state selective laser sintering of metallic materials," *Powder Technol.*, vol. 339, pp. 677–685, 2018.
- [11] L.-X. Lu, N. Sridhar, and Y.-W. Zhang, "Phase field simulation of powder bed-based additive manufacturing," *Acta Mater.*, vol. 144, pp. 801–809, Feb. 2018.
- [12] D. Jacqmin, "Calculation of Two-Phase Navier-Stokes Flows Using Phase-Field Modeling," *J. Comput. Phys.*, vol. 155, no. 1, pp. 96–127, 1999.
- [13] D. Jeong and J. Kim, "Conservative Allen-Cahn-Navier-Stokes system for incompressible two-phase fluid flows," *Comput. Fluids*, vol. 156, pp. 239–246, 2017.
- [14] Y. Yang, K. Patrick, M. Yi, H. Egger, and B. Xu, "Non-isothermal phase-field modeling of heat-melt-microstructure coupled processes during powder bed fusion," *JOM*, under review.
- [15] M. R. Tonks, D. Gaston, P. C. Millett, D. Andrs, and P. Talbot, "An object-oriented finite element framework for multiphysics phase field simulations," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 20–29, 2012.
- [16] Y. Yang, O. Ragnvaldsen, Y. Bai, M. Yi, and B.-X. Xu, "3D non-isothermal phase-field simulation of microstructure evolution during selective laser sintering," *npj Comput. Mater.*, vol. 5, no. 1, p. 81, 2019.
- [17] I. Yadroitsev, P. Krakhmalev, I. Yadroitsava, S. Johansson, and I. Smurov, "Energy input effect on morphology and microstructure of selective laser melting single track from metallic powder," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 4, pp. 606–613, 2013.
- [18] B. Song et al., "Differences in microstructure and properties between selective laser melting and traditional manufacturing for fabrication of metal parts: A review," *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 2. Higher Education Press, pp. 111–125, 23-Jun-2015.
- [19] H. Choo et al., "Effect of laser power on defect, texture, and microstructure of a laser powder bed fusion processed 316L stainless steel," *Mater. Des.*, vol. 164, Feb. 2019.
- [20] F. R. Liu, Q. Zhang, W. P. Zhou, J. J. Zhao, and J. M. Chen, "Micro scale 3D FEM simulation on thermal evolution within the porous structure in selective laser sintering," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 212, no. 10, pp. 2058–2065, 2012.



Bai-Xiang Xu, Prof. Dr., is the head of the Division Mechanics of Functional Materials in the department of Materials and Geosciences at Technische Universität Darmstadt. She chairs the Division since she got the Junior Professorship in 2011 and the tenure track in 2016. After her PhD in 2008 at Peking University, China, she has worked for two years as Alexander von Humboldt postdoc scholarship holder at TU Darmstadt and TU Kaiserslautern. Her research interests include multi-physics and multi-scale phase-field modeling, micromechanics and numerical simulations of functional and energy materials.



Yangyiwei Yang, M. Sc., is since November 2019 a PhD student at the Division Mechanics of Functional Materials in the department of Materials and Geosciences at Technische Universität Darmstadt. He studied Materials Science and finished his Master in 2019 under the supervision of Prof. Xu. His research interests are related to the multi-physics and multi-scale phase-field modeling and simulation, as well as its application in advanced processing of the functional materials.



A Place to Network and Exchange Ideas

- | | |
|-------------------------------|--|
| February 11-13, 2020 | SIAM Workshop on Combinatorial Scientific Computing (CSC20)
Seattle, Washington, U.S. |
| February 12-15, 2020 | SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP20)
Seattle, Washington, U.S. |
| March 24-27, 2020 | SIAM Conference on Uncertainty Quantification (UQ20)
Garching near Munich, Germany |
| May 5-8, 2020 | SIAM Conference on Mathematics of Data Science (MDS20)
Cincinnati, Ohio, U.S. |
| May 7-9, 2020 | SIAM International Conference on Data Mining (SDM20)
Cincinnati, Ohio, U.S. |
| May 18-22, 2020 | SIAM Conference on Mathematical Aspects of Materials Science (MS20)
Bilbao, Spain |
| May 26-29, 2020 | SIAM Conference on Optimization (OP20)
Hung Hom, Hong Kong |
| June 1-4, 2020 | SIAM Conference on Discrete Mathematics (DM20)
Portland, Oregon, U.S. |
| June 8-10, 2020 | SIAM Conference on Mathematics of Planet Earth (MPE20)
Garden Grove, California, U.S. |
| June 8-11, 2020 | SIAM Conference on the Life Sciences (LS20)
Garden Grove, California, U.S. |
| July 6-9, 2020 | SIAM Conference on Imaging Science (IS20)
Toronto, Ontario, Canada |
| July 6-10, 2020 | The Second Joint SIAM/CAIMS Annual Meeting (AN20)
<i>Site of Student Days and Workshop Celebrating Diversity</i>
Toronto, Ontario, Canada |
| July 27-30, 2020 | SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures (NWCS20)
Bremen, Germany |
| July 29-August 1, 2020 | SIAM Conference on Applied Mathematics Education (ED20)
Philadelphia, Pennsylvania, U.S. |

More information about upcoming conferences and workshops:

[siam.org/conferences](https://www.siam.org/conferences)

Jun.-Prof. Dr. Jan Heiland ist Leiter eines Forschungsteams am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme und seit Mai 2018 Juniorprofessor an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. Nach dem Vordiplom in Technomathematik an der TU Dresden und einem Studienjahr an der Polytechnischen Universität in Sankt Petersburg, wechselte er 2005 an die TU Berlin, wo er 2009 als Diplom-Mathematiker abschloss. Von 2007 an hatte er als Werkstudent bei Bombardier Erfahrung in der Industrie gesammelt, sich aber dann doch für ein Promotionsprojekt zum Thema “Entkopplung, Diskretisierung und Optimierung von abstrakten differentiell-algebraischen Gleichungen” unter Prof. Volker Mehrmann entschieden. Nach der Promotion trat Jan Heiland eine Stelle am MPI Magdeburg an, wo er seither im Bereich der Modellierung und Simulation von gesteuerten Systemen forscht. In der GAMM ist er in den Fachausschüssen “Dynamik und Regelung” und “Computational Science and Engineering” vertreten.

In der mathematischen Systemtheorie werden Systeme über ihr Eingangs- zu Ausgangsverhalten beschrieben. Ein Beispiel könnte das Modell eines chemischen Prozess sein, auf den über Eingänge, vielleicht die Temperatur, eingewirkt wird und für den, über Messungen, Ausgangsgrößen bestimmt werden. Das System ist dann die Beziehung der Ausgänge (der Messungen) zu den Eingängen (der Stellgrößen). In einer Simulation gibt man die Eingänge vor und berechnet die zugehörigen Ausgänge. Ein Steuerungsproblem dreht diesen Zusammenhang um: ein gewünschter Ausgang wird vorgegeben und es werden die Eingänge gesucht, die zu diesem Ausgang führen. Von Regelung spricht man, wenn ein zugehöriges System (der Regler) gesucht wird, der Abweichungen von dem gewünschten Ausgang in einen verbesserten Eingang übersetzt. Bei der modellbasierten Regelung wird dieses Regelgesetz aus einem mathematischen Modell für das ursprüngliche System hergeleitet.

Für lineare Systeme ist der automatisierte Reglerentwurf unkompliziert und gut verstanden. Das liegt auch daran, dass im Regelkontext auch nichtlineare Systeme oft erfolgreich mit linearen Ansätzen behandelt werden können so dass dementsprechend viel daran geforscht wurde. Dennoch birgt die lineare Theorie noch Herausforderungen, die ich in meiner Arbeit angehe. Das wäre zum Beispiel die numerisch stabile Einbeziehung von algebraischen Nebenbedingungen sowie die effiziente Berechnung der Lösung der Riccati Gleichungen, die den Regler bestimmen. Letzteres ist im Falle hochdimensionaler Systeme unabdingbar für die numerische Realisierung.

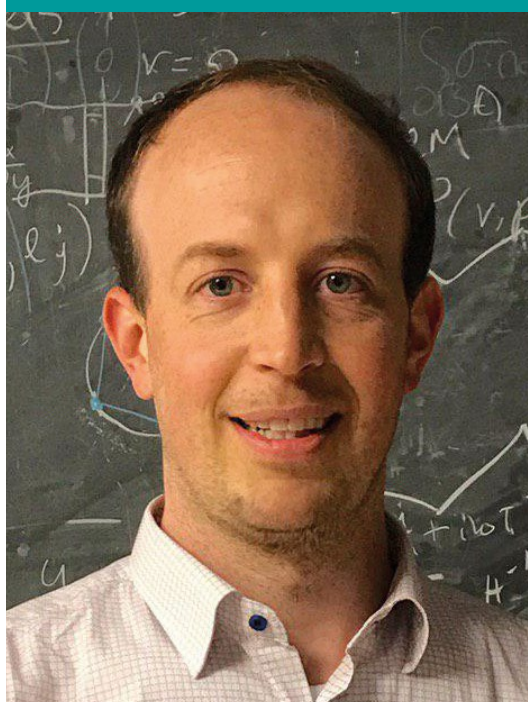
Bei der Regelung von laminaren Strömungen, deren numerische und systemtheoretische Behandlung mich während meiner gesamten Zeit als Wissenschaftler als Motivation oder als Anwendungsbeispiel begleiten, kommen beide Aspekte zusammen. Zum einen gibt es die Nebenbedingungen der Inkompressibilität, zum anderen sind die Modellgleichungen typischerweise hochdimensional. Hier bie-

tet sich die explizite Beibehaltung der Nebenbedingungen auch in der Riccati Gleichung [1] an, da damit die Struktur der Gleichungen für effiziente numerische Löser erhalten wird. Zudem lässt sich, im zeitinvarianten Fall, der Reglerentwurf mit Modellreduktion [2] verbinden, sodass im Ergebnis ein Regler von ungleich kleinerer Dimension steht. Das gleiche Prinzip bewährt sich auch bei der Regelung von Mehrkörpersystemen [3], die eine vergleichbare Struktur in den Nebenbedingungen aufweisen. Ein durchgängiges Ziel meiner Forschung ist es, diese modellbasierten Ansätze in ihrer Allgemeinheit in die Anwendung im Experiment zu bringen. Dazu sind zwei Hindernisse zu überwinden.

Wegen des beschränkten Wirkungsgebietes linearer Regler muss, erstens, das physikalische System vorgesteuert werden. Dazu wird nichtlineare Theorie benötigt, die dann Annahmen an das System stellt [4], problemspezifisch ist [5] und für hochdimensionale Systeme nur mittels Modellreduktion numerisch umzusetzen ist [6].

Wenn dann ein linearer Regler anwendbar ist, muss, zweitens, eine gewisse Robustheit desselben garantiert werden, die sowohl den Approximationsfehler zwischen numerischer Realisierung und Modell als auch den Modellfehler zwischen Modell und Realität überbrücken kann. Da der Modellfehler nicht zugänglich ist (ansonsten könnte man ihn ins Modell aufnehmen), stützen wir uns auf die Annahme, dass ein numerisch realisierter Regler, der das unendlich dimensionale Modell mit einem zusätzlichen Sicherheitskorridor stabilisiert, auch in der Realität funktioniert. So motiviert haben wir für die Modellgleichungen für inkompressible Strömungen, die inkompressiblen Navier-Stokes Gleichungen, gezeigt, dass der Linearisierungsfehler [7] und der Ortsdiskretisierungsfehler [8] qualitativ so beschaffen ist, dass H_∞ robuste Regler (wie sie seit den 80er für endlich dimensionale und seit den 00er Jahren für unendlich dimensionale lineare Systeme bekannt sind) hier die geforderte Robustheit garantieren. In aktuellen Ar-

STECKBRIEF



beiten haben wir zudem Verfahren zur effizienten Berechnung der robusten Regelgesetze im Navier-Stokes Fall entwickelt und numerisch untersucht [9], und funktionalanalytisch nachgewiesen, dass der Linearisierungsfehler auch quantitativ den Einsatz von H_∞ Theorie nahelegt [10]. In naher Zukunft möchte ich die Theorie der robusten Regelung im Zusammenspiel von unendlich dimensionalem Modell und endlich dimensionaler Approximation wei-

ter voranbringen und insbesondere Modellreduktion und die Behandlung algebraischer Nebenbedingungen in die Analysis einbringen. Desweiteren werde ich an der numerischen Umsetzung der modellbasierten Regelung für unendlich dimensionale Systeme arbeiten und in Simulationen und hoffentlich bald auch im Experiment zur Anwendung bringen.

