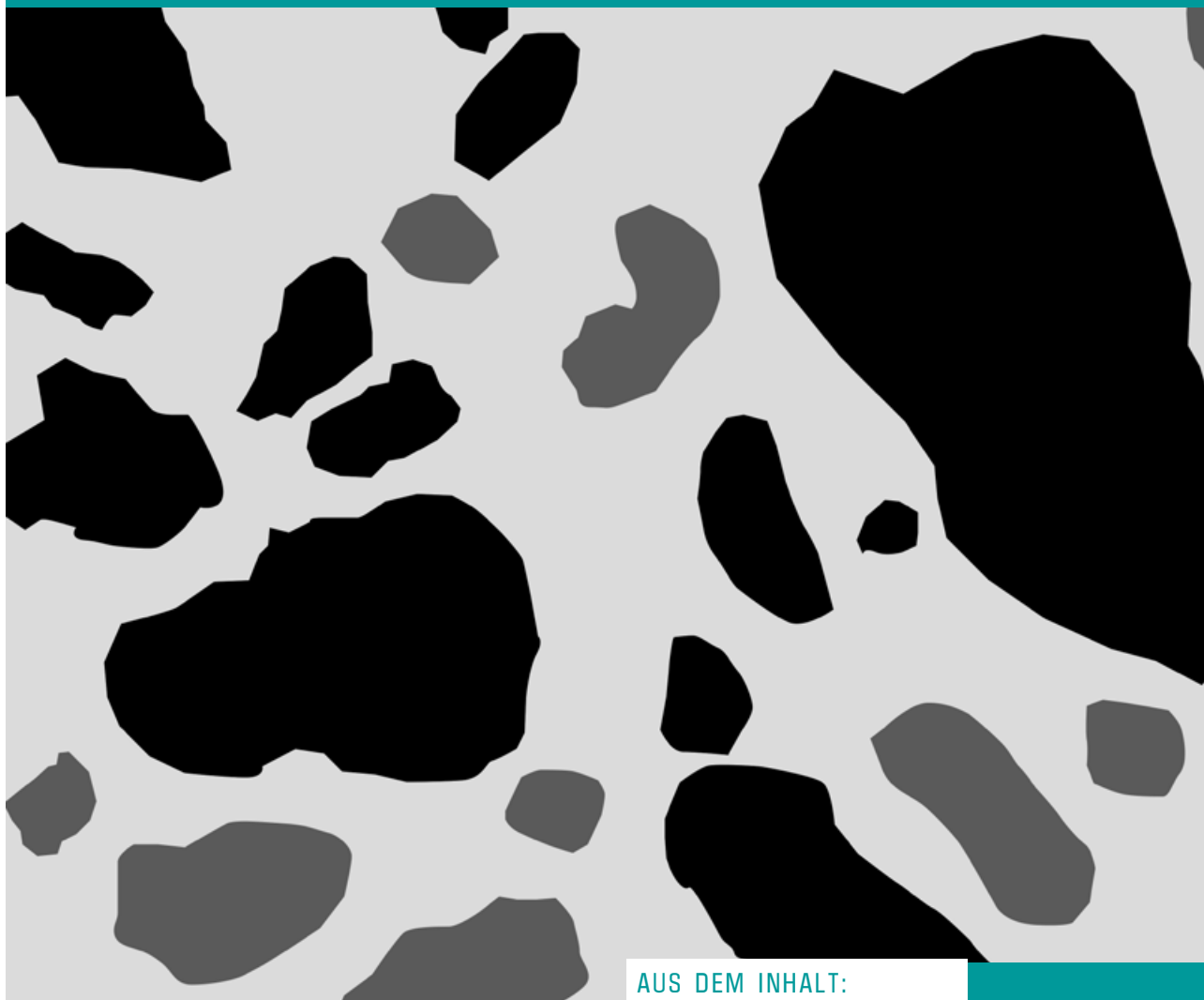


GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK



AUS DEM INHALT:

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

UWE NAUMANN:
DIFFERENTIABLE PROGRAMMING:
A DESIRABLE PARADIGM FOR SCIENTIFIC
COMPUTING?

CAROLIN BIRK UND RAMA ASSAF:
POLYTOPE ELEMENTE AUF GRUNDLAGE DER
SBFEM – METHODIK UND ANWENDUNGEN AUS
DER STRUKTURMECHANIK

JUNGE WISSENSCHAFTLER/-INNEN:
CAROLIN MEHLMANN
KEVIN LINKA

1/2025

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: axel.klawonn@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

Cover:

Digitales Bild der künstlich erzeugten
Mikrostruktur einer Betonprobe.
(Carolyn Birk, Rama Assaf)

ISSN 2196-3789



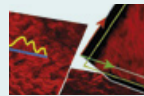
4 Differentiable Programming: A Desirable Paradigm for Scientific Computing?

Uwe Naumann

11 Polytope Elemente auf Grund- lage der SBFEM – Methodik und Anwendungen aus der Strukturmechanik

Carolyn Birk und Rama Assaf

19 Steckbrief Kevin Linka



21 Steckbrief Carolyn Mehlmann

24 GAMM Juniors Fall Meeting 2024

Georgia Kikis and Maximilian
Vorwerk

27 SAMM 2024

Georgia Kikis

28 German-Polish Young Researchers School on Mathematics and Mechanics - GPSon2M

By Mieczysław Kuczma, Dariusz
Łydźba, Matthias Ziegenhorn

31 Ausschreibung: Richard-von-Mises-Preis 2025

Berichte aus den
Fachausschüssen:

32 Angewandte Operatortheorie

33 Analysis partieller Differentialgleichungen

31 Dynamik und Regelungstheorie

32 Modellierung, Analysis und Simulation molekularer Systeme

33 Mathematische Signal- und Bildverarbeitung (MSIP)

34 Analysis von Mikrostrukturen

37 Modellierung, Analysis und Simulation molekularer Systeme

38 Phasenfeldmodellierung

38 Computational and Mathematical Methods in Data Science

39 Computational Science and Engineering (CSE)

39 Moderne Lehre und Didaktik

40 Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA)

40 Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen

41 Computational Biomechanics

42 Experimentelle Festkörpermechanik

42 Numerische Analysis

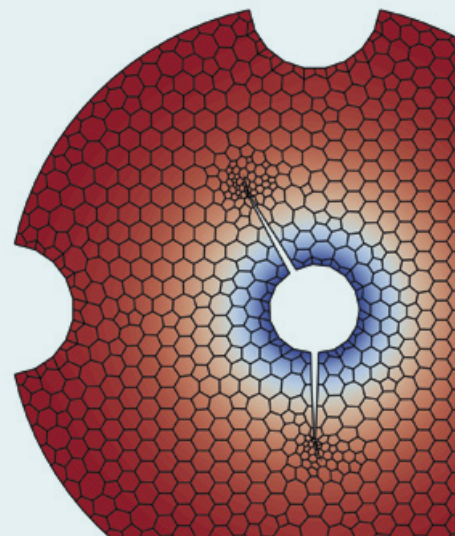
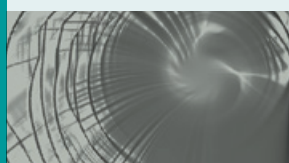
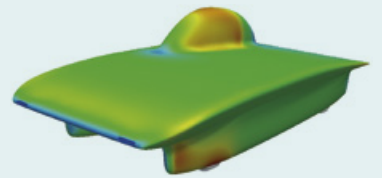
43 Uncertainty Quantification (UQ)

43 Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials (AG Data)

44 Wissenschaftliche Veranstaltungen

46 Vorstand der GAMM

47 Ehrenmitglieder der GAMM



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER, LIEBE GAMM-MITGLIEDER,



das Differenzieren von Funktionen ist jedem von Ihnen bekannt, viele werden auch Methoden des automatischen Differenzierens kennen. Die Kenntnis, dass man auch Programme differenzieren kann, ist aber vielleicht noch nicht so verbreitet. Dieses Gebiet hat mit der zunehmenden Verwendung des maschinellen Lernens und insbesondere des Deep Learning an Bedeutung zugenommen. Im ersten Beitrag stellt Uwe Naumann von der RWTH Aachen dieses aktuelle Forschungsgebiet vor. Bei der Scaled-Boundary-Finite-Element-Methode handelt es sich um eine Kombination aus der Methode der finiten Elemente und analytischen Lösungen, die zum Beispiel eine bessere Behandlung von Singularitäten erlaubt. Dieses semi-analytische Verfahren beschreiben Carolin Birk und Rama Assaf von der Universität Duisburg-Essen im zweiten Beitrag.



In der vorliegenden Ausgabe stellen sich aus der Angewandten Mathematik Carolin Mehlmann, Leiterin der Gruppe Applied Mathematics and Computational Physics an der Universität Magdeburg und aus der Mechanik Kevin Linka, Emmy-Noether-Nachwuchsgruppenleiter an der Technischen Universität Hamburg, vor.

Vom Herbsttreffen der GAMM Juniors an der Universität Duisburg-Essen berichten Georgia Kikis und Maximilian Vorwerk aus Essen. Im Anschluss finden Sie einen Bericht von der neunten GAMM Juniors Summer School (SAMM 2024), die im letzten Sommer an der ETH Zürich stattfand. Anfang dieses Jahres fand zum ersten Mal die German-Polish Young Researchers School on Mathematics and Mechanics (GP-Son2M) an der Wrocław University of Science and Technology statt. Hierüber berichten Mieczysław Kuczma, Dariusz Łydzba und Matthias Ziegenhorn.

Die Ausschreibung des diesjährigen Richard-von-Mises-Preises finden Sie auf S. 31. Der Stichtag für die Einreichung der Unterlagen ist der 30. September 2025.

Die GAMM hat zurzeit 17 aktive Fachausschüsse. Traditionell berichten diese in der Frühjahrsausgabe des GAMM-Rundbriefes über ihre Aktivitäten.

Wir bedanken 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 axel.klawonn@uni-koeln.de (Mathematik) oder daniel.balzani@rub.de (Mechanik).

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

Köln und Bochum im Februar 2025

Axel Klawonn und Daniel Balzani

DIFFERENTIABLE PROGRAMMING: A DESIRABLE PARADIGM FOR SCIENTIFIC COMPUTING?

BY UWE NAUMANN

Abstract

Yes! One could even claim that Differentiable Programming is a functional requirement for a significant fraction of the numerical simulation and optimization solutions targeted by Scientific Computing. This article proposes a conceptual recipe for addressing this need in practice based on a refined perspective on the actual meaning of the term “Differentiable Programming.”

Introduction

What is Differentiable Programming? A look into the literature should give, at least, a preliminary answer.

Differentiable Programming (DP) “is a programming paradigm in which complex computer programs (including those with control flows and data structures) can be differentiated end-to-end automatically, enabling gradient-based optimization of parameters in the program.” DP “is not merely the differentiation of programs, but also the thoughtful design of programs intended for differentiation.” [4]

DP “is another emerging term referring to the realization that deep learning models are essentially differentiable program templates of potential solutions to a problem.” [3] Both statements represent perspectives on what DP is. They remain vague about *how to make it happen*. The main hints towards practical implementation appear to be the following:

1. Implement your models such that the resulting programs can be transformed automatically into programs that compute gradients of optimization objectives with respect to model parameters.
2. Learn from the levels of abstraction applied to deep learning models in Machine Learning (ML).

The first point tells us *what* to do. It does not tell us *how* to do it. Applicability of Automatic Differentiation (AD) [13,26,32] is suggested as the main objective of DP. The “thoughtful design of [differentiable] programs” is identified as a crucial prerequisite. This very valid observation is going to be built on in this article.

Unfortunately, the second point is of merely limited practical use in the context of Scientific Computing (SC). Most large ML models were designed “from scratch” using relatively simple “differentiable program templates” [3] with a clear focus on the computation of large gradients by me-

ans of *backpropagation*. Ideally¹, a similar approach should be taken by SC while keeping in mind that Jacobian matrices, Hessian and potentially higher derivative tensors of multivariate vector functions may be required.

SC and AD unites a long and highly successful “partnership” that dates to the early 1970’s [31] with first steps taken even before that [36]. AD has been instrumental in the transition from pure simulation of real-world challenges to large-scale parameter sensitivity analysis, calibration and general nonlinear optimization. A myriad of contributions to the AD literature cover theoretical advances as well as software tool development and successful applications in Computational Science and Engineering (CSE); see Figure 1 for a case study in Computational Fluid Dynamics (CFD). A comprehensive discussion of this rich body of prior and ongoing work is clearly beyond the scope of this article. Instead, the interested reader is advised to refer to the extensive literature on the subject. The list of references at the end of this article represents a reasonable starting point. It is complemented by the proceedings of so far eight international conferences on the subject since 1991, see, for example, [6,12]. Moreover, the AD community’s Web portal www.autodiff.org maintains a searchable domain-specific bibliography alongside links to AD research groups and established software tools worldwide.