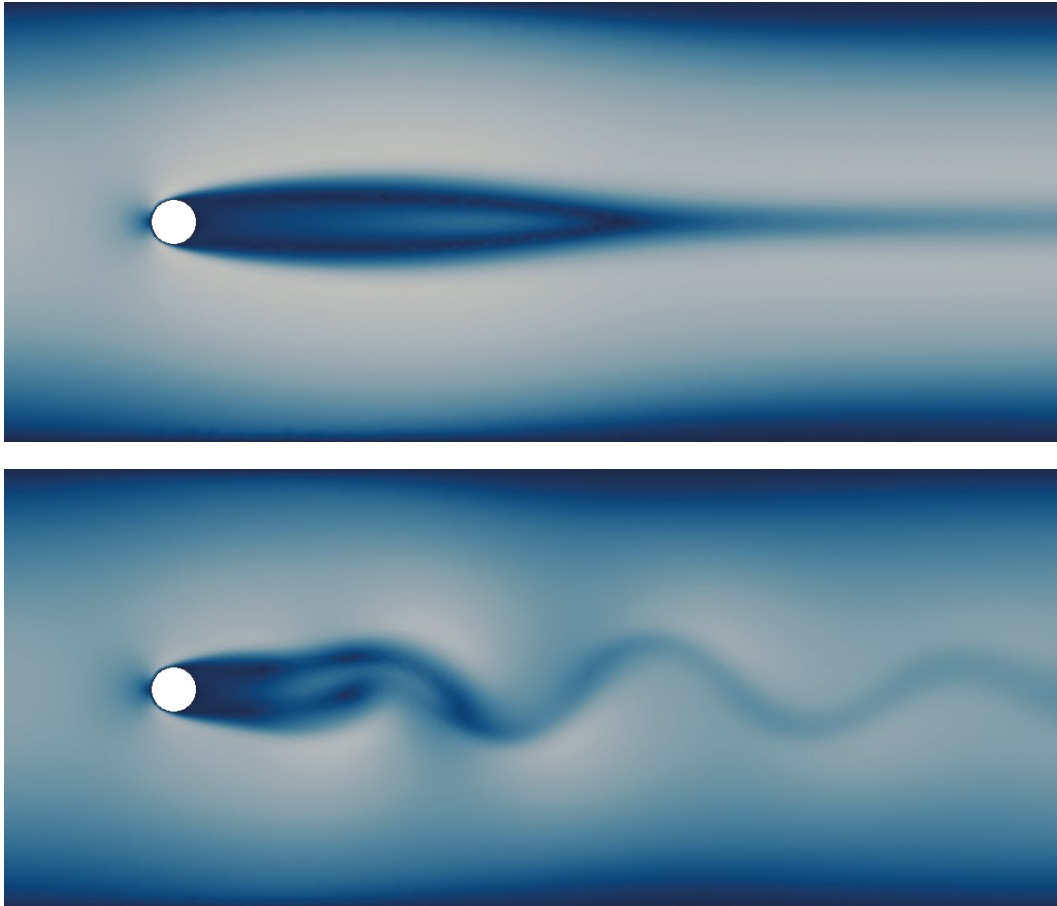


Abb. 1 und Abb. 2: Der stationäre Zustand einer Strömung um einen Zylinder (oben) und der Übergang (unten) in den als Kármánsche Wirbelstraße bekannten periodischen Zustand. Der stationäre Zustand ist instabil kann aber durch lineare Regler stabilisiert und damit erhalten werden.

Literatur

- [1] A Differential-Algebraic Riccati Equation for Applications in Flow Control. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Vol. 54(2), pp. 718–739. (2016)
- [2] LQG-Balanced Truncation Low-Order Controller for Stabilization of Laminar Flows. *Active Flow and Combustion Control 2014*, Springer. pp. 365–379. (2015, with P. Benner)
- [3] Simulation of Multibody Systems with Servo Constraints through Optimal Control. *Multibody System Dynamics*, Vol. 40(1), pp. 75–98. (2017, with R. Altmann)
- [4] Exponential Stability and Stabilization of Extended Linearizations via Continuous Updates of Riccati Based Feedback. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 28, pp. 1218–1232. (2018, with P. Benner)
- [5] Nonlinear Stabilizing Feedback Design for Incompressible Flows via Updated Riccati-Based Gains. *Proceedings of the 56th IEEE Conference on Decision and Control, CDC 2017*, pp. 1163–1168. (2017, with P. Benner)
- [6] Moment-Matching Based Model Reduction for Navier–Stokes Type Quadratic-Bilinear Descriptor Systems. *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 97, pp. 1252–1267. (2017, with M. I. Ahmad, P. Benner, and P. Goyal)
- [7] Robust Stabilization of Laminar Flows in Varying Flow Regimes. *IFAC-PapersOnLine, IFAC*. Vol. 49(8), pp. 31–36. (2016, with P. Benner)
- [8] Convergence of Approximations to Riccati-based Boundary-feedback Stabilization of Laminar Flows. *IFAC-PapersOnLine* 50(1), pp. 12296–12300. (2017, with P. Benner)
- [9] Robust Controller versus Numerical Model Uncertainties for Stabilization of Navier-Stokes Equations. *IFAC-PapersOnLine* 52(2), pp. 25–29. (2019, with P. Benner and S. Werner)
- [10] Convergence of Coprime Factor Perturbations for Robust Stabilization of Oseen Systems, *ArXiv:1911.00983*. (2019)

Kontakt:

Jun.-Prof. Dr. Jan Heiland
 Max Planck Institut für Dynamik komplexer
 Technischer Systeme
 Sandtorstr. 1
 39106 Magdeburg
 heiland@mpi-magdeburg.mpg.de

Jun.-Prof. Dr. Matti Schneider

studierte Angewandte Mathematik an der TU Bergakademie Freiberg. Nach einem Promotionsstipendium am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften (Leipzig) war er als Post-Doc am Institut für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz und in der Abteilung für Strömungs- und Materialsimulation am Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (Kaiserslautern) tätig. Seit September 2017 verstärkt er das Institut für Technische Mechanik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Juniorprofessor für „Computational Micromechanics“.

Zentrales Forschungsthema von Herrn Schneider sind die von Moulinec und Suquet [1] eingeführten, auf schneller Fouriertransformation (FFT) basierenden, numerischen Homogenisierungsverfahren der Festkörpermechanik, sowie deren Einbindung in Multiskalen-Simulationsmethoden für Probleme industrieller Komplexität und Relevanz.

Moderne bildgebende Verfahren, wie Mikro-Computertomographie, ermöglichen hoch detaillierte Abbildungen des Aufbaus mikrostrukturierter Werkstoffe auf Mikrometer-Skala. Die resultierenden Daten liegen pro Voxel (volume pixel) vor, d.h. sie sind auf einem regelmäßigen Quader-Netz gegeben. Konventionelle randangepasste finite-Elemente-Methoden stoßen auf Schwierigkeiten bei der Behandlung derartiger Daten - zum Einen sind die Materialgrenzen nicht genau bekannt, und zum Anderen führt die Nutzung der ursprünglichen Voxel als finite Elemente zu Systemen mit einer hohen Zahl von Freiheitsgraden.

Moulinec und Suquet [1] haben ein auf diese Fragestellung spezialisiertes, numerisches Werkzeug geschaffen, die FFT-basierte Mikromechanik. Diese fußt auf einer Umformulierung der Korrektorgleichung als Lippmann-Schwinger-Integralgleichung, deren Integralkern im Fourier-Raum Block-diagonal ist. Durch Nutzung der FFT kann diese Gleichung matrixfrei gelöst werden, und ermöglicht dadurch die Behandlung komplexer Homogenisierungsprobleme auf moderater Hardware, siehe Abb. 1.

In seiner ersten Arbeit zur Thematik [2] identifizierte Herr Schneider das Verfahren von Moulinec-Suquet als trigonometrische Kollokationsmethode und zeigte die h -Konvergenz für springende Koeffizienten. Konvergenzaussagen für Spektralmethoden mit irregulären Koeffizienten sind weniger üblich, da Spektralverfahren ihre Stärken bei glatten Koeffizienten besser zur Ausprägung bringen können.

FFT-basierte Homogenisierungsverfahren stießen zu dieser Zeit an ihre Grenzen bei der Behandlung von Mikrostrukturen mit Poren und Defekten. In diesem Fall verschwindet die Steifigkeit in bestimmten Voxeln - durch die Nutzung der FFT können diese jedoch nicht einfach aus dem System eliminiert werden. In der Folge wurde klar[3,4], dass das Divergenzverhalten bei defektiven Mikrostrukturen un-

abhängig vom benutzten Lösungsverfahren, sondern eine intrinsische Folge der Diskretisierung mit trigonometrischen

Polynomen, ist. Im Zuge dessen wurden Diskretisierungsschemata mit lokalem Stern in den Kontext FFT-basierter Homogenisierungsverfahren eingebettet, wodurch die numerisch stabile Behandlung poröser Medien ermöglicht wurde. Neben einer Diskretisierung auf einem gestaffelten Gitter[3] wurden ebenso verschiedene finite-Elemente-Diskretisierungen[4] untersucht.

Parallel zur Untersuchung der Diskretisierung erfolgte ebenso eine Weiterentwicklung der Lösungsstrategien, im Rahmen von (Quasi)-Newton-Verfahren [5,6], schneller Gradientenmethoden [7] sowie proximaler Zerlegungsschemata [8], welche - unter Beibehaltung des geringen Speicherverbrauchs - eine signifikante Beschleunigung nach sich ziehen. Durch die Weiterentwicklung der Homogenisierungsverfahren ver-

schoob sich der Flaschenhals in der digitalen Prozesskette hin zur Qualität der zugrunde liegenden Werkstoffmikrostruktur-Modelle. Nutzt man bildgebende Verfahren zur Charakterisierung der Mikrostruktur, treten - wie bei jeder anderen experimentellen Untersuchung - Fehlerquellen auf, z.B. durch Probenwahl und -präparation sowie durch die benutzten Bildverarbeitungsalgorithmen. Um dieser Unschärfe zu begegnen, ist es - analog zu mechanischen Versuchen - entscheidend, ein aussagekräftiges und robustes Modell im Hintergrund zu haben und zu identifizieren. Herr Schneider entwickelte daher Werkzeuge zur Erzeugung von Mikrostrukturmodellen industrieller Komplexität für Kurzfaserverstärkte Kunststoffe [9] und granulare Medien [10], welche auf nicht-glatten Optimierungsverfahren basieren und vorgegebene Mikrostrukturmaße passgenau treffen, siehe Abb. 2 und 3.

Aktuelle Fragestellungen der Juniorprofessur „Computational Micromechanics“ umfassen eine Beteiligung am internationalen DFG-Graduiertenkolleg 2078 CoDiCoFRP, DFG-Projekte zu tensor-kompressionsbasierten Multiskalenmethoden und zur numerischen Homogenisierung der Bruchmechanik (siehe Abb. 4) sowie eine regelmäßige Beteiligung an der GAMM Activity Group „Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials“.

STECKBRIEF



Weiterhin besteht eine enge Anbindung an die (Techno-) Mathematik des KIT, z.B. durch die gemeinsame Betreuung von Abschlussarbeiten[11] und über das KIT-Kompetenzzentrum MathSEE (Mathematics for Science, Economics and Engineering).

Studenten am KIT profitieren von forschungsorientierter Lehre im Rahmen von Veranstaltungen zu Themen wie „Computational Homogenization on Digital Image Data“, „Microstructure Characterization and Modeling“ und „Nichtlineare Optimierungsmethoden“.