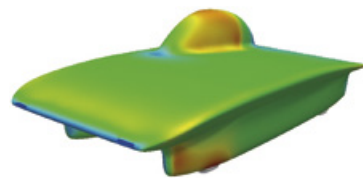


Fig. 1: AD in SC: Differentiable programming in the free, open source CFD software OpenFOAM (www.openfoam.com) enables efficient computation of drag sensitivity of the sonnenwagen-2017 geometry (www.sonnenwagen.org). Red areas of the surface need to be moved inwards and blue areas outwards to reduce drag. [L. Moltrecht: Adjoint-based aerodynamic optimization of a solar vehicle concept. M.Sc. Thesis, STCE, RWTH Aachen University, 2018.]

¹ The existence of an enormous amount of legacy code makes the adoption of this strategy at least non-trivial.

More recently, AD has gained considerable popularity in the context of ML [3,35]. The establishment of the term “Differentiable Programming” is mostly due to this development. AD for ML² is largely motivated by the former’s ability to compute extremely large gradients required for the training of useful ML models efficiently. The dominating aspect of AD in ML turns out to be its *adjoint mode*. One could hence argue that DP in ML is driven by what might be referred to as “adjointable programming.” This observation carries over to many scenarios in SC.

Links between ML and SC have been the subject of active research and development in what is known as Scientific ML [1]. Ultimately, the need for applicability of AD in both areas is implied. Hybrid models involving parts derived from first principles as well as data-driven approaches are based on close interaction of both types of components. Differentiability (adjointability) of the coupled models is highly desirable if not essential, for example, in the context of parameter sensitivity analysis and calibration.

DP should enable *efficient* and *sustainable* AD for SC. In addition to the computational performance, maintainability and long-term evolution of the resulting derivative code both attributes also relate to the software development process in SC, including relevance for what is often referred to as Research Software Engineering [30]. The latter benefits tremendously from easily adoptable design and implementation patterns [8,28] alongside corresponding software building blocks in the form of runtime support libraries.

Numerical programs developed in SC can become extraordinarily complex featuring complicated data dependence patterns in addition to immense memory requirements and run times. The latter can easily exceed feasible levels. Run time performance is hence widely regarded as a functional requirement in SC. Obviously, run times in the range of years or even decades can hardly be regarded as feasible. Suboptimal approaches to the computation of derivatives can easily lead to such situations.

The main conclusion to be drawn from this article is a well-defined formal approach to DP in SC to enable (ideally seamless) AD. To understand the upcoming refined interpretation of the term DP as well as the associated recipe for its successful implementation in the context of SC a closer look at selected aspects of AD is required.

Essential AD

Traditionally, AD has also been referred to as Algorithmic Differentiation emphasizing the fact that algorithms (equivalently, numerical programs) are the subject of differentiation. In modern SC, AD is rarely “automatic”. User intervention is typically unavoidable, to cope with, for example, numerical software implemented using different programming languages and complex build systems, featuring the use of closed-source third-party libraries as well as hybrid parallelism. Sensible treatment of non-differentiability due to missing data flow dependence between instances of program variables or induced by discontinuities due to switches in the flow of control often requires domain expertise. The ultimate challenge is to “make AD as automatic as possible” in the context of SC.

AD (automatic or not) deals with implementations of multivariate differentiable vector functions

$$F : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$$

as computer programs³

$$y := F(x).$$

Differentiability of F implies the existence of the Jacobian

$$F' \equiv \frac{dF}{dx} \in \mathbb{R}^{m \times n}.$$

In the nonlinear case, $F' = F'(x)$. Imperative assignment is denoted by “:=” while “=” represents equality and “≡” should be read as “is defined as”.

This article is not meant to discuss technical details of neither DP nor AD exhaustively. To illustrate the following arguments in support of DP as a desirable programming paradigm for SC we use the simplest sufficiently meaningful scenario. All points to be raised will be supported by examples based on the following differentiable program:

$$y := F(x) = F_2(F_1(x)).$$

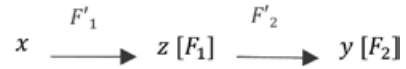
It is composed of two differentiable subprograms

$$F_1 : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p : z := F_1(x)$$

and

$$F_2 : \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^m : y := F_2(z),$$

yielding the following directed acyclic *data dependence graph (DAG)*, also known as the *computational graph*:



Vertices correspond to input, intermediate and output values computed by the program. Edges capture data dependencies with labels referring to the corresponding elemental Jacobians. Note that even in the presence of complicated flow of control any terminating deterministic program flattens into a DAG during execution for given inputs. The *chain rule (of differentiation)* implies

$$F' = F'_2 \cdot F'_1.$$

It can always be regarded as the interpretation of the DAG according to

$$F' = \sum_{\pi: x \rightarrow y} \prod_{\epsilon \in \pi} F'_\epsilon$$

[2]. The set of all partial derivatives of the program F is equal to the products of all edge labels F'_ϵ , $\epsilon \in \pi$ along individual paths $\pi : x \rightarrow y$ that connect the input of F to its output. The total derivative is equal to the sum of the partial derivatives over all such paths. Our sample program features a single path with total derivative equal to the single partial derivative $F'_2 \cdot F'_1$.

Most real-world applications exhibit a significantly less trivial data flow structure. DAGs can hence become very large and structurally complex. Numerous technical challenges arise. Still, the chain rule applies if all subprograms are differentiable. The corresponding programs are *chain-rule-differentiable*.

² ML for AD opens another area of potentially interesting research.

³ The notation $\mathbb{R}$ for real numbers is shared to denote the floating-point numbers used in actual implementations as computer programs.

The algebraic properties (mainly, associativity and distributivity) of matrix multiplication yield an exponential (in the depth of the DAG) number of alternatives for evaluating the chain rule. They enable backpropagation in ML as well as many less obvious approaches to the computation of derivatives. The combinatorial optimization problem that asks for an evaluation of the chain rule such that the number of arithmetic operations (a scalar multiplication potentially followed by a scalar addition) is minimized is known to be NP-hard [24]. A surprisingly non-trivial search space results even from our simple sample program, to be discussed in more detail further below.

Recursively, differentiable subprograms induce their own DAGs over even finer-grain differentiable subprograms and so forth. This recursion terminates at the level of basic *differentiable subprograms*, also known as *elemental functions*. In the simplest case, the latter can be built-in differentiable arithmetic operations and (intrinsic) functions. For example, you may think of a univariate scalar variant of the sample program such as $y := e^{x^2}$ implemented as

$$x := x^2; y := e^x,$$

where the intentional overwriting of the mutable program variable x is going to be built on below. The example is kept very simple to facilitate ease of understanding while allowing for illustration of crucial aspects to be raised during the upcoming discussion.

Reversing the order of this recursion, entire libraries of basic differentiable subprograms can be built by following a bottom-up approach and resulting in a potentially large number of levels of granularity with corresponding DAGs. A hierarchy of differentiable programs, in the following referred to as the *DP hierarchy*, follows immediately. At the lower levels, state-of-the-art AD tools, e.g., [18,23,27], can and should be employed in addition to symbolic approaches to the differentiation of implicit functions [10]. Substantial modelling and implementation effort may be required to make a given program differentiable.

In tangent (also: forward) mode, AD transforms the program F , in the following referred to as the *primal program*, into the *tangent program* F^{tan} for computing matrix-free directional derivatives

$$y^{tan} := F^{tan}(x, x^{tan}) \equiv F'(x) \cdot x^{tan} \in \mathbb{R}^m$$

without explicit accumulation of the Jacobian F' [36]. For example,

$$\begin{aligned} y^{tan} &:= F_2^{tan}(F_1(x), F_1^{tan}(x, x^{tan})) \\ &= F'_2(F_1(x)) \cdot (F'_1(x) \cdot x^{tan}). \end{aligned}$$

We assume that F^{tan} implies the evaluation of F . Otherwise, further (but often minor) optimization of the tangent code is possible due to dead code elimination. The return of function values by tangent programs is not stated explicitly to simplify the notation.

Availability of *basic tangent subprograms* F_i^{tan} makes the primal program F differentiable. Tangent AD amounts to a rather simple augmentation of all F_i with their respective tangents. For example,

$$\begin{aligned} x^{tan} &:= 2x \cdot x^{tan} \\ x &= x^2 \\ y &= e^x \\ y^{tan} &:= y \cdot x^{tan}. \end{aligned}$$

The two basic tangent subprograms F_1^{tan} and F_2^{tan} amount to the first and second pair of lines, respectively. Both memory requirement and elapsed run time of F^{tan} can be estimated as twice the corresponding values of F . In less simple scenarios these ratios can be reduced by more aggressive optimization. It is reasonable to expect that the memory requirement of a tangent program does not exceed the available resources bounded by MEM^{max} . Tangent programs are, hence, often assumed to be *MEM-feasible*. Note that their results can be approximated numerically by finite difference quotients, if the program F is differentiable.

One could argue that applicability of tangent AD implies DP in the sense that the program is “differentiated end-to-end automatically, enabling gradient-based optimization of parameters” as stated in [4]. Given a tangent program F^{tan} , the Jacobian F' of the corresponding primal program F can be computed by letting the input tangents x^{tan} range over the standard unit vectors in $\mathbb{R}^n$. In our one-dimensional example, setting $x^{tan} = 1$ yields

$$x^{tan} := 2x \cdot 1; x := x^2; y := e^x; y^{tan} := y \cdot x^{tan}$$

and, hence, $y^{tan} = e^{x^2} \cdot 2x$ in addition to $y = e^{x^2}$.

In the multi-dimensional case, potential sparsity of F' can and should be exploited, for example, through Jacobian compression methods [9]. The computational cost of Jacobian accumulation is of the same order as that of numerical approximation via finite difference quotients. Unfortunately, this cost may turn out to be prohibitive when computing Jacobians over very high-dimensional parameter spaces. If a single evaluation of F^{tan} takes just one second (“relatively fast”), then the evaluation of a Jacobian with respect to one million parameters (“not huge”) runs for almost two weeks (“too long”).

It appears that DP alone is not sufficient, neither for ML nor for SC. Size (of a gradient) matters. The wide-spread need for very large parameter spaces makes a dependence of the computational cost of differentiation on their sizes inadmissible in many practically relevant scenarios. Backpropagation is the solution in the context of ML. More generally, the DP paradigm must address the need for adjoint programs in general.

The latter can be generated by the adjoint (also: reverse) mode of AD [31]. The primal program F is transformed into the *adjoint program* F^{adj} for computing matrix-free adjoint derivatives (also: adjoints)

$$x^{adj} := F^{adj}(x, y^{adj}) \equiv y^{adj} \cdot F'(x) \in \mathbb{R}^{1 \times n}.$$

For example,

$$\begin{aligned} x^{adj} &:= F_1^{adj}(x, F_2^{adj}(F_1(x), y^{adj})) \\ &= y^{adj} \cdot F'_2(F_1(x)) \cdot F'_1(x). \end{aligned}$$

The adjoint is assumed to imply the evaluation of the primal function value at the expense of mostly minor additional computational effort. Again, the return of function values by adjoint programs is not stated explicitly to simplify the notation.

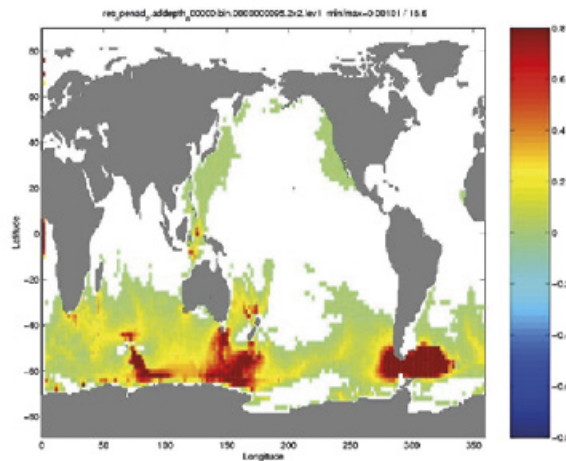


Fig. 2: *Adjoints in physical oceanography: The picture shows a map of sensitivities of zonal volume transport through the Drake Passage (in between South America's Cape Horn and the South Shetland Islands of Antarctica) to changes in bottom topography everywhere in a barotropic ocean model implemented as a differentiable shallow water code. Enhanced sensitivities are manifest both locally in the vicinity of the Drake Passage (to be expected) as well as remotely, for example, over the Kerguelen Plateau, the South Pacific Ridge, and in the Indonesian Throughflow (not entirely obvious). Instead of one single adjoint model integration, more than ten thousand tangent integrations would have been necessary to produce this map yielding a speedup due to the use of adjoint AD by a factor of more than one thousand. [J. Utke et al.: OpenAD/F: A modular open-source tool for automatic differentiation of Fortran codes. ACM Transactions on Mathematical Software 31(4):1-36, 2008.]*

Given an adjoint program F^{adj} , the Jacobian F' of the corresponding primal program F can be computed by letting the output adjoints y^{adj} range over the standard unit vectors in $\mathbb{R}^{1 \times m}$. Cheap gradients follow immediately from $m = 1$. Again, potential sparsity of F' can and should be exploited. Combinations of tangent and adjoint Jacobian compression methods may increase the computational performance even further [9].

The seemingly harmless reversal of the order of invocation of the adjoint subprograms (F_2^{adj} before F_1^{adj}) relative to the order of their primal counterparts (F_1 before F_2) is responsible for full automation of adjoint AD becoming non-trivial in the context of SC. The data flow of F is reversed in F^{adj} . Values of mutable program variables need to be recovered in reverse relative to the order of their computation in F . Potential (repeated) overwriting in F is responsible for the loss of required intermediate values [16]. Their efficient recovery yields the *Data Flow Reversal Problem*, which is known to be NP-hard [25]. Efficient deterministic solutions have been proposed for relevant special cases [14]. Less trivial data dependence patterns make this combinatorial optimization problem difficult to solve [21].

There are two conceptually straight-forward approaches to data flow reversal known as “store-all” and “recompute-all”. The former amounts to pushing all lost required values onto a stack during an evaluation of F followed by last-in-first-out recovery in F^{adj} . The latter relies on re-computation of all lost required values from a set of persistent inputs. Invertible elemental subprograms may warrant re-computation in reverse relative to the original flow of data. For example,

saves the required initial value of x for later recovery. Forward re-computation is not an option as the lost value is the input. Its storage would imply the store-all approach in this very simple scenario. Alternatively, reverse re-computation results in

$$x := x^2; y := e^x; x^{adj} := y^{adj} \cdot y; x^{adj} := 2\sqrt{x} \cdot x^{adj}$$

yielding the same adjoints⁴ at a lower memory cost. Setting $y^{adj} = 1$ the sample program yields

$$x := x^2; y := e^x; x^{adj} := 1 \cdot y; x^{adj} := 2\sqrt{x} \cdot x^{adj}$$

and, hence, $x^{adj} = e^{x^2} \cdot 2x$ in addition to $y := e^{x^2}$. In the last two equations, x refers to the instance of the program variable that represents the input of F , while x^{adj} denotes the corresponding output of the adjoint program F^{adj} . Note that the use of square root yields potential further challenges when aiming for a second derivative code through application of AD to the given adjoint program.

In “store-all” mode the size of the stack memory (MEM) grows proportional to the run time of F . The impressive FLOPS⁵ rates of modern computers let naïve adjoint programs become MEM -infeasible for most large-scale applications in SC. “Recompute-all” mode suffers from quadratic (in the run time of F) growth of the run time of F^{adj} , thus defeating its primary purpose as an efficient adjoint method. Solutions for (near-)optimal data flow reversal come as local combinations of the two extremes at various levels of granularity within the DP hierarchy.

Adjoint programs feature separately callable *forward* and *reverse* sections, that is, the value of

$$\text{push}(x); x := x^2; y := e^x$$

$$x^{adj} := y^{adj} \cdot y; \text{pop}(x); x^{adj} := x^{adj} \cdot 2x$$

⁴ A discussion of potential numerical issues due to floating-point arithmetic is beyond the scope of this article. See [15].

5 Floating-point Operations per Second

$$F^{adj}(x, y^{adj}) \equiv \tilde{F}(\tilde{F}(x), y^{adj})$$

is the output of the reverse section $\tilde{F}$ subject to information provided by the forward section $\tilde{F}$. Specifics of the synchronization of forward and reverse sections depend on the given implementation. For example, the forward section of the adjoint of the program $x := x^2$ could be implemented as

$$push(x); x := x^2$$

with corresponding reverse section

$$pop(x); x^{adj} := x^{adj} \cdot 2x.$$

Abstractly, the data required for the synchronization of forward and reverse sections of an adjoint subprogram F_i^{adj} is denoted by G_i . Note that it captures (a subset of) the information contained in the corresponding DAG. The memory requirement $MEM(F_i^{adj})$ of an adjoint subprogram grows as G_i . The sample scenario can hence be written as

$$G_1 := \tilde{F}_1(x); G_2 := \tilde{F}_2(F_1(x))$$

$$x^{adj} := \tilde{F}_1(G_1, \tilde{F}_2(G_2, y^{adj})),$$

which yields a total memory requirement of

$$MEM(F^{adj}) = MEM(F_1^{adj}) + MEM(F_2^{adj}).$$

All adjoint subprograms within the DP hierarchy need to be *MEM-feasible*, that is, their memory requirement must not exceed the available resources bounded by MEM^{max} . For example, let

$$MEM(F_i^{adj}) \leq MEM^{max}, i = 1, 2,$$

while

$$MEM(F_1^{adj}) + MEM(F_2^{adj}) > MEM^{max}.$$

The adjoint of F is evaluated in two stages. First,

$$x^{adj} := F_2^{adj}(G_2, y^{adj})$$

induces a memory requirement of $MEM(F_2^{adj})$ leaving insufficient resources for the simultaneous storage of G_1 . The latter needs to be generated by a data-flow-independent (with respect to the original data flow) evaluation of $\tilde{F}_1$. Therefore, all non-constant inputs of F_1 must be made *recoverable* to facilitate feasible and correct data flow reversal at the expense of an additional evaluation of F_1 . The adjoint of the entire program is, hence, computed as

$$\begin{aligned} z^{adj} &:= \tilde{F}_2(\tilde{F}_2(\downarrow F_1(x)), y^{adj}) \\ x^{adj} &:= \tilde{F}_1(\uparrow \tilde{F}_1, z^{adj}), \end{aligned}$$

where $\downarrow F_1$ extends F_1 with *argument recovery* to enable the data-flow-independent evaluation of $\tilde{F}_1$ by $\uparrow \tilde{F}_1$. For example, $\downarrow F_1$ might store (also: *checkpoint*) its non-constant inputs for restorage by $\uparrow \tilde{F}_1$.

Note that *MEM-feasibility* is a function of MEM^{max} . Hence, it makes sense to distinguish between *statically* and *dynamically* *MEM-feasible* tangent and adjoint programs. Statically *MEM-feasible* derivative programs are required to undercut the memory requirement bounded by a given MEM^{max} . Dynamic *MEM-feasibility* refers to the ability of a

tangent or adjoint program to run within the given memory resources for variable upper bounds MEM^{max} .

Estimates of the memory address space occupied by the required arguments of differentiable subprograms can be determined by static data flow analysis [17]. The degree of overestimation may be substantial due to static undecidability combined with unavoidable conservatism to ensure correctness. Note that checkpointing may decrease MEM^{max} . However, in most real-world scenarios, the memory requirement is dominated by the size of the G_i .

The combinatorics due to associativity and distributivity of the chain rule of differentiation is responsible for a large (exponential in the depth of the DAG) number of combinations of tangents and adjoints of differentiable subprograms resulting in the same derivative of the entire differentiable program [29]. Different alternatives yield potentially drastically varying run times and memory requirements. For illustration, let both

$$F_1: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^p \quad \text{and} \quad F_2: \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^m$$

feature equal unit elapsed run times (*ERT*), that is, $ERT(F_1) = ERT(F_2) = 1$ for $n = 8$, $p = 2$ and $m = 4$. Similar scenarios are also referred to as *interface contraction* [5]. Let

$$ERT(F_i^{tan}) = 2 \cdot ERT(F_i) = 2$$

and

$$ERT(F_i^{adj}) = 2 \cdot ERT(F_i^{tan}) = 4$$

for $i = 1, 2$. These estimates represent adequate approximations for many real-world scenarios. Consequently, there is a choice between the following nine alternatives for computing F' :

1. Homogeneous tangent mode:

$$F' = F^{tan}(x, I_n) = F_2^{tan}(F_1(x), F_1^{tan}(x, I_n))$$

We assume vector tangent (equivalently, vector adjoint) programs to simplify the notation. They allow for several tangents (adjoints) to be evaluated during a single call, for example, $F^{tan}(x, I_n)$ computes tangents of F in all standard unit directions in $\mathbb{R}^n$. Recall that $F_1(x)$ and $F_1^{tan}(x, I_n)$ are computed simultaneously. Hence, $ERT(F') = 8 \cdot (2+2) = 32$.

2. Homogeneous adjoint mode:

$$F' = F^{adj}(x, y^{adj}) = \tilde{F}_1(\tilde{F}_1(x), F_2^{adj}(F_1(x), I_m))$$

$F_1(x)$ and $\uparrow \tilde{F}_1(x)$ are computed simultaneously.
 $ERT(F') = 4 \cdot (4+4) = 32$.

3. Checkpointed adjoint mode:

$$F' = F_1^{adj}(x, F_2^{adj}(F_1(x), I_m))$$

Consider if homogeneous serial adjoint mode is *MEM-infeasible*. In this case, $F_1(x)$ needs to be evaluated in addition to $\tilde{F}_1(x)$. $ERT(F') = 1 + 4 \cdot 4 + 4 \cdot 4 = 33$. Note that *MEM-feasibility* can be guaranteed at the expense of a slight increase in the elapsed run time compared to option 2.

4. *Tangent in direction of Jacobian preaccumulated in adjoint mode:*

$$F' = F_2^{tan}(F_1(x), F_1^{adj}(x, I_p))$$

Preaccumulation refers to the explicit computation of the Jacobian of a differentiable subprogram, here $F'_1, F_1(x)$ and $F_1^{adj}(x, I_p)$ are computed simultaneously.

$$ERT(F') = 2 \cdot 4 + 8 \cdot 2 = 24.$$

5. *Adjoint in direction of Jacobian preaccumulated in tangent mode:*

$$F' = \tilde{F}_1(\tilde{F}_1(x), F_2^{tan}(F_1(x), I_p))$$

$F_1(x)$ and $\tilde{F}_1(x)$ are computed simultaneously. Data required for the synchronization of the forward and reverse sections of F_1^{adj} (that is, G_1) is recorded prior to the preaccumulation of F'_2 for subsequent use in $\tilde{F}_1$.

$$ERT(F') = 2 \cdot 2 + 4 \cdot 4 = 20.$$

6. *Product of Jacobians of both subprograms preaccumulated in tangent mode:*

$$F' = F_2^{tan}(F_1(x), I_p) \cdot F_1^{tan}(x, I_n)$$

$F_1(x)$ and $F_1^{tan}(x, I_n)$ are computed simultaneously.

$$ERT(F') = 8 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 20 + \varepsilon, \text{ where } \varepsilon \ll 1 \text{ denotes the (often negligible) cost of multiplying } F'_2 \text{ and } F'_1.$$

7. *Product of Jacobians of both subprograms preaccumulated in tangent, respectively adjoint, mode:*

$$F' = F_2^{adj}(F_1(x), I_m) \cdot F_1^{tan}(x, I_n)$$

$F_1(x)$ and $F_1^{tan}(x, I_n)$ are computed simultaneously.

$$ERT(F') = 8 \cdot 2 + 4 \cdot 4 + \varepsilon = 32 + \varepsilon.$$

8. *Product of Jacobians of both subprograms preaccumulated in adjoint, respectively tangent, mode:*

$$F' = F_2^{tan}(F_1(x), I_p) \cdot F_1^{adj}(x, I_p)$$

$F_1(x)$ and $F_1^{adj}(x, I_p)$ are computed simultaneously.

$$ERT(F') = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 4 + \varepsilon = 12 + \varepsilon.$$

9. *Product of Jacobians of both subprograms preaccumulated in adjoint mode:*

$$F' = F_2^{adj}(F_1(x), I_m) \cdot F_1^{adj}(x, I_p)$$

$F_1(x)$ and $F_1^{adj}(x, I_p)$ are computed simultaneously.

$$ERT(F') = 2 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + \varepsilon = 24 + \varepsilon.$$

The best option (8) represents a reduction of the elapsed run time by a factor of almost three when compared to the homogenous tangent or adjoint modes.