Literatur

[1] Moulinec H, Suquet P. A numerical method for computing the overall response of nonlinear composites with complex microstructure. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 1998;157(1-2):69-94.
 [2] Schneider M. Convergence of FFT-based homogenization for strongly heterogeneous media. *Math Meth Appl Sci.* 2015;38(13):2761-2778.
 [3] Schneider M, Ospald F, Kabel M. Computational homogenization of elasticity on a staggered grid. *Int J Numer Meth Eng.* 2016;105(9):693-720.
 [4] Schneider M, Merkert D, Kabel M. FFT-based homogenization for microstructures discretized by linear hexahedral elements. *Int J Numer Meth Eng.* 2017;109(10):1461-1489.
 [5] Kabel M, Böhlke T, Schneider M. Efficient fixed point and Newton-Krylov solvers for FFT-based homogenization of elasticity at large deformations. *Computational Mechanics.* 2014;54(6):1497-1514.
 [6] Schneider M. On the Barzilai-Borwein basic scheme in FFT-based computational homogenization. *Int J Numer Meth Eng.* 2019;118:482-494.

[7] Schneider M. An FFT-based fast gradient method for elastic and inelastic unit cell homogenization problems. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2017;315:846-866.
 [8] Schneider M, Wicht D, Böhlke T. On polarization-based schemes for the FFT-based computational homogenization of inelastic materials, *Computational Mechanics.* 2019; 64(4):1073-1095.
 [9] Schneider M. The sequential addition and migration method to generate representative volume elements for the homogenization of short fiber reinforced plastics. *Computational Mechanics.* 2017;59(2):247-263.
 [10] Schneider M, Hofmann T, Andrä H, et al. Modelling the microstructure and computing effective elastic properties of sand core materials. *Int J Solids Struct.* 2018;143:1-17.
 [11] Ernesti F. An FFT-based solver for brittle fracture on heterogeneous microstructures. Masterarbeit, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Fakultät für Mathematik. 2018.

Kontakt:

Jun.-Prof. Dr. Matti Schneider
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Technische Mechanik (Kontinuumsmechanik)
 Kaiserstraße 10
 76131 Karlsruhe
 E-Mail: matti.schneider@kit.edu
 Web: <http://www.itm.kit.edu/cm>

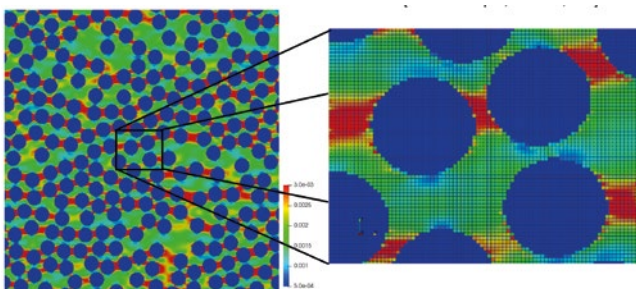


Abb. 1.: Illustration pixelbasierter numerischer Verfahren bei einem unidirektional verstärkten Verbundwerkstoff.

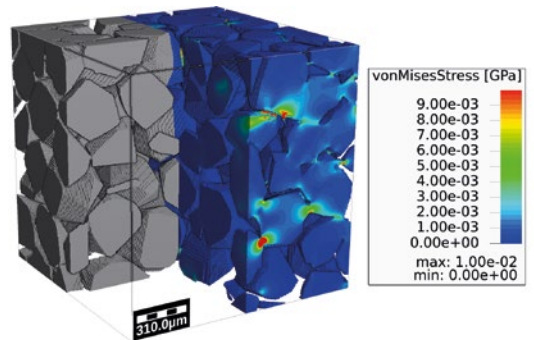


Abb. 2.: Mit [10] erzeugte Sandkern-Mikrostruktur und berechnete von Mises Vergleichsspannung bei 0.5% aufgebracht makroskopischer Dehnung.

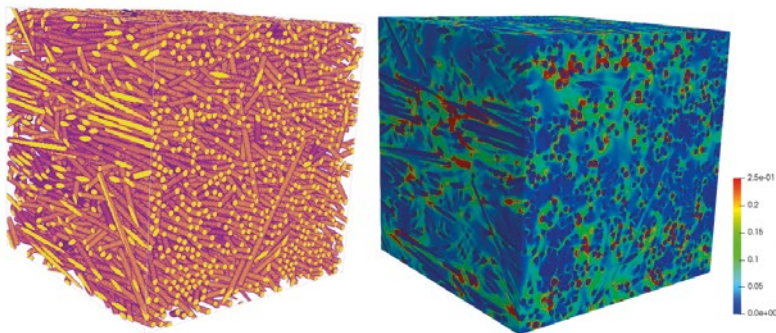


Abb. 3.: Mit [9] erzeugte Kurzfaserverbund-Mikrostruktur (links) und akkumulierte plastische Dehnung bei 4% Dehnung in Faserrichtung für PA66GF35, diskretisiert mit [3], gelöst über [6].

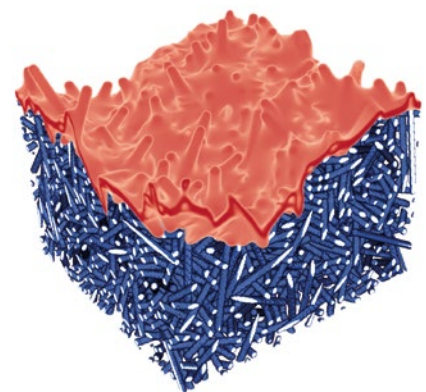


Abb. 4.: Berechnete Bruchfläche eines Kurzfaserverbundwerkstoffs via [11].



91st Annual Meeting

of the International Association of
Applied Mathematics and Mechanics

March 16–20, 2020 in Kassel, Germany



Foto: Universität Kassel

LOCAL ORGANIZERS:

- Detlef Kuhl** (University of Kassel)
- Andreas Meister** (University of Kassel)
- Andreas Ricoeur** (University of Kassel)
- Olaf Wünsch** (University of Kassel)

PLENARY SPEAKERS:

- Laura Grigori** (INRIA Paris)
- Stefan Hartmann** (TU Clausthal)
- Josef Málek** (Charles University Prague)
- Jörn Mosler** (TU Dortmund)
- Patrizio Neff** (University of Duisburg-Essen)
- Carola Schönlieb** (University of Cambridge)
- Holger Steeb** (University of Stuttgart)
- Laurette Tuckermann** (ESPCI Paris)



GAMM Archive for Students

An Open-Access Online Journal run by the GAMM Juniors



STUDY

DISCOVER

PUBLISH RESULTS



Submission of student research results at
www.gamm-ev.de ▶ Publications ▶ GAMMAS



SAMM 2019: SPACETIME FINITE ELEMENT METHODS FOR PARABOLIC AND HYPERBOLIC CONSERVATION LAWS

BY PHILIPP MORGENSTERN

The classical approach to discretizing time-dependent PDEs are timestepping schemes that, given the problem data and approximate solutions for preceding time steps, compute an approximate solution for the next time step. For long time intervals, approximation errors accumulate over time and hence the time step has to be chosen prohibitively small for the realization of reasonable error bounds, which leads to tremendous computational effort. Spacetime schemes are based on the idea to treat time as a kind of space dimension, and to discretize time and space simultaneously in a Petrov-Galerkin scheme.

The temporal direction of the information flux is reflected in the choice of the test space. In this manner, time-dependent problems can be tackled with coarser time steps, since the approximation error does not accumulate and grow in time direction, but is quasi-optimally distributed in the spirit of a Galerkin approximation.

On August 7–9, the annual Summer School on Applied Mathematics and Mechanics (SAMM) took place at the Leibniz University Hannover, under the topic „Spacetime Finite Element Methods for parabolic and hyperbolic conservation laws“, with 21 participants from Germany, Austria, and the Netherlands. We were very happy to have Prof. Christian Hesch (Uni Siegen), Prof. Jaap van der Vegt (Uni Twente), and Prof. Olaf Steinbach (TU

Graz) as lecturers, as well as Dipl.-Ing. Julia Hauser (TU Graz) for the programming tutorials.

The start was made by Prof. van der Vegt, introducing basic concepts of space-time discretization for the advection-diffusion equation and compressible Navier-Stokes Equation. Prof. Hesch gave an engineer’s perspective on the space-time approach with emphasis on the historical background, and finally Prof. Steinbach addressed space-time variational formulations in Bochner spaces and anisotropic Sobolev spaces with application to the heat equation and, extending the approach, to the instationary Stokes system. The lectures were accompanied by extensive programming tutorials led by Julia Hauser. The summer school was hosted by the Institute of Applied Mathematics at Leibniz University Hannover and financially supported by the same and by the Dr.-Klaus-Körper-Stiftung, and the organization and realization was supported by Prof. Sven Beuchler, Natascha Krienen, Tim Haubold and many others. Participants emphasized that they appreciated the atmosphere, size and structure of the group, the time available for programming, and last but not least, the lectures.

As an organizer, I enjoyed the summer school very much as well, which to organize was a very intensive and instructive experience.



Foto: Peter Ulrich Heim

GAMM MITGLIED WERDEN!

JAHRESBERICHT 2019 DES
GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE
OPERATORTHEORIE



Birgit Jacob



Christian Seifert



Martin Grothaus



Christiane Tretter

Der Fachausschuss Angewandte Operatortheorie fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, deren Arbeitsgebiet in der Anwendung und Theorie von operatortheoretischen Methoden 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 Fachausschusses 2019:

- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2019. Organisation: Olaf Post (Uni Trier) und Jonathan Rohleder (Stockholm University) <https://jahrestagung.gamm-ev.de/index.php/2019/2019-scientific-program/2019-sections>
- Workshop of the GAMM Activity Group „Applied Operator Theory“, Kaiserslautern, 29.-31. Mai 2019. Organisation: Martin Grothaus und Torben Fattler (Kaiserslautern) <https://www.mathematik.uni-kl.de/fuana/aktivitaeten/workshop-operator-theory/>
- Special Session „Spectral Theory and Differential Operators“ bei IWOTA 2019, Lissabon, 22.-26. Juli 2019. Organisation: Andrii Khrabustovskyi (Graz), Olaf Post (Trier) und Carsten Trunk (Ilmenau) <https://iwota2019.math.tecnico.ulisboa.pt/special>
- Special Session „Semigroups and Evolution Equations“ bei IWOTA 2019, Lissabon, 22.26. Juli 2019. Organisation: Christian Budde (Wuppertal, now at North West Univesity, South Africa) und Christian Sei-

fert (Hamburg) <https://iwota2019.math.tecnico.ulisboa.pt/special>

- Special Session „Functional calculus, spectral sets and constants“ bei IWOTA 2019, Lissabon, 22.26. Juli 2019. Organisation: Lukasz Kosinski (Kraków), Felix Schwenninger (Twente) und Michał Wojtylak (Kraków) <https://iwota2019.math.tecnico.ulisboa.pt/special>
- Asymptotic Analysis & Spectral Theory, September 30–October 4, 2019, University Paris-Sud, Orsay, France. Organisation: Valentina Franceschi (Sorbonne University), Konstantin Pankrashkin (HU Berlin) und Olaf Post(Trier) <http://aspect19.blogspot.com/>
- Operator Theory and Krein Spaces (dedicated to the memory of Hagen Neidhardt), Wien, Dezember 19-22, 2019. Organisation: Jussi Behrndt (Graz), Aleksey Kostenko (Wien), Raphael Pruckner (Wien) und Harald Woracek (Wien). <https://www.asc.tuwien.ac.at/~otind/OTKR2019/>

Geplante Aktivitäten des Fachausschusses 2020:

- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2020. Organisation: Birgit Jacob und Hafida Laasri (Bergische Universität Wuppertal). 3rd Workshop on Stability and Control of Infinite-Dimensional Systems (SCINDIS 2020), Wuppertal, October 5-7, 2020. Organisation: Sergey Dashkovskiy (Würzburg), Birgit Jacob (Wuppertal), Andrii Mironchenko (Passau) und Fabian Wirth (Passau). <https://www.fan.uni-wuppertal.de/de/scindis-2020.html>

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

OPTIMIERUNG MIT PARTIELLEN
DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Anton Schiela



Winnifried Wollner

Der Fachausschuss fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit aller Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Industrievertretern, die an der Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen interessiert sind. Er vertritt außerdem das Fachgebiet innerhalb der GAMM.