Shared and distributed memory parallelism yield further options. For example, parallel computation of

$$F' = F_2^{tan}(F_1(x), I_p) \cdot F_1^{adj}(x, I_p)$$

reduces the elapsed run time further from $12 + \varepsilon$ to $\max(2 \cdot 4, 2 \cdot 2 + 1) + \varepsilon^+ = 8 + \varepsilon^+$ where $\varepsilon^+ \geq \varepsilon$ includes

potential additional overhead due to communication. $F_1(x)$ needs to be evaluated independent of $F_1^{adj}(x, I_p)$. Similarly, parallel evaluation of option 9 may turn out *MEM*-infeasible in shared memory. With both F_1^{adj} *MEM*-feasible in distributed memory, it would yield an elapsed run time of $\max(2 \cdot 4, 4 \cdot 4 + 1) + \varepsilon^+ = 17 + \varepsilon^+$.

Conclusion

Emerging AD technology should focus on AD *mission planning and control*, that is, the design and execution of preferably (near-)optimal AD solutions based on a collection of basic differentiable subprograms according to the following refined definition:

A differentiable program is a chain-rule-differentiable composition of differentiable programs featuring the required dynamically memory-feasible tangents and adjoints.

The term DP refers to the development of corresponding differentiable programs. Inputs of tangents and adjoints must be recoverable to enable checkpointing. Continuous integration of differentiable programs with corresponding tangents and adjoints into a DP Library ensures sustainable evolution of the latter. Differentiable programs become basic differentiable subprograms. The anything but trivial initial development effort is expected to be outweighed by the corresponding benefits for future activities in SC.

Traditional AD methods operating primarily at the level of arithmetic operations and intrinsic functions will not lose their relevance as tools for building basic differentiable subprograms that form the core of any DP Library. Their evolution is expected to remain as challenging as ever, keeping in mind the dynamics of the development of hardware, system software, and of programming paradigms and languages.

Outlook

All concepts generalize naturally to higher derivatives. Therefore, tangents and adjoints need to be differentiable. Note that higher-order adjoints are typically computed as tangents of lower-order adjoints [13,26]. Rigorous higher-order AD mission planning and control is still in its infancy. Non-differentiability of various relevant problems in CSE is responsible for substantial research in the areas of generalized derivatives [18,34] and generalized AD [11]. The integration of corresponding basic generalized differentiable subprograms into a unified DP hierarchy is highly desirable and, at the same time, nontrivial.

Delocalization of derivatives through interval expansions [33] or more general convex relaxations [22] can deliver useful information on the evolution of sensitivities over entire subdomains. Instantiation of adjoint programs with corresponding custom data types has been experimented with successfully in the context of pruning of ML models based on interval adjoint significance analysis [20]. The same study augments the data used to train surrogates with derivatives of the original programs obtained by AD. Corresponding Sobolev training methods have been shown to result in higher accuracy and improved generalization [7].

Hybrid modelling and simulation combining methods derived from first principles with purely data-driven ap-

proaches are expected to play an increasingly prominent role in future SC. Seamless AD of entire application software solutions will benefit tremendously from the proposed approach to what should eventually become *Differentiable Scientific Computing*. A multidisciplinary effort including mathematics, various subdomains of CSE, and computer science is required.

References

- [1] N. Baker et al.: Workshop Report on Basic Research Needs for Scientific Machine Learning: Core Technologies for Artificial Intelligence. OSTI.GOV, 2019.
- [2] F. Baur: Computational Graphs and Rounding Error. *SIAM Journal of Numerical Analysis* 11, 87-96, 1974.
- [3] A. Baydin et al.: Automatic Differentiation in Machine Learning: a Survey. *Journal of Machine Learning Research* 18, 1-43, 2018.
- [4] M. Blondel and V. Roulet: The Elements of Differentiable Programming. arXiv:2403.14606 [cs.LG], 2024.
- [5] M. Bücker and A. Rasch: Modeling the Performance of Interface Contraction. *ACM Transactions on Mathematical Software* 29, 440-457, 2003.
- [6] B. Christianson et al.: Special issue of Optimization Methods & Software: Advances in Algorithmic Differentiation. 2018.
- [7] W. Czarnecki et al.: Sobolev Training for Neural. *Advances in Neural Information Processing Systems* 30, 4278-4287, NIPS 2017.
- [8] E. Gamma et al.: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994.
- [9] A. Gebremedhin et al.: What Color is your Jacobian? Graph Coloring for Computing Derivatives. *SIAM Review* 47, 629-705, 2005.
- [10] J. Gilbert: Automatic Differentiation and Iterative Processes. *Optimization Methods and Software* 1, 13-21, 1992.
- [11] A. Griewank: On Stable Piecewise Linearization and Generalized Algorithmic Differentiation. *Optimization Methods and Software* 28, 1139-1178, 2013.
- [12] A. Griewank and G. Corliss: Automatic Differentiation of Algorithms: Theory, Implementation, and Application. SIAM, 1991.
- [13] A. Griewank and A. Walther: Evaluating Derivatives. 2nd Edition, SIAM, 2008.
- [14] A. Griewank and A. Walther: Algorithm 799: Revolve: An Implementation of Checkpoint for the Reverse or Adjoint Mode of Computational Differentiation. *ACM Transactions on Mathematical Software* 26, 19-45, 2000.
- [15] A. Griewank et al.: On the Numerical Stability of Algorithmic Differentiation. *Computing* 94, 125-149, 2012.
- [16] L. Hascoët et al.: "To be recorded" Analysis in Reverse-mode Automatic Differentiation. *Future Generation Computer Systems* 21, 1401-1417, 2005.
- [17] L. Hascoët and M. Araya-Polo: The Adjoint Data-Flow Analyses: Formalization, Properties, and Applications. In: M. Bücker et al. (eds) *Automatic Differentiation: Applications, Theory, and Implementations*. Lecture Notes in Computational Science and Engineering, vol 50. Springer, 2005.
- [18] L. Hascoët and V. Pascual: The Tapenade Automatic Differentiation Tool: Principles, Model, and Specification. *ACM Transactions on Mathematical Software* 39, 20:1-43, 2013.
- [19] M. Herty et al.: Algorithmic Differentiation of Hyperbolic Flow Problems. *Journal of Computational Physics* 430, 110110, 2021.
- [20] N. Kichler et al.: Towards Sobolev Pruning. *Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing Conference* 1, 2024.
- [21] J. Lotz et al.: Mixed Integer Programming for Call Tree Reversal. *Proceedings of the Seventh SIAM Workshop on Combinatorial Scientific Computing*, 83-91, 2016.
- [22] A. Mitsos et al.: McCormick-based Relaxations of Algorithms. *SIAM Journal on Optimization* 20, 573-601, 2009.
- [23] W. Moses et al.: Scalable Automatic Differentiation of Multiple Parallel Paradigms through Compiler Augmentation. *SC '22: Proceedings of the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, 1-18, 2022.
- [24] U. Naumann: Optimal Jacobian Accumulation is NP-complete. *Mathematical Programming* 112, 427-441, 2008.
- [25] U. Naumann: DAG Reversal is NP-complete. *Journal of Discrete Algorithms* 7, 402-410, 2009.
- [26] U. Naumann: The Art of Differentiating Computer Programs. SIAM, 2012.
- [27] U. Naumann et al.: dco/c++: Derivative Code by Overloading in C++: Introduction and Summary of Features. AIB-2016-08, RWTH Aachen University, 2016.
- [28] U. Naumann: Adjoint Code Design Patterns. *ACM Transactions on Mathematical Software* 45, 1-32, 2019.
- [29] U. Naumann et al.: Elimination Techniques for Algorithmic Differentiation Revisited. In: J. Berry et al. (eds) *Proceedings of SIAM Conference on Applied and Computational Discrete Algorithms (ACDA23)*, 201-212, 2023.
- [30] U. Naumann: Differenzierbare Forschungssoftware. *Softwaretechnik-Trends*, Band 44, Heft 1, Gesellschaft für Informatik eV, 2024.
- [31] G. Ostrovski et al.: Über die Berechnung von Ableitungen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule für Chemie Leuna-Merseburg* 13, 382-384, 1971.
- [32] L. Rall: Automatic Differentiation: Techniques and Applications. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 1981.
- [33] L. Rall and G. Corliss: Automatic Differentiation: Point and Interval. In: C. Floudas and P. Pardalos: *Encyclopedia of Optimization*, 108-113, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [34] Y. Song and P. Barton: New Generalized Derivatives for Solving Variational Inequalities Using the Nonsmooth Newton Methods. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2024.
- [35] J. Watt et al.: Derivatives and Automatic Differentiation. In: *Machine Learning Refined: Foundations, Algorithms, and Applications*. 511-545, Cambridge University Press, 2020.
- [36] R. Wengert: A Simple Automatic Derivative Evaluation Program. *Communications of the ACM* 7, 463-464, 1964.



Uwe Naumann has been a professor of Computer Science at RWTH Aachen University focusing on Software and Tools for Computational Engineering (STCE) since 2004. He holds Diploma (1996) and Doctoral (1999) degrees in Applied Mathematics from the Technical University Dresden. His research is primarily motivated by AD with emphasis on adjoint numerical methods, program analysis and transformation, combinatorial problems in AD and software development for AD. He has been a member and technical advisor of the Numerical Algorithms Group Ltd., Oxford, UK since 2008. He was appointed as Principal Scientist in 2022. In this role he has been actively promoting the use of AD and of corresponding numerical techniques in Computational Science, Engineering and Finance targeting both academia and industry.

POLYTOPE ELEMENTE AUF GRUNDLAGE DER SBFEM – METHODIK UND ANWENDUNGEN AUS DER STRUKTURMECHANIK

VON CAROLIN BIRK UND RAMA ASSAF

Motivation

Die Finite Elemente Methode (FEM) zählt zweifellos zu den wichtigsten Entwicklungen auf dem Gebiet der numerischen Mechanik. Seit ihrer Erfindung in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts hat sie sich insbesondere als Werkzeug für die Lösung von Problemen aus dem Bereich der Festkörpermechanik etabliert. Dennoch gibt es Aufgabenstellungen, die auch mit Hilfe der FEM schwierig zu lösen sind. So sind der effizienten Anwendung gewisse Grenzen gesetzt, wenn Singularitäten auftreten, das zu untersuchende Gebiet stark heterogen ist oder Abstrahldämpfung in räumlich unbegrenzten Gebieten zu berücksichtigen ist. Alternative Diskretisierungsverfahren wie die Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) [1, 2] können dazu geeignet sein, genau diese Lücken zu schließen. Die SBFEM ist ein semi-analytisches Verfahren, welches auf der Kombination einer Diskretisierung in Umfangsrichtung mit einer analytischen Lösung in radialer Richtung beruht. Letztere erlaubt die strenge Erfassung von Singularitäten sowie der Abstrahldämpfung. Darüber hinaus lassen sich auf der Grundlage der SBFEM polytope Elemente entwickeln, die eine beliebige Anzahl von Kanten beziehungsweise Oberflächen aufweisen können. Im Vergleich zu den in kommerziellen FE-Programmen verfügbaren Dreiecks- und Viereckselementen zeichnen sich derartige Elemente durch deutlich höhere Flexibilität bezüglich der Netzgenerierung aus. Polygonnetze können lokal stark verfeinert werden, ohne dass dabei Genauigkeitseinbußen zu verzeichnen sind. Dementsprechend eignen sie sich beson-

ders für Aufgabenstellungen, bei denen es zu Veränderungen der Geometrie kommt. Beispielhaft genannt seien die Simulation von Schädigungsprozessen sowie Anwendungen aus dem Bereich der Topologieoptimierung. Dieser Beitrag fasst die theoretischen Grundlagen der SBFEM zusammen und illustriert die speziellen Stärken der Methode anhand von Beispielen aus der Strukturmechanik.