Das Treffen des FA fand 2019 im Rahmen der ICIAM in Valencia statt. Mitglieder des FA haben an zahlreichen Konferenzen und Workshops teilgenommen und ebensolche Veranstaltungen mit organisiert. Zu nennen sind hier insbesondere

- die GAMM Jahrestagung 2019 in Wien
- der Workshop Optimal Control and Inverse Problems (OCIP) an der TU München

- die MAFELAP in Uxbridge, Großbritannien
- der ICIAM Tagung in Valencia, Spanien
- der International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT) in Berlin

Eine erweiterte Liste von Veranstaltungen sowie bevorstehende Tagungsaktivitäten für 2020 werden über die Homepage des Fachausschusses <http://www.gamm.optpde.net> bekanntgegeben. Das nächste Jahrestreffen wird im Rahmen eines gemeinsamen Workshops mit dem Fachausschuss ‘Dynamik und Regelungstechnik’ am 2. und 3. April in Bayreuth stattfinden.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANALYSIS PARTIELLER
DIFFERENTIALGLEICHUNGEN

Helmut Abels



Dorothee Knees



Carolin Kreisbeck

Der Fachausschuss „Analysis partieller Differentialgleichungen“ fördert den wissenschaftlichen Austausch von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die in unterschiedlichen Bereichen der Analysis partieller Differentialgleichungen arbeiten, verstärkt und koordiniert diesen. Insbesondere soll die Interaktion zwischen unterschiedlichen Forschungsgemeinschaften und Anwendungsgebieten intensiviert werden und damit ein wichtiger Wissenstransfer geschaffen werden. Seit der Neuwahl im September besteht der Vorstand aus: Helmut Abels (stellvertretender Vorsitzender), Dorothee Knees (Vorsitzende), Carolin Kreisbeck (stellvertretende Vorsitzende), Martin Kružík, Matthias Röger, Marita Thomas und Mathias Wilke. Anträge auf Aufnahme in den Fachausschuss können jeder Zeit an die Vorsitzende (Dorothee Knees, e-mail: gammnapde@mathematik.uni-kassel.de) gestellt werden.

Genauere Informationen findet man auf der Web-Seite des Fachausschusses (<http://www.uni-regensburg.de/mathematics/partial-differential-equations/index.html>).

Im vergangenen akademischen Jahr waren unsere Mitglieder an der Organisation folgender Konferenzen, Workshops und Schulen beteiligt: Vom 9. bis 13. September 2019 fand am WIAS Berlin das siebte Jahrestreffen des Fachausschusses als Teil des Workshops „PDE 2019: Partial Differential Equations in Fluids and Solids“ mit insgesamt 64 Teilnehmern statt (Organisation: H. Abels, K. Disser, H.-C. Kaiser, M. Mielke, M. Thomas). Die Vortragsthemen reichten von aktuellen Entwicklungen in der Modellierung, Analysis und Numerik von komplexen Fluiden, Tumorwachstum und geophysikalischen Phänomenen, über neue variationelle Methoden zur asymptotischen Analyse von dünnen Strukturen, bis hin zu Fortschritten bezüglich Fragen der Fluid-Struktur-Kopplung und der stochastischen Homogenisierung.

Auf der GAMM-Jahrestagung 2019 in Wien hielt unser Mitglied Dieter Bothe einen Plenarvortrag und die Sektion „Applied Analysis“ wurde von Patrick Dondl und Ulisse Stefanelli organisiert.

Am 5./6. November 2018 wurde an der Universität Regensburg der Workshop „Women in Mathematical Materials Science“ abgehalten (Organisation: A. Pluda). Von Januar bis April 2019 fand unter Organisation von E. Spadaro, L. Székelyhidi Jr. und G. Weiss das Trimester Programm „Evolution of interfaces“ am Hausdorff Institut in Bonn statt. H. Abels, G. Dolzmann, H. Garcke, G. Grün und A. Rüländ organisierten vom 25. bis 28. März 2019 den COPDESC-Workshop in Regensburg. Außerdem gab es an der Uni-

versität Freiburg einen dreitägiger Workshop zum Thema „Analysis, Simulation, and Modelling of Elastic Curves“ (6.-8. Mai 2019), organisiert durch S. Bartels, P. Dondl und E. Kuwert. Die internationale Konferenz „Fluids and Variational Methods“ am Renyi Institute in Budapest wurde vom 10. bis 14. Juni 2019 abgehalten (Organisatoren: K. Boroczky, L. Székelyhidi Jr.). In der ersten Juliwoche 2019 gab es den Workshop „Calculus of Variations on Schiermonnikoog“ in den Niederlanden (Organisation: C. Kreisbeck, A. Ritorto, D. Engl). Auf der EquaDiff 2019 in Leiden (8.-12. Juli 2019) waren einige unserer Mitglieder als Sprecher und Organisatoren von Minisymposia vertreten. Die „9th Singular Days“ wurden von D. Knees, M. Specovius-Neugebauer, A. Stylianou in Kassel organisiert (17.-20. September 2019). Von 23.-27. September wurde die Hausdorff-School „Modelling and analysis of evolutionary problems in materials science“ in Bonn abgehalten (Organisatoren: M. Bonacini, S. Schwarzacher, J. Velázquez).

Auch für das nächste Jahr sind zahlreiche Aktivitäten mit Beteiligung von Mitgliedern des Fachausschusses geplant: Das achte Jahrestreffen wird vom 30. September bis 2. Oktober am IST in Klosterneuburg stattfinden (Organisation: J. Fischer). Bei der GAMM-Jahrestagung 2020 in Kassel werden Dorothee Knees und Marita Thomas die Sektion „Applied Analysis“ leiten. Zudem gibt es vom 25.-29. November 2019 an der Universität Ulm eine Winterschule zum Thema „Gradient flows and variational methods in PDEs“.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

DYNAMIK UND REGELUNGSTHEORIE



Rolf Findeisen



Robert Seifried



Karl Worthmann

Der interdisziplinäre Fachausschuss „Dynamik und Regelungstheorie“ ist vom Zusammenspiel der drei Forschungsfelder Dynamik, mathematische Systemtheorie und Regelungstheorie geprägt und schlägt erfolgreich eine Brücke zwischen Angewandter Mathematik und Mechanik. Der Fachausschuss vereint Mitglieder verschiedenster Fachdisziplinen: von der Mathematischen Systemtheorie, der Regelungstechnik, der nichtlinearen Dynamik- und Schwingungstheorie, der Mehrkörperdynamik bis hin zu unterschiedlichsten Anwendungsfeldern wie Mechatronik, Energietechnik, Robotik, dem autonomen Fahren oder der Luft- und Raumfahrttechnik. Verbindende Klammer ist das mathematische Verständnis der Dynamik bei Steuerungen und Regelungen. Neben klassischen Fragestellungen spielen vermehrt Fragen der Analyse, Synthese und Beeinflussung dynamischer Systeme über Kommunikationsnetzwerke, die Betrachtung großer Systeme bestehend aus einer Vielzahl an Einzelsystemen, sowie die Verschmelzung klassischer Verfahren mit Techniken des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz eine Rolle.

Ein Ziel des Ausschusses ist es, die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Mathematik und den Ingenieurwissenschaften zu fördern. Hierzu finden unter anderem halbjährlich Workshops statt, an denen Professorinnen und Professoren, Promovierende, Studierende sowie Vertreterinnen und Vertreter aus der Industrie teilnehmen. Diese Workshops erlauben es, aktuelle Forschungsergebnisse zu diskutieren, auf Trends und Neuentwicklungen einzugehen und gemeinsame wissenschaftliche Kooperation anzustoßen und voranzubringen. Neben dem interdisziplinären Austausch liegt dem Ausschuss insbesondere die Einbindung des wissenschaftlichen Nachwuchses am Herzen. Der Fachausschuss interagiert mit zahlreichen anderen Organisationen, insbesondere der Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) des VDI/VDE im Rahmen der Fachausschüsse 1.30 „Modellbildung, Identifikation und Simulation in der Automatisierungstechnik“, 1.40 „Theoretische Verfahren der Regelungstechnik“ und 1.50 „Grundlagen vernetzter Systeme“.

Aktivitäten des Fachausschusses

Der Fachausschuss „Dynamik und Regelungstheorie“ tagte am 25. und 26. März 2019 an der TU Chemnitz. Die lokale Organisation des 33 Personen umfassenden Workshops übernahmen Prof. Dr.-Ing. Stefan Streif (FG Regelungstechnik und Systemdynamik) und Dr.-Ing. Dominik Kern vom Fachgebiet Technische Mechanik/Dynamik. Weiterhin fand ein Workshop am 16. und 17. September 2019 an der TU Ilmenau mit über 40 Teilnehmern und

ebenfalls mehr als zehn Vorträgen statt. Dieser wurde von den Kollegen Achim Ilchmann, Johann Reger, Thomas Sattel, Carsten Trunk und Karl Worthmann ausgerichtet. Besonders hervorzuheben ist die in Ilmenau beschlossene neue Struktur mit drei Vorsitzenden, um die Zusammenarbeit der verschiedenen Bereiche zu untermauern: Rolf Findeisen (OvGU Magdeburg) für die Regelungstheorie, Robert Seifried (TU Hamburg) für die Dynamik und Karl Worthmann (TU Ilmenau) für die Mathematische Systemtheorie. Zudem freuen wir uns über die neuen Mitglieder Martin Mönnigmann (RU Bochum), Pavel Osinenko (TU Chemnitz), Svenja Otto (TU Hamburg), Thomas Sattel (TU Ilmenau), Naim Bajcinca und Kristin de Payrebrune (TU Kaiserslautern), Tillmann Mühlpfordt (KIT Karlsruhe), Petro Feketa (CAU Kiel), Navid Noroozi und Stefan Palis (OvGU Magdeburg), Henrik Ebel, Simon Eugster und Malte Krack (U Stuttgart).

In gewohnter Weise war der Fachausschuss in die Organisation der GAMM-Jahrestagung 2019 in Wien, Österreich, eingebunden: So war P. Betsch (KIT Karlsruhe) Hauptvortragender. Die Sektion „S1 Multibody Dynamics“ wurde durch M. Krommer (TU Wien) und J. Gerstmayr (U Innsbruck) geleitet. Die Sektion „S5 Nonlinear Oscillations“ organisierten K. Ellermann (TU Graz) und L. Dostal (TU Hamburg). Die Sektion „S20 Dynamics and Control“ verantworteten S. Lucia (TU Berlin) und R. Geiselhart (U Ulm). Daneben organisierten J. Fehr (U Stuttgart) und C. Himpe (MPG Magdeburg) das Minisymposium „Research software and -data“, W. Seemann (KIT Karlsruhe), A. Boyaci (ABB AG) und D. Kern (TU Chemnitz) das Minisymposium „Coupled problems in rotating machinery“ und A. Mironchenko (U Passau) und F. Schwenninger (U Hamburg) das Minisymposium „Input-to-state stability of distributed parameter systems“.

Die Mitglieder des Fachausschusses waren daneben in die Organisation zahlreicher Veranstaltungen, die in engem Zusammenhang zu den Themen des Fachausschusses stehen, beteiligt, wie zum Beispiel:

13th Elgersburg Workshop 2019 sowie das Festkolloquium zu Ehren Diederich Hinrichsen vom 24.02. - 01.03 in Elgersburg mit 71 Teilnehmern; Organisatoren: Lars Grüne (U Bayreuth), Achim Ilchmann (TU Ilmenau) und Eva Zerz (RWTH Aachen)

Geplante zukünftige Aktivitäten:

Lars Grüne, Achim Ilchmann und Eva Zerz organisieren den 14. Elgersburg Workshop vom 16. bis zum 20. Februar

2020 in Elgersburg, siehe <https://www.tu-ilmenau.de/math/forschung/tagungen/elgersburg-workshops/elgersburg-workshop-2020/>. Eingeladene Sprecher sind T. Reis (U Hamburg), P. Kotyczka (TU München), S. Ober-Blöbaum (U Oxford), K. Reinschke (TU Dresden), C. Mehl (TU Berlin), M. Herty (RWTH Aachen), R. Seifried (TU Hamburg), C.M. Hackl (H München), T. Faulwasser (KIT Karlsruhe), F. Coloni (U Augsburg) und K. Worthmann (TU Ilmenau).

Lars Grüne und Anton Schiela richten ein gemeinsames Treffen mit dem Fachausschuss „Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen“ am 2. und 3. April 2020 an der U Bayreuth aus, siehe <http://num.math.uni-bayreuth.de/de/>

[conferences/gamm_fa_2020/](https://www.gamm-fa-2020/). Zudem findet im üblichen Zweijahresturnus die gemeinsame Sitzung mit den bereits erwähnten GMA Fachausschüssen 1.30 und 1.40 vom 21. bis 25. September in Anif, Österreich, statt. Der Fachausschuss „Dynamik und Regelungstheorie“ wird traditionell am Mittwoch, dem 23. September, tagen.

Zudem möchten wir auf den IFAC World Congress 2020 vom 12. bis 17. Juli in Berlin hinweisen und zur Teilnahme auffordern, siehe <https://www.ifac2020.org>. Hier sind unser Vorsitzender „Regelungstheorie“ Rolf Findeisen und Sandra Hirche die Vorsitzenden des internationalen Programmkomitees.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MATHEMATISCHE SIGNAL- UND BILDVERARBEITUNG (MSIP)



Gitta Kutyniok



Felix Krahmer



Stefan Kunis

Der Fachausschuss MSIP wurde im April 2012 ins Leben gerufen und hat zur Zeit bereits etwa 200 Mitglieder aus ca. 25 verschiedenen 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 u.a. einem regelmäßigen Newsletter und einem Job-Forum.

Im Jahr 2019 wurden von den Mitgliedern des Fachausschusses u.a. folgende Veranstaltungen organisiert:

- Sektion “Mathematical signal and image processing”, Jahrestagung der GAMM 2019. Organisation: K.Kirisits, G.Mercier, O. Scherzer (Wien)
- YR Minisymposium “Mathematical Theory of Deep Learning”, Jahrestagung der GAMM 2019. Organisation: P. Petersen (Oxford), R. Reisenhofer (Wien)
- Session “SPP 1798: Compressed Sensing in Information Processing (CoSIP)”, Jahrestagung der GAMM 2019. Organisation: G. Kutyniok (Berlin), R. Mathar (Aachen).
- Annual Meeting of the GAMM MSIP, TUM Conference Site, Organisation: M.Burger (Erlangen), B. Forster (Passau), F. Krahmer (München), S. Kunis (Osnabrück).
- IPAM “Geometry and Learning from Data in 3D and Beyond 2019” Organisation: G. Steidl (Kaiserslautern)
- Minisymposium “Theoretical Foundations of Deep Learning”, ICIAM 2019. Organisation: G. Kutyniok (Berlin), P. Petersen (Wien).

Von Mitgliedern unserer Fachgruppe wurden in diesem Jahr neue wissenschaftliche Fachgruppen/Gesellschaften gegründet. Von G. Kutyniok (Berlin) gemeinsam mit M. Stoll (Chemnitz) wurde die GAMM Fachgruppe “Computational and Mathematical Methods in Data Science“ gegründet. Desweiteren war M. Burger (Erlangen) federführend bei der Gründung einer „Gesellschaft für Inverse Probleme e.V.“

Für das Jahr 2020 sind u.a. bereits folgende Aktivitäten geplant:

- Sektion “Mathematical Signal and Image processing”, Jahrestagung der GAMM 2020. Organisation: G. Plonka (Göttingen), M. Möller (Siegen).
- Session “SPP 1798: Compressed Sensing in Information Processing (CoSIP)”, Jahrestagung der GAMM 2020. Organisation: G. Kutyniok (Berlin) und H. Rauhut (Aachen).
- Annual Meeting of the GAMM MSIP, TUM Conference Site, 30.03.-02.04.2020. Organisation: B.Forster (Passau), F.Krahmer (München), S.Kunis (Osnabrück), B. Schmitzer (München).
- First International SIAM Conference on “Mathematics of Data Science”, Cincinnati, USA, 5.-7. Mai 2020. Organisation: G. Kutyniok (Berlin), A. Pinar (Mercury) und J. Tropp (Pasadena).

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 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANALYSIS VON MIKROSTRUKTUREN



Kerstin Weinberg



Carsten Carstensen

Der Fachausschuss fördert die mathematische Modellierung mikromechanischer Phänomene sowie deren Analyse und numerische Simulation. Die Wechselwirkung von Mechanismen auf unterschiedlichen Skalen erfordert eine Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den angrenzenden Disziplinen der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie der Mathematik, da einerseits viele Fragen der Modellierung nicht geklärt sind und andererseits die Potentiale moderner mathematischer Methoden wie Homogenisierung und Relaxierung noch nicht angemessen Anwendung finden.

In diesem Jahr haben wir als besonderen Erfolg der Arbeit des Fachausschusses die Einwerbung eines Schwerpunktprogramms (SPP) der DFG zu berichten. Das Initiatorenteam Georg Dolzmann (als designierter Sprecher), Dorothee Knees, Joern Mosler, Klaus Hackl und Bernd Schmidt hat das SPP 2256 „Variationelle Methoden zur Vorhersage komplexer Phänomene in Strukturen und Materialien der Ingenieurwissenschaften“ in 2018 beantragt und in 2019 bewilligt bekommen. Die große Resonanz – das Programm ist mehrfach überzeichnet – bestätigt die Aktualität der Thematik unseres Fachausschusses. Die teilnehmenden Projekte werden bis Februar 2020 ausgewählt und ab Sommer 2020 finanziert werden.

Aktivitäten und Treffen des Fachausschusses

- Das 18. GAMM-Seminar on Microstructures fand unter großer Beteiligung des Fachausschusses mit zahlreichen renommierten Sprechern im Januar in Berlin statt (<http://www.wias-berlin.de/workshops/gamm2019/>)
- Dennis Kochmann hielt auf der GAMM-Tagung 2019 in Wien einen Hauptvortrag zu „Mechanical Metamaterials“.
- Auf der GAMM-Tagung 2019 waren Dennis Kochmann und Patrick Dondl Mitorganisatoren der Sektionen „Multiscales and Homogenization“ sowie „Applied Analysis“.
- Mit Beteiligung des Fachausschusses fand das GAMM Young Researcher Minisymposium: „Recent developments in damage mechanics“ statt;

organisiert von Klaus Hackl, Philipp Junker und Xiaoying Zhuang.

- Klaus Hackl und Dennis Kochmann koordinierten die CISM „Advanced School on Pattern Formation in Advanced Materials“ in Udine im Juli. Zu den Vortragenden gehörten Klaus Hackl, Dennis Kochmann und Georg Dolzmann.
- Alexander Mielke hielt einen Hauptvortrag zu „Gradient systems and evolutionary Gamma-convergence“ auf der Jahrestagung der DMV (Deutsche Mathematische Vereinigung) im September in Karlsruhe.
- Spezielle Diskretisierungsmethoden liegen im Fokus des Fachausschusses und wurden im Juli auf der X-DMS in Lugano diskutiert. Kerstin Weinberg hielt einen Hauptvortrag.
- Alexander Mielke, Patrick Dondl, Patrizio Neff und Kerstin Weinberg sprachen auf dem von Hans-Dieter Alber organisierten „Workshop on Mathematical Methods in Continuum Physics and Engineering: Theory, Models, Simulation“ im November in Darmstadt.

Geplante zukünftige Aktivitäten:

- Das 19th-GAMM-Seminar on Microstructures wird vom 18.-19.1.2020 in Freiburg den Fachausschuss zusammen bringen, organisiert wird es von Patrick Dondl und Dennis Kochmann (<https://home.mathematik.uni-freiburg.de/micro2020/>).
- Zur Unterstützung junger Wissenschaftler im Fachausschuss findet am 17.1.2020 ein eigenes Junioren-Seminar statt, organisiert von Annika Bach und Thorsten Bartel.
- Kerstin Weinberg organisiert zusammen mit Anna Pandolfi und Michael Ortiz das IUTAM Symposium „Computational Fracture Mechanics in Multifield Problems“ vom 2.-6.11.2020 in Bad Honnef (https://www.mb.uni-siegen.de/fkm/tagungen/upcoming/2020_iutam.html).

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

COMPUTATIONAL AND MATHEMATICAL
METHODS IN DATA SCIENCE

Gitta Kutyniok



Martin Stoll

Der Fachausschuss Computational and Mathematical Methods in Data Science (COMinDS) wurde im März 2019 ins Leben gerufen und hat zur Zeit bereits fast 160 Mitglieder aus mehr als 20 verschiedenen Ländern.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Fachgebiets Data Science ist es das Ziel des Fachausschusses die enormen Datenmengen aus allen wissenschaftlichen, sowie industriellen Gebieten mit mathematischen Methoden effizient und nachvollziehbar zu untersuchen. Dabei sind beispielsweise die Entwicklung und Analyse von Techniken des Deep Learnings oder das sogenannte Scientific Machine Learnings, welches Computational Science and Engineering mit Machine Learning verbindet, wichtige Schwerpunkte in der Arbeit von COMinDS.

Ein weiteres erklärtes Ziel ist die Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern/innen und die Verbesserung von interdisziplinärer Forschung. Dazu dient die Webseite www.tu-chemnitz.de/mathematik/wire/cominds/ als zentrale Kommunikationsplattform, mit einem Job- und Konferenz-Forum.

Im Jahr 2019 wurden von den Mitgliedern des Fachausschusses folgende Veranstaltungen organisiert:

- First Annual GAMM-COMinDS Workshop “Computational and Mathematical Methods in Data Science”, Berlin, 24.-25.10.2019. Organisation: Gitta Kutyniok (TU Berlin), Christof Schütte (Zuse Institut, Berlin), Tim Conrad (FU Berlin), Martin Stoll (TU Chemnitz). Hauptredner: Francis Bach (INRIA, ENS, France), Alexandra Carpentier (OVGU, Germany), Arnulf Jentzen (Uni Münster, Germany)

- Workshop on „Mathematics of Deep Learning 2019“, Berlin 3.-5.12.2019. Organisation: Martin Eigel (WIAS Berlin), Peter Friz (TU Berlin/WIAS Berlin), Reinhold Schneider (TU Berlin), Volodia Spokoiny (HU Berlin/WIAS Berlin)

Für das Jahr 2020 sind weitere Aktivitäten in Vorbereitung. Unter anderem haben die Mitglieder des Fachausschusses schon bereits folgende Veranstaltungen geplant:

- Workshop on „Scientific Machine Learning“ Köln, 8.-10.01.2020. Organisation: Gregor Gassner, Alexander Heinlein, Axel Klawonn, Ulrich Lang, Achim Tresch (alle Uni Köln)
- SIAM Conference on Mathematics of Data Science (MDS20), Cincinnati Organisation: Gitta Kutyniok (TU Berlin), Ali Pinar (Sandia), Joel Tropp (Caltech).
- Second Annual GAMM-COMinDS Workshop “Computational and Mathematical Methods in Data Science”, Leipzig, September 2019. Organisation: Andre Uschmajew, Bernd Sturmfels (MPI MIS).

Zusätzliche Informationen zu diesen und weiteren Aktivitäten des Fachausschusses sind auf der Seite www.tu-chemnitz.de/mathematik/wire/cominds/ zu finden. Bei Interesse laden wir jeden herzlich dazu ein, Mitglied zu werden.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

STOCHASTISCHE OPTIMIERUNG IN DER TECHNIK



Thomas Vietor

1. Zusammenfassender Bericht der Aktivitäten

Zur Vorbereitung weiterer Kooperationen und der weiteren Forschung wurde ein Antrag im Rahmen der Ausschreibung des BMBF zum Thema Forschungscampus gestellt, an dem der Leiter des FA maßgeblichen Anteil hatte. Dieser Antrag wurde im September 2012 vom BMBF genehmigt: Open Hybrid LabFactory, Wolfsburg. Wie in den vergangenen Jahren berichtet, stellt der BMBF-geförderte Forschungscampus „Open Hybrid LabFactory“ eine Basis für die Zusammenarbeit auch in dem GAMM-Fachausschuss dar. Im Rahmen der durchzuführenden Projekte kommt es zur Weiterentwicklung und Anwendung stochastischer Verfahren in der Optimierung, erster Schwerpunkt ist die Strukturoptimierung. Damit ist für zukünftige Aktivitäten im Rahmen des GAMM FA eine weitere Plattform geschaffen.