Grundlagen der SBFEM

Die SBFEM beruht auf der Verwendung einer Koordinatentransformation, die sich im zweidimensionalen Fall wie folgt darstellt:

$$x = x_0 + \xi x_b = x_0 + \xi \mathbf{N}(\eta) \mathbf{x}_b, \quad (1)$$

$$y = y_0 + \xi y_b = y_0 + \xi \mathbf{N}(\eta) \mathbf{y}_b. \quad (2)$$

Hierin bezeichnen (x_0, y_0) die Koordinaten eines Punktes O , von dem aus der Rand des Gebiets uneingeschränkt sichtbar ist. Die lokale Koordinate ξ ist von diesem Punkt aus nach außen gerichtet. Der Rand wird mit Linienelementen diskretisiert. Die lokale Koordinate η verläuft entlang des Randes. Mit (x_b, y_b) werden die Koordinaten des Randes bezeichnet. Diese werden vom Punkt O aus gemessen. Die Vektoren $\mathbf{x}_b$ und $\mathbf{y}_b$ enthalten die entsprechenden Knotenkoordinaten. Durch Skalierung eines Linienelementes mit der radialen Koordinate $0 \leq \xi \leq 1$ entsteht ein dreiecksförmiger Sektor. Die Koordinatentransformation wird in Abb. 1

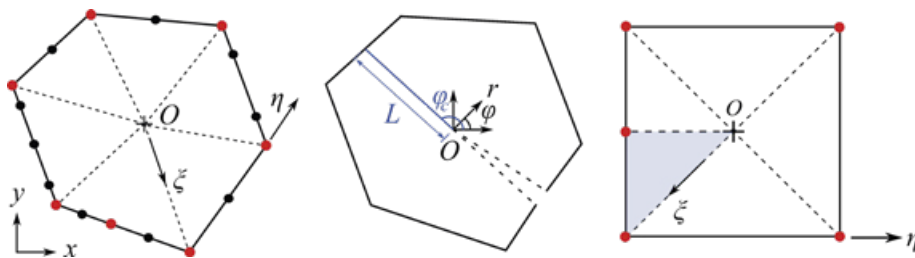


Abb. 1: Polygon-Elemente auf der Grundlage der SBFEM. Geschlossenes Polygon mit beliebiger Vernetzung des Randes (links); Offenes Polygon mit Risspitze (Mitte); Quadratisches Element mit 5 Kanten (rechts).

dargestellt. Neben geschlossenen Polygonen mit einer beliebigen Anzahl an Kanten werden offene Polygone verwendet, um Risse darstellen zu können. Hierbei liegt der Punkt O an der Rissspitze. Einen Sonderfall stellen quadratische Elemente mit hängenden Knoten dar, wie sie in strukturierten „Quadtree“-Netzen auftreten. Diese können als Polygone mit einer entsprechenden Anzahl an Kanten aufgefasst werden. Für dreidimensionale Probleme lassen sich analog polyedrische Elemente mit einer beliebigen Anzahl von Oberflächen und Hexaeder mit hängenden Knoten entwickeln, welche in sogenannten „Octree-Netzen“ vorkommen.

Das weitere Vorgehen wird für den Fall der linearen Elastizität skizziert. Das gesuchte Verschiebungsfeld wird analog zur Geometrie semi-diskretisiert,

$$\mathbf{u}(\xi, \eta) = \mathbf{N}^u(\eta) \mathbf{u}(\xi). \quad (3)$$

Hierbei werden in $\mathbf{N}^u = [N_1 \mathbf{I} \ N_2 \mathbf{I} \ \dots \ N_l \mathbf{I}]$ die gleichen Ansatzfunktionen verwendet wie für die Interpolation der Geometrie. $\mathbf{I}$ ist eine Einheitsmatrix der Größe 2×2 und l bezeichnet die Anzahl der Knoten eines Linienelementes. Setzt man die Koordinatentransformation (1)/(2) und den Verschiebungsansatz (3) in eine schwache Formulierung, wie beispielsweise das Prinzip der virtuellen Arbeit ein und wertet diese nur bezüglich der Umfangsrichtung aus, folgt eine gewöhnliche Differentialgleichung für die Knotenverschiebungen $\mathbf{u}(\xi)$, deren Lösung bekannt ist:

$$\mathbf{u}(\xi) = \Psi_u \xi^{-\lambda} \Psi_u^{-1} \mathbf{u}_b. \quad (4)$$

In Gleichung (4) sind Ψ_u und λ Eigenvektoren und Eigenwerte einer Hamiltonschen Matrix, die nur von der Diskretisierung des Randes und den Materialparametern abhängt [2, 3]. Der Vektor $\mathbf{u}_b$ enthält die Verschiebungen der Knoten auf dem Rand des Polygons. Für den Fall der linearen Elastizität können mit Hilfe von Gleichung (4) Elementsteifigkeitsmatrizen für Polygon-Elemente berechnet werden. Die analytische Lösung der oben genannten gewöhnlichen Differentialgleichung ist nur für ausgewählte lineare Problemstellungen möglich. Gleichung (4) erlaubt jedoch auch die Konstruktion allgemeinerer Ansatzfunktionen für Polygon-Elemente,

$$\mathbf{u}(\xi, \eta) = \mathbf{N}^{u(e)} \Psi_u \xi^{-\lambda} \Psi_u^{-1} \mathbf{u}_b = \mathbf{X}(\xi, \eta) \mathbf{u}_b, \quad (5)$$

die im Kontext der FEM weiterverwendet werden können. Diese Idee wurde zuerst im Zusammenhang mit der Modellierung funktional gradierter Materialien vorgeschlagen [4]. Sie ermöglicht die Lösung nichtlinearer und gekoppelter Probleme mit der SBFEM. Anwendungen finden sich zum Beispiel in den Bereichen Schädigungsmodellierung von Elastomerbauteilen [5], Poroelastizität [6], Elastoplastizität [7] und Thermoelastizität [8, 9, 10]. Im letztgenannten Fall werden separate Ansatzfunktionen für das Temperaturfeld und für das Verschiebungsfeld verwendet. Dabei ergeben sich die Ansatzfunktionen für die Temperatur aus der Lösung der Laplace-Gleichung mit der SBFEM, wäh-

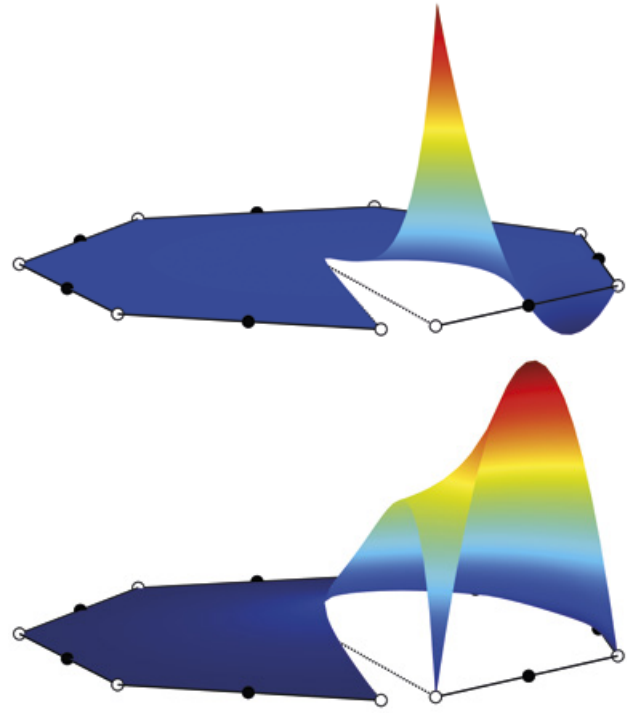


Abb. 2: Ansatzfunktion $\bar{X}(\xi, \eta)$ für den Verlauf der Temperatur innerhalb eines Polygons mit Riss und 7 Kanten. Komponente X_1 zur Temperatur am Knoten rechts des Risses (oben); Komponente X_2 zur Temperatur am benachbarten Knoten 2 (unten). Erstveröffentlichung in [30]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von M.D. Iqbal.

rend die Ansatzfunktionen für die Verschiebungen wie oben beschrieben konstruiert werden. Bei Verwendung offener Polygon-Elemente werden an Rissspitzen auftretende Singularitäten streng erfasst. Abb. 2 zeigt exemplarisch ausgewählte Ansatzfunktionen für den Verlauf der Temperatur innerhalb eines offenen Polygons mit sieben Kanten, wobei jede Kante mit einem quadratischen Linienelement diskretisiert wurde.

Wie eingangs erläutert, bietet sich die SBFEM insbesondere zur Modellierung auf hierarchischen Netzen sowie zur Lösung von Aufgabenstellungen aus dem Bereich der Bruchmechanik an. Hierzu werden im Folgenden einige Anwendungen zusammenfassend vorgestellt.

Automatische Netzgenerierung zur Modellierung von Materialien mit Mikrostruktur

Aufgrund der ausschließlichen Diskretisierung des Randes kann die SBFEM besonders vorteilhaft auf hierarchischen Netzen mit hängenden Knoten eingesetzt werden. Sogenannte „Quadtree“- oder „Octree“-Netze können automatisch aus digitalen Bilddaten erzeugt werden [11]. Ausgehend von einem quadratischen Gebiet der Größe $2^n \times 2^n$ (Pixel) beziehungsweise von einem kubischen Gebiet der Größe $2^n \times 2^n \times 2^n$ Voxel wird dieses immer dann in vier beziehungsweise acht gleich große Teile zerlegt, wenn der Farbwert innerhalb des Gebietes nicht homogen ist. Abb. 3 zeigt beispielhaft das digitale Bild einer betonähnlichen Mikrostruktur mit verschiedenen Einschlüssen.

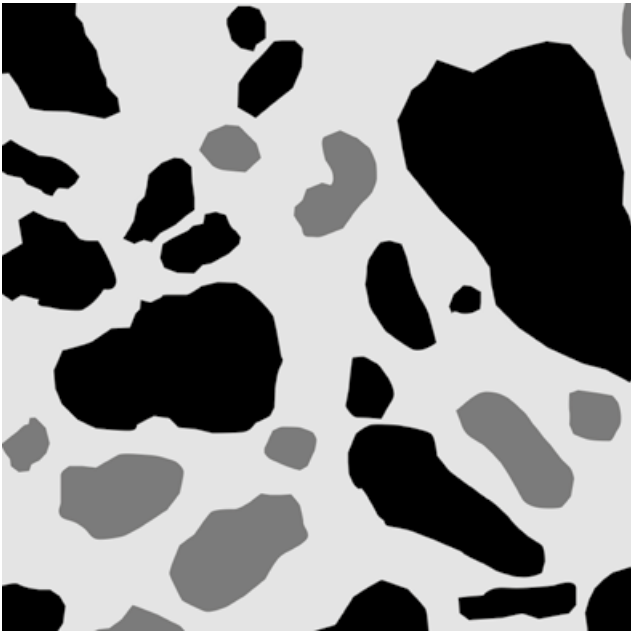


Abb. 3: Digitales Bild der künstlich erzeugten Mikrostruktur einer Betonprobe.

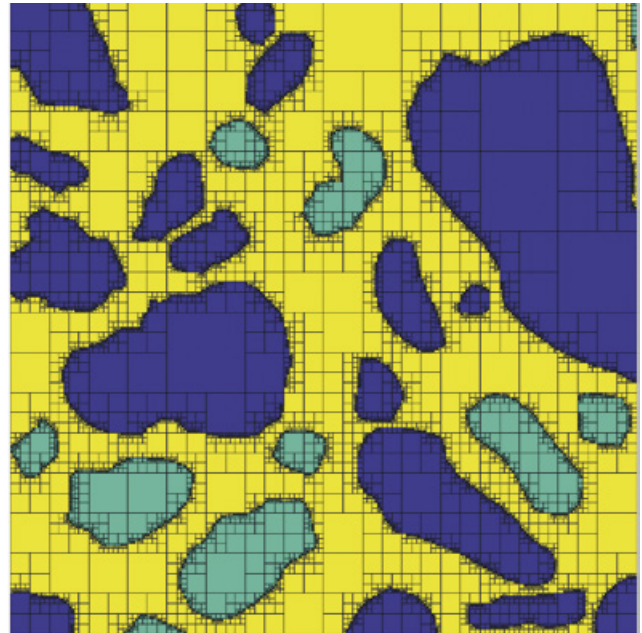


Abb. 4: Quadtree-Netz der Betonprobe.

Es hat eine Größe von 512×512 Pixel. Abb. 4 zeigt das automatisch generierte Quadtree-Netz. Es besteht aus 13.648 quadratischen Elementen mit 19.476 Knoten. Die maximale Elementgröße wird durch den Nutzer vorgegeben. Sie beträgt hier 64 Pixel. Die kleinsten Elemente der Größe ein Pixel ergeben sich an den Materialgrenzen. Die automatische Netzgenerierung dauert auf einem üblichen Desktop-PC mit i7-4790 CPU @ 3.60GHz und 32 GB RAM weniger als eine halbe Sekunde.