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.

Im Jahr 2019 wurden die im folgenden Abschnitt auf-

geführten Veranstaltungen durchgeführt. Weitere Veranstaltungen wurden vorbereitet, über die dann im Jahr 2020 berichtet wird.

2. Publikationen/Konferenzen/Sessions 2019

Minisymposium GAMM-Jahrestagung 2019 in Wien: Das Minisymposium bringt führende Wissenschaftler aus Universität und Industrie zum Thema Topologie-Optimierung zusammen. Nach dem erfolgreichen Welt-Kongress WCSMO-12 mit mehr als 500 Teilnehmern in Braunschweig im Jahr 2017 (<http://www.wcsmo12.org/>), stärkt das von der GAMM veranstaltete Mini-Symposium das Thema der Strukturoptimierung in Europa.

Organisations-Team: Thomas Vietor (TU Braunschweig), Axel Schumacher (BU Wuppertal), Sierk Fiebig (Volkswagen, Braunschweig)

Plenarvortrag Shanghai-Stuttgart Symposium: Future on Urban and Rural Mobility Tongji-Universität, Oct. 17-18th.

Advanced Vehicle Energy Concepts and Structures for China (AVECS): “7th Joint Symposium” an der Tongji Universität, Shanghai, PR China, 21 – 22 Okt 2019 mit Beteiligung der Tongji Universität, der University of Ontario, Canada und Politecnico di Torino, Italy.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE UND NUMERISCHE LINEARE ALGEBRA (ANLA)



Jörg Liesen



Stefan Güttel

Der Fachausschuss fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit im Bereich der Angewandten und Numerischen Linearen Algebra. Er hat derzeit 84 Mitglieder aus 24 Ländern. Neben seiner Webseite (gammanla.wordpress.com) hat der Fachausschuss einen Twitter Account (@gamm_anla) mit aktuell 275 Followern. Auf Twitter findet man unter anderem Konferenzankündigungen, Fotos und Berichte unserer Aktivitäten.

Jährlich richtet der Fachausschuss einen Workshop mit einem speziellen Fokusthema aus. Der Workshop 2019 fand im September in Chemnitz statt. Das lokale Organisationsteam wurde von Martin Stoll geleitet. Zum Fokusthema „Linear Algebra Challenges in the Sciences“ waren als Hauptvortragende Andreas Frommer (U Wuppertal), Alison Ramage (U Strathclyde) und Reinhold Schneider (TU Berlin) eingeladen. Im September 2020 wird der Workshop in Potsdam stattfinden und von Melina Freitag organisiert.

Die ANLA-Sektion auf der GAMM Jahrestagung 2019 in Wien wurde organisiert von Alexander Heinlein (U Köln) und Oliver Rheinbach (TU Freiberg) und verzeichnete eine Rekordbeteiligung mit insgesamt 39 Sprecherinnen und Sprechern aus 11 verschiedenen Ländern. Die Vorträge waren sehr vielseitig und befassten sich unter anderem mit Tensorapproximation, iterativen Methoden für lineare Gleichungssysteme und Matrixgleichungen, wie beispielsweise Krylov-Unterraum-Verfahren und Mehrgitterlöser, oder einer Anwendung des Maschinellen Lernens im Zusammenhang mit Gebietszerlegungsverfahren. Ebenfalls vom Fachausschuss vorgeschlagen und von den ANLA Mitgliedern Jörg Fehr (U Stuttgart) und Christian Himpe (MPI Magdeburg) organisiert war das Minisymposium zum Thema „Research software and -data: How to ensure replicability, reproducibility, and reusability“ mit 6 Sprecherinnen und Sprechern.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES COMPUTATIONAL BIOMECHANICS



Tim Ricken



Silvia Budday



Oliver Röhrle



Der in 2018 gegründete Fachausschuss hat zum Ziel, die vielfältigen Aktivitäten im Bereich der rechnergestützten Biomechanik aktiv zu unterstützen und eine gemeinsame Plattform zu geben. Hierzu gehören die Organisation von Mini-Symposien auf wissenschaftlichen Tagungen, die Unterstützung von laufenden oder geplanten strukturierten Forschungsinitiativen und Bündelung und Verbreitung von für die rechnergestützte Biomechanik relevanten Inhalten. Ein zentrales Anliegen des Fachausschusses ist es zudem, eine gemeinsame Definition und Abgrenzung der rechnergestützten Biomechanik zu erarbeiten und mögliche Chancen aber auch Risiken für die Zukunft zu identifizieren.

Von den Mitgliedern des Ausschusses wurden in 2019 folgende Aktivitäten durchgeführt:

- Konstituierende Sitzung am 21. Feb. 2019 auf der GAMM Tagung in Wien. Es wurde eine Satzung beschlossen und folgender Vorstand gewählt: Tim Ricken (Vorsitzender, Stuttgart), Silvia Budday (Stellv. Vorsitzende, Erlangen) und Oliver Röhrle (Stellv. Vorsitzender, Stuttgart).
- SPP Antrag Einreichung am 15. Okt. 2019. Titel: „Robuste Kopplung kontinuumsbiomechanischer in silico Modelle für aktive biologische Systeme als Vorstufe klinischer Applikationen – Co-Design von Modellierung, Numerik und Nutzbarkeit“. Programmausschuss: Oliver Röhrle (Koordinator, Stuttgart), Tim Ricken (Stellv. Koordinator, Stuttgart), Rainer Bader (Rostock), Silvia Budday (Erlangen), Axel Klawonn (Köln). Die Motivation des Antrages besteht darin, das große Potential von in silico Modellen in der Medizin besser nutzbar zu machen. Die Herausforderung dabei ist, die hohe Komplexität aktiver biologischer Systeme zu fassen, wofür eine Zusammenarbeit von Medizin, Ingenieurwissenschaften, Numerischer Mathematik (Numerik) und Informatik notwendig ist. Mit dem beantragten SPP soll deshalb ein interdisziplinärer Verbund geschaffen werden. Ziel ist die Erforschung

neuer methodischer Ansätze zur Kopplung mehrerer Skalen oder Modelle. Dabei sollen die physiologischen Funktionen und die dreidimensionale Organisation biomechanischer Systeme berücksichtigt werden. Ziel des SPPs ist es, die vorhandenen methodischen Grundlagen als Schlüsselqualifikationen weiterzuentwickeln und damit die Generierung robuster biomechanischer Modelle für den Einsatz in der klinischen Praxis zu ermöglichen.

- Erster Workshop GAMM FA „Computational Biomechanics“ vom 05.-06.11.2019 in Stuttgart. Auf dem Workshop haben sich die Teilnehmer über ihre aktuellen Forschungsaktivitäten im Bereich der rechnergestützten Biomechanik ausgetauscht und diskutierten mögliche Perspektiven für die künftigen Entwicklungen in diesem Bereich. Aktuelle Themen wie z.B. Maschinelles Lernen, Mehrskalen- und Mehrphasenmodellierung, Gekoppelte Systeme, Numerische Robustheit und Unschärfequantifizierung wurden mit Blick auf die Biomechanik beleuchtet.

Für 2020 wollen wir auf folgende Veranstaltungen hinweisen:

- Minisymposium “Computational Modeling of Active Biological Systems” auf der WCCM 2020 in Paris. Das von dem Vorstand des Ausschusses organisierte Minisymposium hat zum Ziel, die Sichtbarkeit zu erhöhen und die internationale Vernetzung zu stärken. Interessierte sind gerne eingeladen, mit einem eigenen Beitrag an dem Minisymposium teilzunehmen.
- Workshop “Musculoskeletal Systems” wird von Oliver Röhrle und Syn Schmitt (beide Stuttgart) am 16.-17. Juli 2020 in Stuttgart organisiert. Ziel des Workshops ist es, aktuelle Forschungsarbeiten und Trends im Gebiet der „Musculoskeletal Systeme“ aus verschiedenen Richtungen zu diskutieren. Dazu werden ausgewiesene internationale Experten als Keynotes eingeladen.
- Der zweite Workshop des GAMM Fachausschusses „Computational Biomechanics“ wird vom 21.-22. September 2020 in Erlangen stattfinden und von Silvia Budday organisiert. Interessierte sind schon jetzt eingeladen, sich für den Workshop anzumelden (per Email an silvia.budday@fau.de).

Jeder ist recht herzlich eingeladen, sich aktiv in dem Fachausschuss zu beteiligen. Bei Interesse senden Sie bitte eine kurze Email an die Sprecher des Fachschusses (tim.ricken@isd.uni-stuttgart.de), sodass wir einen entsprechenden Email-Verteiler aufsetzen können.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES
**COMPUTATIONAL SCIENCE
 AND ENGINEERING (CSE)**



Andrea Walther



Christian Hesch



Matthias Boltzen

Der Fachausschuss (FA) „Computational Science and Engineering“ oder kurz „CSE“ wurde 2012 gegründet und widmet sich der Verknüpfung von Mathematik, Ingenieur- bzw. Naturwissenschaften und Informatik bei der Simulation und Optimierung von anwendungsrelevanten Problemen. Zur Erreichung dieses Ziels werden in einem umfassenden Sinn Simulationswissenschaften aus den unterschiedlichen Bereichen der Modellierung, numerische Approximation, Algorithmen und Software eng miteinander verzahnt. Aus diesem Grund stammen die derzeit über 107 vollen und assoziierten Mitglieder des Fachausschusses aus dem ganzen Spektrum der angesprochenen Disziplinen.

Das Jahr 2019 begann mit der SIAM CSE Konferenz in Spokane, Washington, bei welcher der GAMM Fachausschuss kooperierte. Zahlreiche Mitgliedern nahmen an dieser Konferenz teil, die Sprecherin des FA Andrea Walther war Mitglied des Programmkomitees. Die Kooperation des Fachausschusses mit der SIAM Activity Group gleichen Namens wird weiter fortgesetzt und wird auch Einfluss auf die nächste SIAM CSE Konferenz haben.

Zur 90. Jahrestagung der GAMM in Wien trug der FA CSE aktiv bei. So wurde z.B. der Hauptvortragende Barry Smith (Argonne National Laboratory, Chicago) vom FA CSE mit vorgeschlagen. Des Weiteren waren in der dem FA CSE nahestehenden Sektion Scientific Computing beachtliche 39 Vorträge angemeldet. Einen herzlichen Dank geht aus diesem Grund an die Organisatoren der Sektion Jens Saak (MPI Magdeburg) und Hartwig Anzt (KIT Karlsruhe). Das jährliche Treffen des FA CSE fand ebenfalls auf der GAMM Tagung in Wien statt. Nachdem Oliver Röhrle nicht mehr als Sprecher kandidierte wurde zusätzlich zu der Wiederwahl von Matthias Boltzen (Universität Wuppertal) und Andrea Walther (Humboldt-Universität zu Berlin) als dritter Sprecher aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften Christian Hesch von der Universität Siegen gewählt. Auf der ICIAM war der FA CSE durch ein zweiteiliges Minisymposium mit insgesamt acht Vorträgen zum Thema „Multi-scale modeling and simulation in metal forming“ organisiert von Dirk Rose (KU Leuven) und Axel Klawonn (Universität zu Köln) vertreten.

Sehr präsent war der FA CSE einer breiten Öffentlichkeit beim traditionellen Wasserumzug Nabada (schwäbisch für „Hinunterbaden“) auf der Donau, der jedes

Jahr in Ulm am Nachmittag des sogenannten Schwörmontags, dem vorletzten Montag im Juli, stattfindet. Neben Themenbooten, die an den rheinischen Karneval erinnern, befinden sich tausende freie „Nabader“ im Wasser der Donau, um auf selbst gebastelten und sonstigen Fahrgeräten die Donau hinabzutreiben und sich gegenseitig nass zu spritzen. Dieses traditionelle Volksfest hat Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Ulmer Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (UZWR) und Studierende des CSE-Studiengangs animiert, selber die Konstruktion eines größeren Floßes in Angriff zu nehmen. So entstanden Konstruktionsideen, die natürlich numerisch simuliert wurden, bevor es an die Fertigung von Auftriebskörpern ging. Diverse Optimierungsaufgaben (Gewicht, Auftrieb, Stabilität, etc.) wurden numerisch gelöst. Schließlich wurde das fertige Floß ausführlich getestet, bevor es beim Nabada eingesetzt wurde. Anlässlich der Gründung der Ulmer GAMM-Nachwuchsgruppe hat das UZWR dieses Floß der Nachwuchsgruppe übereignet, so dass der FA CSE hoffentlich auch in den kommenden Jahren beim Nabada sichtbar sein wird, weitere Informationen sind unter <http://www.mb.uni-siegen.de//nm/gamm-cse/news/article-2019-4.html> zu finden.

Der Workshop des Fachausschusses wurde 2019 von Karsten Urban (Uni Ulm) am 20. und 21. November im Schloss Reinsburg, Günzburg, organisiert. Als Keynote Sprecher waren Martin Burger (Universität Erlangen), Andrea Walther (Humboldt-Universität Berlin) und Joachim Weickert (Universität des Saarlandes) eingeladen. Dies unterstreicht die Zusammenarbeit in CSE, bei der komplementäre Expertise in den Ingenieurwissenschaften, der Modellierung, der Simulation und im Hochleistungsrechnen zusammengebracht werden.

Auch im kommenden Jahr wird wieder ein Workshop des FA CSE stattfinden. Zeit und Ort des Workshops werden noch per Email und auf der völlig neu gestalteten Webseite des Fachausschusses <http://www.mb.uni-siegen.de/nm/gamm-cse/> bekannt gegeben.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES PHASENFELDMODELLIERUNG



Laura De Lorenzis



Bernd Markert

Der Fachausschuss Phasenfeldmodellierung ist eine interdisziplinäre Zusammensetzung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Bereichen Mathematik, Materialwissenschaft und Mechanik. Das thematische Spektrum umfasst Formulierungen für Erstarrungsvorgänge und allgemeine Phasentransformationen, sowie Modellierungsansätze in Gebieten wie Bruchmechanik, Benetzung und Topologieoptimierung, und deren numerische Umsetzung. Neueste Ergebnisse aus dem Bereich der Phasenfeldmodellierung wurden am 7.- 8.2.2019 auf dem „6th GAMM Workshop on Phase Field Modeling“ in Karlsruhe präsentiert und diskutiert. Das Seminar wurde von Frau Prof. Britta Nestler und Herrn Dr. Daniel Schneider (KIT) organisiert. Am 3.- 8.3.2019 fand an der Banff International Research Station (Kanada) der Workshop „Phase-field models of fracture“, organisiert von Frau Prof. De Lorenzis zusammen mit Herrn

Prof. Blaise Bourdin (USA) und Herrn Prof. Masato Kimura (Japan) statt. In Braunschweig wurde am 12.-14.6.2019 die „6th International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2019)“ durch Frau Prof. De Lorenzis zusammen mit Herrn Prof. Olivier Allix (Frankreich), Herrn Prof. Milan Jirasek (Tschechische Republik) und Herrn Prof. Nicolas Moes (Frankreich) organisiert.

Das „7th GAMM Workshop on Phase Field Modeling“ wird von Herrn Prof. Ralf Müller und Herrn Dr. Alexander Schlüter (Universität Kaiserslautern) am 10.-11.2.2020 in Kaiserslautern veranstaltet.

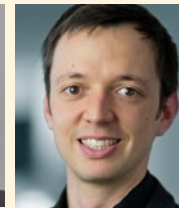
Termin 1/2020:

10.-11.2.2020, Kaiserslautern, 7th GAMM Workshop on Phase Field Modeling.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES DATA-DRIVEN MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF MICROSTRUCTURED MATERIALS (AG DATA)



Benjamin Klusemann



Felix Fritzen

Der GAMM Fachausschuss Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials (AG Data) hat das Ziel die vielfältigen Aktivitäten aus den Bereichen der datengetriebenen Modellierung, des maschinellen Lernens und der Mehrskalensimulation von komplexen Materialien und Verbundwerkstoffen innerhalb der GAMM und darüber hinaus zu verknüpfen und zu bündeln. Der diesjährige Workshop New Challenges in Data-Driven Modeling, wurde von Stefanie Reese und Mitarbeitern an der RWTH Aachen am 6. und 7. Mai 2019 erfolgreich durchgeführt. Insbesondere zeichnete sich die Veranstaltung durch eine besonders rege Diskussion zwischen den rund 30 Teilnehmern aus. Im Vergleich zu den Workshops in den letzten zwei Jahren zeigte sich eine deutliche Zunahme der Beiträge aus den Bereichen der datengetriebenen Modellierung sowie des maschinellen Lernens mit der Anwendung für mehrskalige Materialien. Neben einer intensiven Diskussion der wissenschaftlichen Vorträge wurde sich über die nächsten möglichen Schritte und Aktivitäten der GAMM AG Data ausgetauscht sowie aktuelle Entwicklungen zur Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) besprochen. Die NFDI

tangiert direkt die Frage nach der Datennutzung und Datenbereitstellung, was insbesondere auch für die Aktivitäten der AG Data eine wichtige Grundlage darstellt. Die Anträge der NFDI Konsortien wurden bis zum 15. Oktober entgegengenommen, und die Förderentscheidungen werden die Aktivitäten in allen Wissenschaftsbereichen beeinflussen. Der Umgang mit Daten und Software und deren Veröffentlichung wurde beim Workshop ebenfalls lebhaft diskutiert. Auch in diesem Bereich konnten innerhalb weniger Jahre deutliche Verbesserungen beobachtet werden, beispielsweise hinsichtlich der freien Zugänglichkeit zu Software. Die Aktivitäten des Fachausschusses, welche bereits durch die Organisation von Minisymposium der Mitglieder des Fachausschusses sichtbar sind, sollen intensiviert werden. Es wurde beschlossen, dass das nächste Jahrestreffen in Stuttgart am 11. und 12. Mai 2020 stattfinden wird. Die Organisation wird erfreulicherweise von Tim Ricken und seinen Mitarbeitern übernommen. Weitere Informationen werden zeitnah über die Homepage und die Mailingliste bekanntgegeben.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

EXPERIMENTELLE FESTKÖRPERMECHANIK



Stefan Hartmann



Stefan Diebels

Die Ziele des GAMM-Fachausschusses Experimentelle Festkörpermechanik liegen in der Förderung der Kommunikation innerhalb und außerhalb der deutschen Mechanik zu Themen, die experimentelle Methoden und deren Auswertung zur Modellierung, Kalibrierung und Validierung von Materialeigenschaften berühren. Im März 2019 sind erste Kooperationsgespräche mit Kollegen aus Frankreich in Paris erfolgt, da die dortigen Kollegen gerade im Bereich der Auswertung bildgebender Verfahren führend sind. Im direkten Anschluss sind diese Informationen den Mitgliedern des Fachausschusses bei dem Arbeitskreistreffen in Saarbrücken mitgeteilt worden. Auch sind in diesem Zusammenhang Kontakte zur Industrie (Fa. Limes) geknüpft worden. Weitere Aktivitäten sind durch Herrn Diebels als Mitglied des NDFI4MSE Programms [nf-

di4mse.de] zu sehen, bei der sich die Zielsetzung dieser Fachgruppe im Wesentlichen um die Untersuchung der Möglichkeiten zur Speicherung und Bereitstellung und Weiterverwertung experimenteller Informationen handelt. Zudem wurden zwei Minisymposien mit den Titeln "Advanced experimental solid mechanics and optical strain field measurement", International Conference on Nonlinear Solid Mechanics, ICoNSoM 2019, Rom, Italien, und „Advances in full-field strain and temperature measurements for application in experimental mechanics“, 8th GACM Colloquium on Computational Mechanics (GACM 2019), Kassel, organisiert.



JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES MODELLIERUNG, ANALYSIS UND SIMULATION MOLEKULARER SYSTEME



Benjamin Stamm



Gero Friesecke



Reinhold Schneider

Unser Fachausschuss hat sich auch im dritten Jahr, nach seiner Gründung im Jahr 2017, gut weiterentwickelt. Das Jahrestreffen unserer Fachgruppe fand am 12./13. September 2019 an der TU München statt. Speziell zu bemerken gilt es, dass das Teilnehmerfeld internationaler geworden ist. Neben Vorträgen von Mitgliedern des Fachausschusses gab es zwei Keynote-Vorträge eminenten eingeladenen Sprecher aus folgenden Bereichen:

- Tensor-Methoden (Wolfgang Hackbusch, Max-Planck-Institute Leipzig), Mathematics, University of California, Berkeley)
- Polarisierbare Kraftfelder in der Molekulardynamik (Jean-Philipp Piquemal, Sorbonne Université).

Des Weiteren fand ein reger Austausch zwischen den Mitgliedern und die Planung von Aktivitäten im nächsten Jahr statt. Mitglieder des Fachausschusses waren auch selbst als Tagungsorganisatoren aktiv. Um einige Beispiele zu nennen:

- Konferenz zum Thema “Mathematical and Numerical Analysis of Electronic Structure Models”, Suzhou China, 9-15.06.2019 (Organisatoren: Aihui Zhou, Eric Cancès, Gero Friesecke, Yvon Maday, Harry Yserentant)
- Mini-symposium „Numerical Methods for Continuum Solvation“ an der Mafelap Konferenz, Brunel Universität, 18-21.06.2019 (Organisatoren: Benjamin Stamm, RWTH Aachen University; Filippo Lipparini, Universität Pisa)
- Designated GAMM Mini-symposium „Molecular simulation: quantum mechanical models“, ICIAM, 15-19.7.2019, Valencia (Organisatoren: Gero Friesecke, Benjamin Stamm)

Aktuelle Informationen hierüber sowie über weitere Aktivitäten finden sich auf unserer Website <https://moansi.wixsite.com/gamm>.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES NUMERISCHE ANALYSIS



Lars Grasedyck



Daniel Peterseim

Der Fachausschuss Numerische Analysis treibt die Entwicklung moderner Methoden der numerischen Simulation in Ingenieursanwendungen aus der Mathematik heraus voran und stärkt die bestehenden Brücken zwischen diesen Disziplinen. Die Numerik partieller Differentialgleichungen bildet den inhaltlichen Schwerpunkt, ergänzt um Konzepte mehrskaliger und selbstadaptiver Methoden, numerischer und algorithmischer Modellierung, sowie hochdimensionaler und unscharfer Probleme.

Zu den Aktivitäten des vergangenen Jahres zählen ein Oberwolfach-Workshop zum Thema Mehrskalmethoden (28.7.-3.8.2019), der von Gerhard Starke in Essen organisierte GAMM-Workshop Numerische Analysis (12.-13.09.2019) und zahlreiche Minisymposien bei den großen Konferenzen MAFELAP, ICIAM und ENUMANTH. Darüber hinaus blicken wir auf erfolgreiche Initiativen der Nachwuchsförderung und -ver-

netzung zurück, zum Beispiel ein Oberwolfach-Seminar zu numerischer Homogenisierung (9.6.-15.6.2019) und die von Sven Beuchler unterstützte Sommerschule der GAMM-Junioren zu Space-time FEMs in Hannover (7.-9.8.2019). Gleichzeitig etabliert sich die von Robert Altmann (Augsburg) initiierte Reihe von Nachwuchs-Workshops in den Räumlichkeiten der Kurt-Bösch-Stiftung in Sion/Schweiz (diesmal 24.-30.3.2019) erfolgreich zur Kernaktivität des Fachausschusses.

Für das Jahr 2020 sind bisher ein Workshop zur Numerischen Analysis in Hannover (1.-2.10.2020) und ein Nachwuchsworkshop in Sion zum Thema „Maxwell, Stokes und Schrödinger“ (29.3.-4.4.2020) geplant.