Das Vorgehen lässt sich auf dreidimensionale Mikrostrukturen übertragen. In [12] wurden poröse Polyvinylalkoholproben modelliert, die mittels Freeze-Casting hergestellt wurden. Ausgangspunkt der numerischen Modellierung war eine computertomografische Aufnahme einer äußerst filigranen Probe mit den Abmessungen $0,78 \times 0,8 \times 0,78 \text{ mm}^3$. Die vorliegenden CT-Daten umfassen 991 Ebenen mit jeweils gespeicherten Farbwerten. Hieraus wurde ein Bereich der Größe $128 \times 128 \times 128$ Voxel extrahiert. Abb. 5 zeigt das aus den extrahierten Bilddaten automatisch erzeugte Octree-Netz, wobei die maximale Elementgröße

hier 2 Voxel entspricht. Das Octree-Netz besteht aus 266.435 kubischen Elementen. Zum Vergleich wurde ein voxel-basiertes Netz ohne hängende Knoten erzeugt. Die Anzahl der Elemente beträgt hier 442.527. Innerhalb des Octree-Netzes treten nur 841 verschiedene Konfigurationen bezüglich der Anordnung hängender Knoten auf. Das entspricht nur 0,31% der insgesamt vorhandenen Zellen. Die Ausnutzung der Ähnlichkeit der Zellen trägt zur Erhöhung der Effizienz numerischer Simulationen auf Octree-Netzen bei [11, 13]. Für das in Abb. 5 (links) gezeigte Modell wurden mittlere Spannungen infolge eines näherungsweise uniaxialen Dehnungszustandes ermittelt. Hierzu wurden vertikale Verschiebungen $u_y = 10^{-3} [mm]L$ in Richtung der Längsporen am oberen Probenrand aufgebracht, während die Verschiebung senkrecht zu allen anderen Oberflächen behindert wurde. Mit L wird die Länge des Probekörpers in Richtung der Längsporen bezeichnet. Die Materialeigenschaften des reinen Polymerwerkstoffes wurden zu $E = 10 \text{ GPa}$, $\nu = 0$ angenommen. Abb. 5 illustriert die resultierenden Verschiebungen u_y .

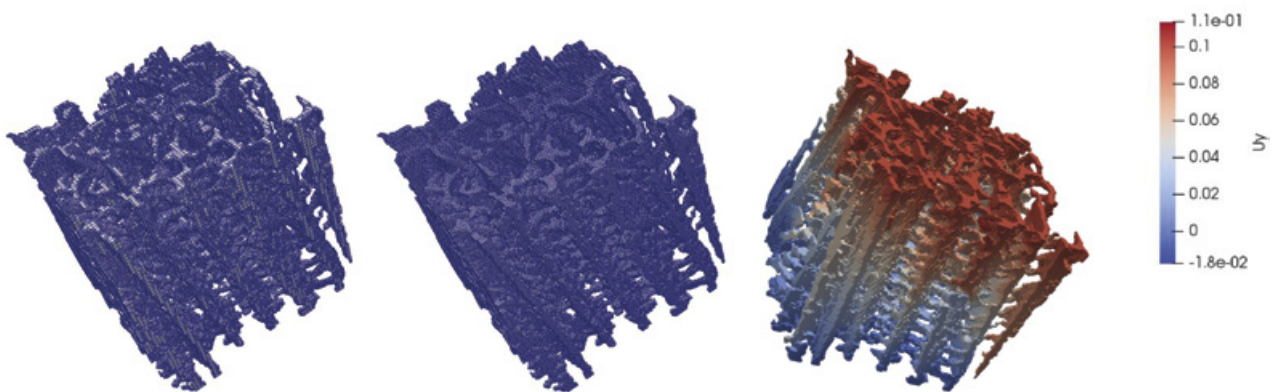


Abb. 5: Mikrostruktur einer Polyvinylalkoholprobe, die mittels Freeze-Casting hergestellt wurde. Octree-Netz (links); Voxel-basiertes Netz (Mitte); Verschiebung $u_y [\mu\text{m}]$ infolge eingetragter vertikaler Verschiebung in Richtung der Längsporen $\bar{u}_y = 10^{-3}L$ am oberen Rand (rechts).

Adaptive Phasenfeldmodellierung auf hierarchischen Netzen

Hierarchische Netze lassen sich besonders effektiv verfeinern. Sie werden daher zunehmend im Zusammenhang mit der adaptiven Phasenfeldmodellierung von Spröbruchvorgängen eingesetzt [14, 15, 16]. Hierbei werden Risse nicht diskret aufgelöst, sondern durch eine zusätzliche Variable, das Phasenfeld φ ($0 \leq \varphi \leq 1$), angenähert. Dabei entspricht $\varphi = 1$ dem vollständig geschädigten und $\varphi = 0$ dem intakten Zustand. Im Zuge der Regularisierung wird ein Längenparameter eingeführt, welcher bestimmt, wie stark der Riss verschmiert wird. Um kleine Längenparameter und damit schmale geschädigte Bereiche darzustellen, werden sehr feine Netze benötigt. Die Phasenfeldmethode (PFM) führt auf gekoppelte Differentialgleichungen für die Phasenfeldvariable φ und das Verschiebungsfeld $\mathbf{u}$.

Diese können monolithisch [17, 18] oder mit Hilfe eines gestaffelten Verfahrens [19] gelöst werden. Im ersten Fall können die oben beschriebenen Ansatzfunktionen für Polygon-Elemente auf Grundlage der SBFEM verwendet werden, um die adaptive Phasenfeldmodellierung auf Quadtree-Netzen zu ermöglichen [20]. Im zweiten Fall werden in jedem Iterationsschritt zwei entkoppelte Teilprobleme betrachtet, wobei jeweils nur eine der beiden Größen Phasenfeldvariable und Verschiebung unbekannt ist. Unter gewissen Voraussetzungen können beide Teilprobleme semi-analytisch mit der SBFEM gelöst werden. Dies wurde zuerst in [14] für den zweidimensionalen Fall gezeigt und in [16] auf den dreidimensionalen Fall erweitert. Hierzu wird einerseits ein hybrider Ansatz zur Beschreibung der Schädigungsevolution herangezogen [21] und andererseits angenommen, dass die Dehnungen beziehungsweise die Phasenfeldvariable innerhalb eines Elementes als konstant angenommen werden können, während jeweils für die Phasenfeldvariable beziehungsweise für die Verschiebungen gelöst wird. Für die adaptive Netzverfeinerung werden in [16] unterschiedliche Fehlerindikatoren eingesetzt. Einerseits liefert die SBFEM einen semi-analytischen Fehlerschätzer [22], mit dessen Hilfe sich die Genauigkeit der Lösung allgemein kontrollieren lässt. Dieser wird mit einem Grenzwert für die Phasenfeldvariable kombiniert. Beide Kriterien werden überprüft, nachdem Konvergenz des gestaffelten Verfahrens für einen Lastschritt festgestellt wurde. Nach der Netzverfeinerung werden Phasenfeldvariable, Verschiebungen und Dehnungen entsprechend projiziert. Anschließend wird die Berechnung des aktuellen Lastschrittes auf dem verfeinerten Netz wiederholt. Beispielhaft wird die adaptive Phasenfeldmodellierung mit der SBFEM für ein Benchmark-Problem illustriert. Betrachtet wird eine Platte mit zwei kreisförmigen Aussparungen und zwei existierenden Rissen unter Zug, siehe Abb. 6. Das System wird als dreidimensionaler Körper modelliert. Die vertikale Verschiebung in y -Richtung wird in 300 Lastschritten in Höhe von $\Delta u_y = 10^{-4}$ [mm] aufgebracht. Für die Materialparameter gilt $E = 210$ kN/mm², $\nu = 0,3$, $l_0 = 0,1$ mm, $G_c = 1,0$ N/mm. Die in Abb. 6 gezeigte Geometrie wird mit einem Octree-Netz diskretisiert, wobei die minimale und maximale Elementgröße jeweils

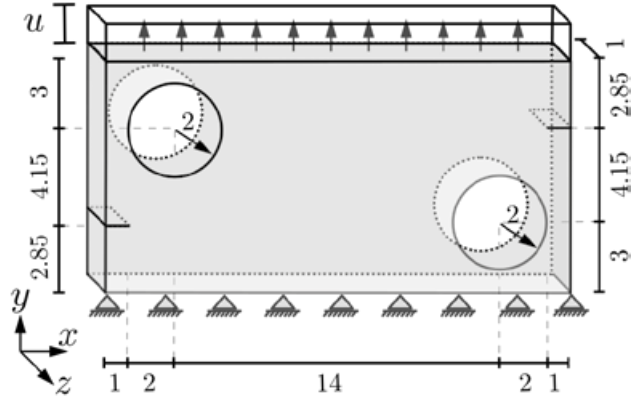


Abb. 6: Probekörper mit zwei Aussparungen und zwei Rissen. Geometrie und Belastung [25].

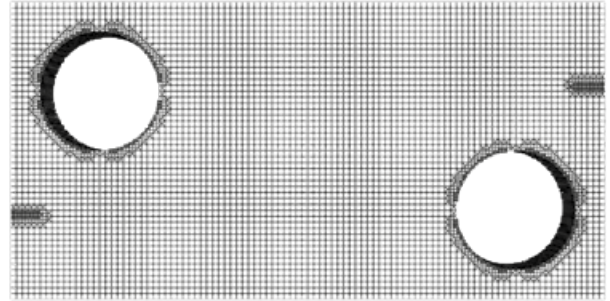


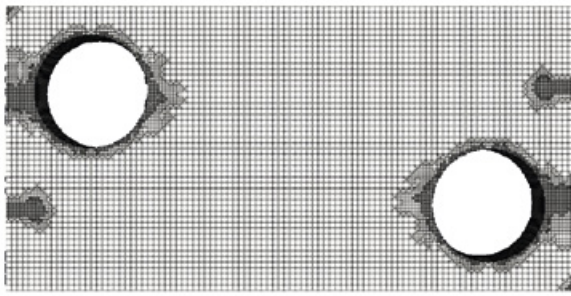
Abb. 7: Probekörper mit zwei Aussparungen und zwei Rissen. Octree-Netz im Ausgangszustand [25].

$h_{\min} = 0,05$ mm beziehungsweise $h_{\max} = 4h_{\min} = 0,2$ mm betragen. Dieses Ausgangsnetz ist in Abb. 7 dargestellt. Die Knotenzahl beträgt 60.180. Im Vergleich dazu würde ein strukturiertes Netz mit Elementen der Größe $h = 0,05$ mm auf 1.489.131 Knoten führen. Das in Abb. 7 gezeigte Netz wird im Rahmen der Phasenfeldmodellierung adaptiv verfeinert, wie oben beschrieben. Abb. 8 zeigt die Schädigungsentwicklung sowie das entsprechende Netz bei ausgewählten Belastungsschritten. Während der adaptiven Verfeinerung steigt die Knotenanzahl auf etwa das Dreifache an, bleibt jedoch deutlich unter der des gleichförmigen Netzes. Die ermittelten Risspfade stimmen qualitativ gut mit Referenzlösungen für den zweidimensionalen Fall überein [23, 24]. Für weitere Details wird auf [25, 16] verwiesen.

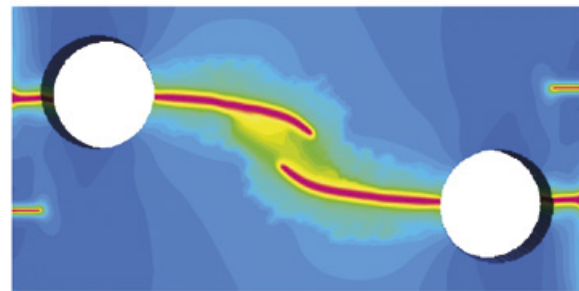
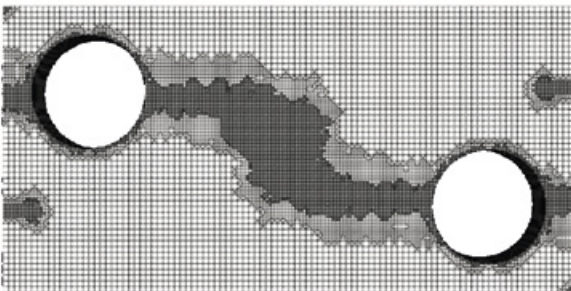
Diskrete Rissausbreitung mit Polygonnetzen

Alternativ eignen sich Polygonnetze zur Modellierung diskreter Risse. Bei Verwendung der SBFEM für Probleme der linearen Bruchmechanik lassen sich auch die Spannungen $\sigma^T = [\sigma_x \sigma_y \tau]$ semi-analytisch darstellen,

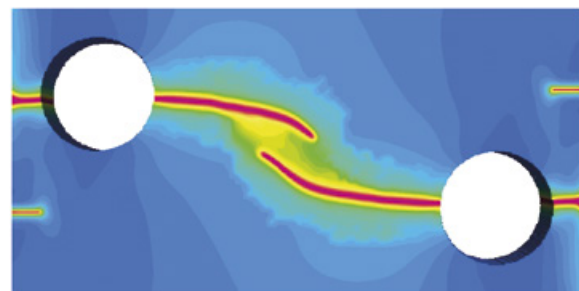
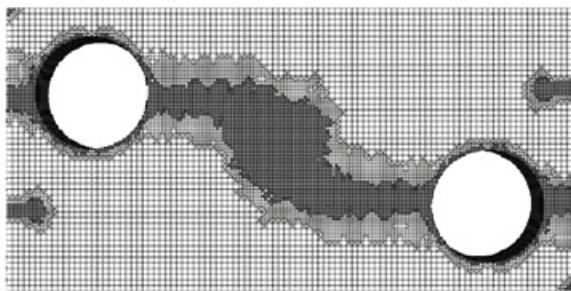
$$\sigma = \Psi_\sigma(\eta) \xi^{-\lambda-1} \Psi_u^{-1} \mathbf{u}_b. \quad (6)$$



a) $u = 0,015$ mm, 108.690 Knoten



b) $u = 0,017$ mm, 269.466 Knoten



c) $u = 0,025$ mm, 278.095 Knoten

Abb. 8: Probekörper mit zwei Aussparungen und zwei Rissen unter Zugbeanspruchung. Adaptive Netzverfeinerung und Schädigungsentwicklung [25].