Für aktuelle Information sei auf die Webseite https://www.igpm.rwth-aachen.de/gamm_numerical_analysis verwiesen.

JAHRESBERICHT 2019 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES UNCERTAINTY QUANTIFICATION (UQ)



Claudia Schillings

Tim Sullivan

In diesem Jahr gestaltete der FA für Unsicherheitsquantifizierung (UQ) wieder eine große Sektion mit 42 Vorträgen bei der Jahrestagung in Wien, bei der Hanno Gottschalk als Chair diente. Höhepunkte davon waren die Keynote Vorträge von Andrea Barth zum Thema UQ Rechnungen mit Unstetigkeiten im stochastischen Raum sowie von Raul Tempono zum Thema Multi-Index-Monte-Carlo-Verfahren. Auch zum Thema UQ fand ein Plenarvortrag von dem in Heidelberg frisch berufenen Rob Scheichl statt. Ein besonderes Highlight für die UQ-Gemeinschaft in 2019 war der erste Workshop zum Thema UQ beim Mathematischen Forschungsinstitut Oberwolfach, der von ehemaligen und derzeitigen Vorsitzenden (Oliver Ernst, Fabio Nobile, Claudia Schillings und Tim Sullivan) des GAMM FA UQ organisiert wurde. Der Workshop besaß einen klaren mathematischen Fokus auf verschiedene UQ Pro-

bleme, z.B. vorwärts und rückwärts UQ, Konsistenz und Stabilität von Bayes'schen Verfahren, Datenassimilation, und Markow-Ketten-Monte-Carlo-Verfahren; einige Data Science Aspekte kamen auch zur Diskussion. Mathematischen Fragestellungen motiviert aus der Anwendung wurden betrachtet, sowie Verfahren hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis analysiert. Es entstand ein intensiver Austausch zwischen den TeilnehmerInnen, insbesondere mit mathematischem bzw. statistischem Hintergrund. Ein besonderer Fokus lag ebenso auf der Förderung sowie Ausbildung von NachwuchswissenschaftlerInnen im Bereich UQ.

Wie in früheren Jahren fand auch dieses Jahr der Frontiers of UQ Workshop statt, diesmal in Pisa mit einem Fokus auf Strömungsmechanik.

WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

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

Tagungsjahr 2020

91. GAMM Jahrestagung in Kassel
16.-20.03.2020
<https://jahrestagung.gamm-ev.de/index.php/2020/2020-annual-meeting>

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

Angewandte Operatortheorie
<http://www.gamm-ot.uni-wuppertal.de/>

Stochastische Optimierung in der Technik
<http://gamm-sc.mathematik.uni-karlsruhe.de/index.html>

Dynamik und Regelungstheorie
<http://ifatwww.et.uni-magdeburg.de/syst/GAMMFA/gammfa.shtml>

Analysis von Mikrostrukturen
<http://www.iam.uni-bonn.de/aaa2/gamm-fa/>

Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen
<http://www.gamm.optpde.net>

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.tu-chemnitz.de/gamm-uq>

Angewandte und Numerische Lineare Algebra
<https://gammanla.wordpress.com/>

Phasenfeldmodellierung
http://www.mv.uni-kl.de/lm/forschung/GAMM-FA_PFM

Analysis partieller Differentialgleichungen
<http://www.uni-regensburg.de/mathematics/partial-differential-equations/index.html>

Data-driven Modeling and Numerical Simulation for Microstructured Materials
<http://www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data>

Modeling, Analysis and Simulation of Molecular Systems
<https://moansi.wixsite.com/gamm>

Experimentelle Festkörpermechanik
<https://www.itm.tu-clausthal.de/institut/abteilungen/abteilung-festkoerpermechanik/gamm-fa-experimental-solid-mechanics/home/>

Numerische Analysis
https://www.igpm.rwth-aachen.de/gamm_numerical_analysis

Computational Biomechanics

Computational and Mathematical Methods in Data Science
<https://www.tu-chemnitz.de/mathematik/wire/cominds>

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.

AUSSCHREIBUNG DES RICHARD-VON-MISES-PREISES DER GAMM 2021

CALL FOR NOMINATIONS FOR THE RICHARD VON MISES PRIZE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS (GAMM) 2021

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 Preis beinhaltet eine Urkunde, eine kostenlose 2jährige Mitgliedschaft sowie ein Preisgeld in Höhe von 2000 Euro. Um die Breite des Bereichs der Angewandten Mathematik und Mechanik gerecht zu werden, kann das Preiskomitee eine Aufspaltung des Preises (und damit des Preisgeldes) zu gleichen Teilen auf zwei Personen beschließen.

Der oder die Preisträger*in soll zum Zeitpunkt der Nominierung weder eine Lebenszeitprofessur bekleiden noch einen Ruf auf eine solche vorliegen haben und nicht älter als 36 Jahre sein. Abweichungen von dem genannten Zeitrahmen infolge von Ausfallzeiten z.B. aus familiären Gründen oder aufgrund einer Behinderung oder Krankheit werden angerechnet. Die GAMM strebt an, dass unter den Richard-von-Mises-Preisträger*innen die beiden Fachrichtungen Angewandte Mathematik und Mechanik gleichmäßig vertreten sind. Zudem wird eine angemessene Geschlechterverteilung angestrebt.

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).

Die Nominierungen sind an die Geschäftsstelle der GAMM in Dresden, vorzugsweise in elektronischer Form, zu schicken.

Der Einreichungstermin ist der **30. September 2020**. Der Präsident der GAMM führt den Vorsitz des Richard-von-Mises-Preiskomitees, das folgende Mitglieder hat:

M. Oberlack, Darmstadt (2019 – 2024)
 R. Lammering, Hamburg (2017 – 2022)
 B. Jacob, Wuppertal (2017 – 2022)
 C. Wieners, Karlsruhe (2017 – 2022)

Präsident der GAMM
 Jörg Schröder,
 Essen (Vorsitz) (2020-2022).

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 her/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, neither hold a lifetime professorship nor have a call on such a position the time of nomination. Deviations from this time frame as a consequence of inactive periods due to sickness or maternity leaves will be taken into account. The GAMM aims at a well-balanced representation of the two fields Applied Mathematics and Mechanics among the Richard-von-Mises award winners as well as at a well-balanced gender distribution.

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 articles (at most 4).

Nominations should be sent to Geschäftsstelle der GAMM in Dresden, preferably in electronic form.

The deadline for nomination is **September 30th, 2020**.

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

Geschäftsstelle der GAMM
 Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
 Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke
 Fakultät Bauingenieurwesen
 01062 Dresden

Telefon: +49(0) 351-463-33448
 Telefax: +49(0) 351-463-37086
 E-Mail: GAMM@mailbox.tu-dresden.de

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

Vizepräsidentin: **Prof. Heike Faßbender**
 Technische Universität Braunschweig,
 Institut Computational Mathematics,
 AG Numerik, Universitätsplatz 2, 38106
 Braunschweig

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

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

Schatzmeisterin: **Prof. Andrea Walther**
 Humboldt-Universität zu Berlin, Unter
 den Linden 6, 10099 Berlin

Weitere Mitglieder des Vorstandsrates

Prof. Dr. Helmut Abels
 Universität Regensburg, Fakultät für Mathematik,
 Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg

Prof. Günter Brenn
 Technische Universität Graz,
 Institut für Strömungsdynamik und Wärmeübertragung,
 Inffeldgasse 25/F, A-8010 Graz

Prof. Günter Hofstetter
 Universität Innsbruck, Institut für Grundlagen der
 Technischen Wissenschaften,
 Technikerstraße 13,
 6020 Innsbruck, Österreich

Prof. Jörn Sesterhenn
 Universität Bayreuth,
 Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
 Universitätsstraße 30,
 95447 Bayreuth

Prof. Barbara Kaltenbacher
 Alpen-Adria-Universität Klagenfurt,
 Institut für Mathematik,
 Universitätsstr. 65-67,
 A-9020 Klagenfurt, Österreich

Prof. Axel Klawonn
 Universität zu Köln,
 Department Mathematik/Informatik,
 Weyertal 86-90, 50931 Köln

Prof. Gitta Kutyniok
 Technische Universität Berlin,
 Institut für Mathematik,
 Straße des 17. Juni 136, 10623 Berlin

Prof. Tim Ricken
 Universität Stuttgart,
 Institut für Statik und Dynamik der Luft- und
 Raumfahrtkonstruktionen,
 Pfaffenwaldring 27, 70569 Stuttgart

Prof. Oliver Ernst
 Technische Universität Chemnitz,
 Fakultät für Mathematik,
 Reichenhainer Str. 41,
 09126 Chemnitz

Prof. Udo Nackenhorst
 Leibniz Universität Hannover,
 Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik,
 Appelstraße 9a, 30167 Hannover

Prof. Robert Seifried
 Technische Universität Hamburg-Harburg, Mechanik und
 Meerestechnik,
 Eißendorfer Straße 42 (M), 21073 Hamburg

Prof. Roland Herzog
 Technische Universität Chemnitz,
 Numerische Mathematik,
 Reichenhainer Straße 41, 09126 Chemnitz

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

**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

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

Kassenprüfer

Prof. Michael Beitelschmidt
 Technische Universität Dresden,
 Fakultät Maschinenwesen

Prof. Stefan Neukamm
 Technische Universität Dresden,
 Institut für Wissenschaftliches Rechnen

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. Wolfgang Wendland (2019)

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

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

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

Prof. Dr.-Ing. Erwin Stein (2011)
† 19. Dezember 2018

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

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zierep (1999)

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

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

PERSONALIA

Todesfälle, wir gedenken:

Dr. Ernst Schwarz, Königswinter-Berghausen
Prof. Dr. Hans Wilhelm Knobloch, Würzburg
Prof. Dr. Bruno Eckhardt, Marburg

Prof. Dr. Herbert Gajewski, Berlin
Prof. Dr. Hans Buggisch, Malsch
Prof. Dr. Cvetko Crnojevic, Belgrad
Prof. Dr. Yuriy Alekseevich Rossikhin, Voronezh, Russland
Prof. Dr. Manfred Hiller, Duisburg

SIAM leads the way in Data Science

Data science is a fast-moving and rapidly expanding research area, and SIAM is dedicated to providing ways to get involved.

Here's how:

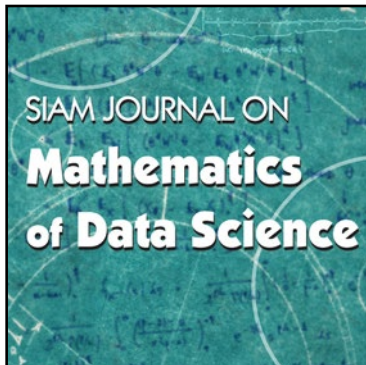


Conference on Mathematics of Data Science

May 5–8, 2020 • Cincinnati, Ohio, U.S.

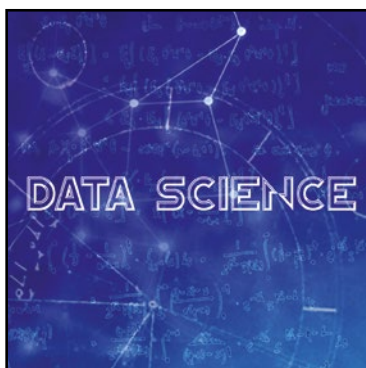
Co-chairs:

Ali Pinar, *Sandia National Laboratories*
Gitta Kutyniok, *Technical University of Berlin*
Joel Tropp, *California Institute of Technology*



SIAM Journal on Mathematics of Data Science

SIAM's newest journal publishes work that advances mathematical, statistical, and computational methods in the context of data and information sciences. We invite papers that present significant advances in this context, including applications to science, engineering, business, and medicine.



Data Science Book Series

This new SIAM book series is currently seeking proposals! The series will cover the mathematical, computational, and scientific aspects of data science, and will publish high-impact research monographs, in-depth essays on emerging trends, tutorials with a broad reach, state-of-the-art surveys, scholarly research retrospectives, and textbooks.

siam | Society for Industrial and
Applied Mathematics

Learn more about data science and how you can get involved:
[siam.org/Research-Areas/Data-Science](https://www.siam.org/Research-Areas/Data-Science)