In Gleichung (6) wird der Verlauf der Spannungen in Umfangsrichtung durch die Spannungsmoden Ψ_σ beschrieben. Eigenwerte $\lambda^{(s)}$ mit $-1 < \lambda^{(s)} < 0$ führen auf singuläre Spannungen $\sigma^{(s)}$. Hieraus folgen durch direkten Vergleich mit den klassischen Lösungen semi-analytische Ausdrücke für die Spannungsintensitätsfaktoren, die als Indikatoren für den Rissfortschritt dienen [26]. Ist die neue Lage der Risspitze bekannt, können Polygonnetze effektiv lokal verfeinert werden, indem einige umliegende Polygon-Elemente identifiziert werden und der entsprechende Bereich neu vernetzt wird [27]. Diese Vorteile wurden in [28, 9, 10] ausgenutzt, um thermisch-induzierte Schädigungsprozesse zu modellieren. Dabei ist es im Fall der unidirektionalen thermomechanischen Kopplung [28] möglich, sowohl das thermische Problem als auch das mechanische Problem semi-analytisch zu lösen. Die Beschreibung bidirektional gekoppelter thermisch-induzierter Bruchvorgänge [10] sowie die Berücksichtigung funktional-gradierter

Materialeigenschaften [9] gelingt unter Verwendung der oben erläuterten Ansatzfunktionen für Polygon-Elemente auf Basis der SBFEM. Beispielhaft werden die Ergebnisse der Simulation des dynamischen thermisch induzierten Rissfortschritts an einer Scheibe mit Loch und zwei existierenden Rissen in Abb. 9 illustriert. Für die detaillierte Beschreibung der Geometrie und der Materialparameter wird auf [29, 30] verwiesen. Die Referenztemperatur beträgt $\theta_0 = 3,5$ K. Der innere Rand erfährt eine plötzliche Temperaturänderung von $\theta = -1$ K. Der äußere Scheibenrand sowie die existierenden und entstehenden Rissoberflächen seien thermisch isoliert. Die in einer Simulation des dynamischen Rissfortschritts relevante Rissausbreitungsgeschwindigkeit wird aus [29] übernommen. Die gegebene Geometrie wird mit 835 Polygon-Elementen vernetzt. Die Anzahl der Polygon-Elemente wächst während des Rissfortschritts auf 1284 an. Dabei erfolgt die Verfeinerung jeweils nur lokal in der Nähe der Risspitze.

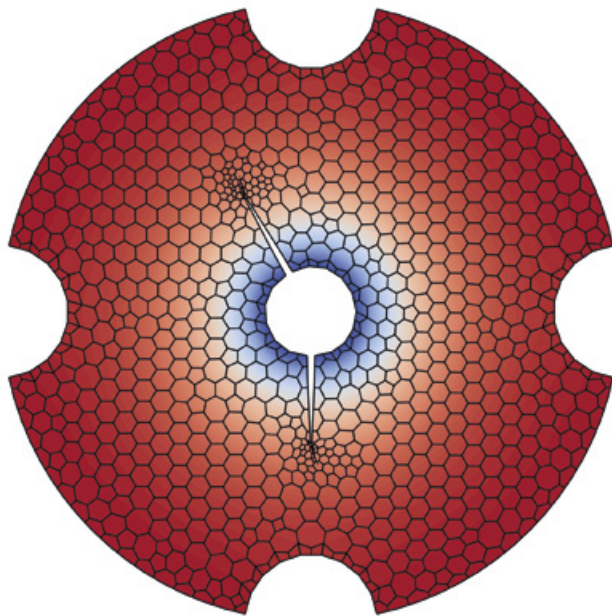
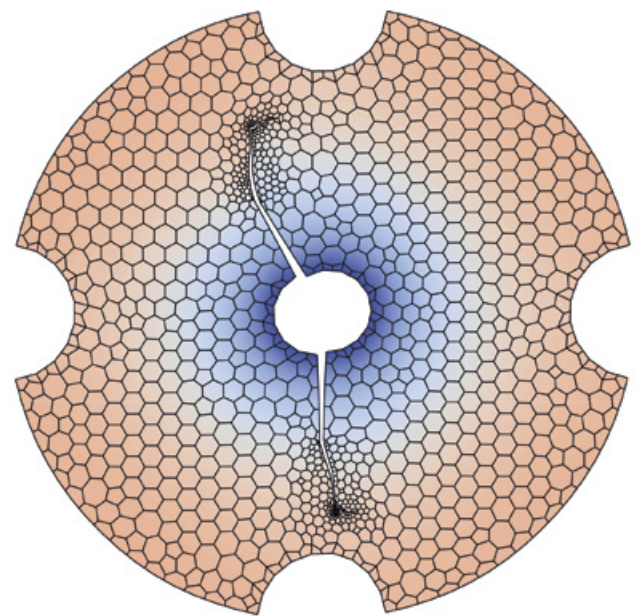
a) $\tau = 0,2$ - 931 Polygon-Elementeb) $\tau = 1,0$ - 1206 Polygon-Elemente

Abb. 9: Scheibe mit Loch und zwei Rissen: Simulation der Rissausbreitung infolge thermischen Schocks durch plötzliche Temperaturänderung am inneren Rand. Temperaturverteilung und skalierte Verformung. $\tau = t v_c / l_c$ mit $v_c = 1000 \text{ m/s}$, $l_c = 0,01 \text{ m}$. Erstveröffentlichung in [30]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von M.D. Iqbal.

Wesentliche Bereiche des Polygonnetzes bleiben unverändert. Die ermittelten Rissverläufe stimmen gut mit den in [29] veröffentlichten Vergleichslösungen überein.

Zusammenfassung

Der Beitrag fasst die Ableitung polytooper Elemente basierend auf der SBFEM zusammen und illustriert die Stärken der Methode anhand von Anwendungen aus dem Bereich der Strukturmechanik. Insbesondere hinsichtlich der Modellierung von Schädigungsprozessen mit der adaptiven Phasenfeldmethode besteht aus Sicht der Autorinnen großes Anwendungspotenzial. Aktuelle Forschungsarbeiten sind auf Erweiterungen derart gerichtet, dass dynamische Schädigungsprozesse sowie Bruchvorgänge in duktilen oder polykristallinen Werkstoffen modelliert werden können.

Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten zur Phasenfeldmodellierung mit der SBFEM sind im Rahmen des DFG-geförderten Projekts „Effiziente Simulationsverfahren für die dreidimensionale Phasenfeldmodellierung von Schädigungsprozessen in Materialien mit ausgeprägter Mikrostruktur“, Projekt-nummer 444616865, entstanden. Die zusammengefassten Arbeiten zur thermisch-induzierten Rissausbreitung wurden teilweise gemeinsam mit Dr. Ean Tat Ooi, Federation University Australia, im Rahmen des Programmes des projektbezogenen Personenaustauschs (DAAD-PPP Australien) erarbeitet. Die Autorinnen bedanken sich herzlich für die finanzielle Unterstützung durch die DFG, Universities Australia und das Bundesministerium für Bildung und Forschung vertreten durch den DAAD.

Literatur

- [1] J. P. Wolf, The scaled boundary finite element method, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [2] C. Song, The Scaled Boundary Finite Element Method. Introduction to Theory and Implementation, John Wiley & Sons Ltd, 2018.
- [3] C. Song, „A matrix function solution for the scaled boundary finite-element method in statics,“ Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 193, 2325-2356, 2004.
- [4] I. Chiong, E. T. Ooi, C. Song und F. Tin-Loi, „Scaled boundary polygons with application to fracture analysis of functionally graded materials,“ International Journal for Numerical Methods in Engineering, 98, 562-589, 2014.
- [5] R. Behnke, M. Mundil, C. Birk und M. Kaliske, „A physically and geometrically nonlinear scaled-boundary-based finite element formulation for fracture in elastomers,“ International Journal for Numerical Methods in Engineering, 99, 966-999, 2014.
- [6] E. T. Ooi, C. Song und S. Natarajan, „A scaled boundary finite element formulation for poroelasticity,“ International Journal for Numerical Methods in Engineering, 114, 905-929, 2018.
- [7] E. T. Ooi, C. Song und F. Tin-Loi, „A scaled boundary polygon formulation for elasto-plastic analyses,“ Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 268, 905-937, 2014.
- [8] E. T. Ooi, M. D. Iqbal, C. Birk, S. Natarajan, E. H. Ooi und C. Song, „A polygon scaled boundary finite element formulation for transient coupled thermoelastic fracture problems,“ Engineering Fracture Mechanics, 240, 107300, 2020.
- [9] M. Iqbal, C. Birk, E. T. Ooi, A. L. N. Pramod, S. Natarajan, H. Gravenkamp und C. Song, „Thermoelastic fracture analysis of functionally graded materials using the scaled boundary finite element method,“ Engineering Fracture Mechanics, 264, 108305, 2022.
- [10] M. D. Iqbal, C. Birk, E. T. Ooi, S. Natarajan und H. Gravenkamp, „Transient thermoelastic fracture analysis of functionally graded materials using the scaled boundary finite element method,“ Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 127, 104056, 2023.
- [11] A. Saputra, H. Talebi, D. Tran, C. Birk und C. Song, „Automatic image-based stress analysis by the scaled boundary finite element method,“ International Journal for Numerical Methods in Engineering, 109, 697-738, 2017.

- [12] C. Birk, D. C. Lupascu, M. Vadalà und A. Saputra, „Image-based stress analysis of porous freeze casts,” *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 20, e20200135, 2020.
- [13] J. Zhang, A. Ankit, H. Gravenkamp, S. Eisenträger und C. Song, „A massively parallel explicit solver for elasto-dynamic problems exploiting octree meshes,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 380, 113811, 2021.
- [14] Hirshikesh, A. L. N. Pramod, R. K. Annabattula, E. T. Ooi, C. Song und S. Natarajan, „Adaptive phase-field modeling of brittle fracture using the scaled boundary finite element method,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 355, 284-307, 2019.
- [15] S. Natarajan, E. T. Ooi, C. Birk und C. Song, „Adaptive modelling of dynamic brittle fracture - a combined phase field regularized cohesive zone model and scaled boundary finite element approach,” *International Journal of Fracture*, 236, 87-108, 2022.
- [16] R. Assaf, C. Birk, S. Natarajan und H. Gravenkamp, „Three-dimensional phase-field modeling of brittle fracture using an adaptive octree-based scaled boundary finite element approach,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 399, 115364, 2022.
- [17] T. Gerasimov und L. De Lorenzis, „A line search assisted monolithic approach for phase-field computing of brittle fracture,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 312, 276-303, 2015.
- [18] T. Wick, „Modified Newton methods for solving fully monolithic phase-field quasi-static brittle fracture propagation,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 325, 577-611, 2017.
- [19] C. Miehe, M. Hofacker und F. Welschinger, „A phase field model for rate-independent crack propagation: Robust algorithmic implementation based on operator splits,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 199, 2765-2778, 2019.
- [20] C. Birk, A. K. Pasupuleti, R. Assaf, S. Natarajan und H. Gravenkamp, On the use of scaled boundary shape functions in adaptive phase field modeling of brittle fracture, <https://doi.org/10.1007/s00466-024-02529-6>, 2024.
- [21] M. Ambati, T. Gerasimov und L. De Lorenzis, „A review on phase-field models of brittle fracture and a new fast hybrid formulation,” *Computational Mechanics*, 55, 383-405, 2015.
- [22] C. Song, E. T. Ooi, A. L. N. Pramod und S. Natarajan, „A novel error indicator and an adaptive refinement technique using the scaled boundary finite element method,” *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 94, 10-24, 2018.
- [23] A. Egger, U. Pillai, K. Agathos, E. Kakouris, E. Chatzi, I. A. Aschroft und S. P. Triantafyllou, „Discrete and phase field methods for linear elastic fracture mechanics: A comparative study and state-of-the-art review,” *Applied Sciences*, 9, 2436, 2019.
- [24] J.-Y. Wu, V. P. Nguyen, C. T. Nguyen, D. Sutula, S. Sinaie und S. P. Bordas, „Phase-field modeling of fracture,” *Advances in Applied Mechanics*, 53, 1-183, 2020.
- [25] R. Assaf, „Efficient image-based fracture modeling in 3D,” Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2024.
- [26] C. Song, E. T. Ooi und S. Natarajan, „A review of the scaled boundary finite element method for two-dimensional linear elastic fracture mechanics,” *Engineering Fracture Mechanics*, 187, 45-73, 2018.
- [27] E. T. Ooi, C. Song, F. Tin-Loi und Z. Yang, „Polygon scaled boundary finite elements for crack propagation modeling,” *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 91, 319-342, 2012.
- [28] M. D. Iqbal, C. Birk, E. T. Ooi und H. Gravenkamp, „Development of the scaled boundary finite element method for crack propagation modeling of elastic solids subjected to coupled thermo-mechanical loads,” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 387, 114106, 2021.
- [29] S. H. Bayat und M. B. Nazari, „Dynamic Crack Propagation under Thermal Impact,” *International Journal of Solids and Structures*, 264, 112090, 2023.
- [30] M. D. Iqbal, „Development of scaled boundary polygon elements for coupled thermoelastic fracture modeling,” Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2024.



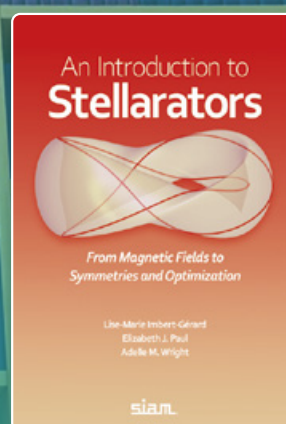
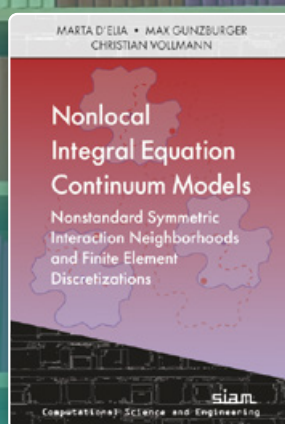
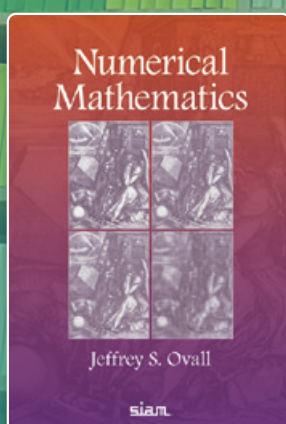
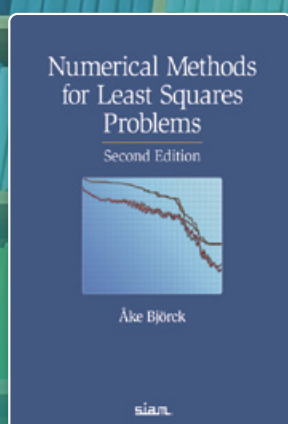
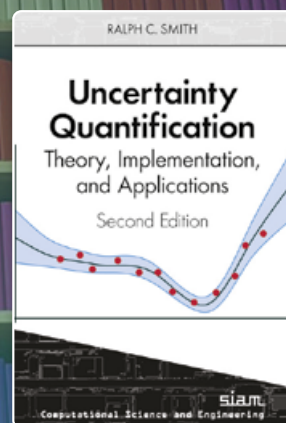
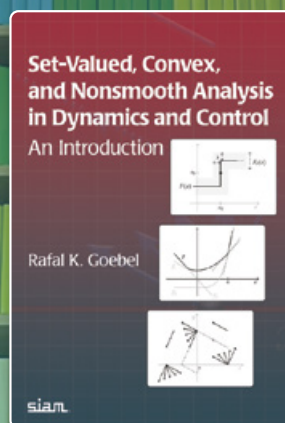
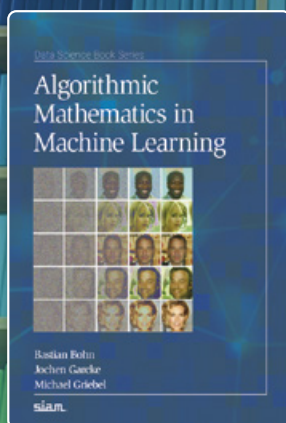
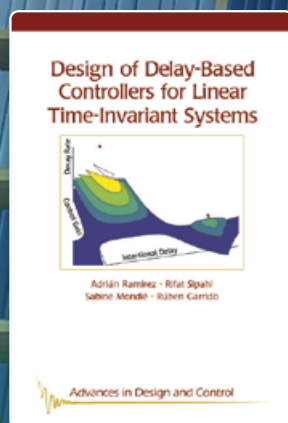
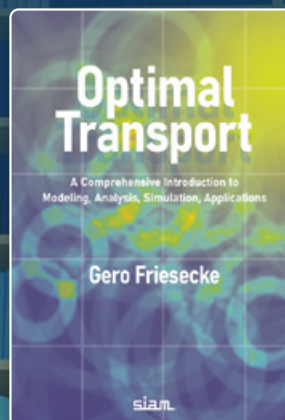
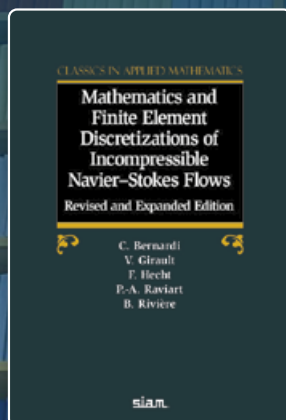
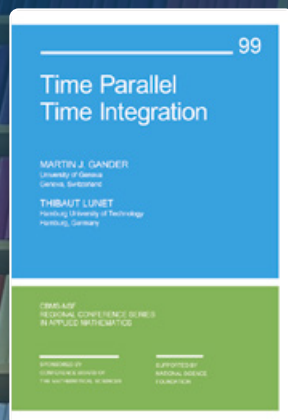
Prof. Dr.-Ing. habil. Carolin Birk leitet seit 2015 das Fachgebiet für Statik und Dynamik der Tragwerke in der Abteilung Bauwissenschaften der Universität Duisburg-Essen. Von 2011 bis 2015 war sie als Lecturer an der School of Civil Engineering, University of New South Wales, Australien tätig. Carolin Birk studierte von 1993 bis 1999 an der Technischen Universität Dresden, wo sie 2004 promovierte und sich 2013 habilitierte. Von 2009 bis 2011 wurde ihre Forschungsarbeit mit einem Marie-Curie Outgoing Fellowship der Europäischen Kommission gefördert. Ihre Forschung widmet sich der Entwicklung nicht-klassischer Diskretisierungsverfahren und deren Anwendung auf strukturelle Fragestellungen, die im Zusammenhang mit komplexen Tragwerken auftreten.



Dr.-Ing. Rama Assaf absolvierte von 2009 bis 2014 ihr Bachelorstudium des Bauingenieurwesens an der Universität Damaskus. Von 2015 bis 2018 studierte sie im Masterstudiengang Computational Mechanics an der Universität Duisburg-Essen. Seit Oktober 2018 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke tätig. Im Oktober 2024 promovierte sie an der Universität Duisburg-Essen mit ihrer Arbeit zur dreidimensionalen Schädigungssimulation mittels einer adaptiven Phasenfeldmodellierung auf Grundlage der SBFEM.

Rundbrief Readers

Save up to 30% on these titles & more!



To order, visit bookstore.siam.org

Use code **BKGM25** to get a 20% discount. SIAM members automatically receive 30% off.

siam BOOKSTORE | Society for Industrial and Applied Mathematics

Dr.-Ing. Kevin Linka

begann sein Maschinenbaustudium an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und wechselte anschließend für sein Masterstudium an die RWTH Aachen University. Dort promovierte er 2018 im Bereich der Multiskalenmodellierung von weichen faserverstärkten Geweben. Im Anschluss forschte er als Postdoktorand an der TU Hamburg, sowie, während eines vom DAAD geförderten Aufenthalts, an der Stanford University, wo er sich intensiv mit datengetriebenen Methoden in der Materialmodellierung beschäftigte. Ab dem Sommersemester 2024 vertrat er die Professur für Angewandte Mechanik an der RWTH Aachen University und kehrte im Oktober 2024 an die TU Hamburg zurück, um dort eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe aufzubauen.

Seine Entscheidung, Maschinenbau zu studieren, wurde entscheidend durch seine Teilnahme am X-Prize Cup 2006 der NASA in der Kategorie Space Elevator Games geprägt, bei dem sein Schulteam den 3. Platz belegte. Besonders seine Leidenschaft für Mechanik wurde durch die inspirierenden Vorlesungen von Prof. Albrecht Bertram an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg entfacht. Im Rahmen seiner Bachelorarbeit beschäftigte er sich eingehend mit den Schwingungen von Waagenbalkenbrücken, unter der fachkundigen Anleitung von Dr. Rainer Glüge.

Für sein Masterstudium wechselte er anschließend an die RWTH Aachen University, an der er einen Master im allgemeinen Maschinenbau absolvierte. Während seiner Masterarbeit am Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik entdeckte er seine große Faszination für Biomechanik. Unter der Betreuung von Prof. Mikhail Itskov untersuchte er die Schädigungsmodellierung von Weichgeweben, ein Thema, das ihn auch während seiner Promotion weiterhin begleitete. Daher setzte er seine Forschung am Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik der RWTH Aachen University fort und widmete sich der Multiskalenmodellierung biologischer Gewebe, die aufgrund komplexer, dreidimensionaler Faserarchitekturen eine Vielzahl unterschiedlicher mechanischer Eigenschaften aufweisen.

Seine Forschung konzentrierte sich sowohl auf die systematische mechanische Modellierung verschiedener Längenskalen und deren Übergänge als auch auf die patientenspezifische Kalibrierung der entwickelten Materialmodelle [1]. Diese Arbeit führte zu einer engen Kooperation mit der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Uniklinik Aachen. Dort analysierte das Team quantitative magnetresonanztomographische (MRT) Datensätze von humanem Knorpelgewebe unter definierten mechanischen Belastungen, um geeignete Biomarker zur Frühdiagnose von Arthrose abzuleiten [2,3].

Fasziniert von den Möglichkeiten, zusätzliche Messwerte in die Materialmodellierung einzubeziehen, setzte Herr Linka seine Forschungen zur datengetriebenen Materialmodellierung fort. Als Postdoktorand trat er dem Institut für Konti-

nuums- und Werkstoffmechanik der TU Hamburg bei, unter der Leitung von Prof. Christian Cyron. Hier verknüpfte

er datengetriebene Methoden systematisch mit theoretischen und numerischen Ansätzen. Sein Fokus lag auf der prädiktiven Materialmodellierung mithilfe von Grey-Box-Modellierungsstrategien. Ein zentrales Anliegen war die Entwicklung robuster Architekturen zur Verbesserung des maschinellen Lernens, unterstützt durch theoretisches Wissen aus Kontinuumsmechanik und Materialtheorie. Dies führte zur Schaffung sogenannter Constitutive Artificial Neural Networks (CANNs) [4]. Zudem legte er einen weiteren Schwerpunkt darauf, mechanische Eigenschaften komplexer biologischer Weichgewebe aus Mikrostrukturbilddaten vorherzusagen (siehe Abbildung 1). Diese Arbeiten entstanden in enger Zusammenarbeit mit Prof. Gerhard Holzapfel (TU Graz) und Prof. Jay Humphrey (Yale University) [5,6].

Während seiner Zeit als Postdoktorand an der Stanford University in der Gruppe von Prof. Ellen Kuhl entwickelte er innovative Ansätze zur automatisierten Modellfindung. Gemeinsam konzipierten sie eine spezielle Form von CANNs, welche thermodynamische und physikalische Einschränkungen in Betracht ziehen. Dabei steuern sie Eingaben, Ausgaben, Konnektivität und Aktivierungsfunktionen des Netzes. Diese neuartigen Netzwerke sind in der Lage, automatisch das Modell, die Parameter und geeignete Experimente zur Charakterisierung weicher Materialsysteme zu bestimmen [7]. Diese Modelle wurden bereits erfolgreich an einer breiten Palette unterschiedlicher Materialien getestet, darunter Gummi, Arterien, Herzgewebe, Haut und Gehirn sowie kürzlich bei der Entwicklung von künstlichem Fleisch [8,9]. Darüber hinaus ermöglichen sie durch ihre reduzierte Anzahl an Materialparametern eine präzise Quantifizierung der Unsicherheiten in der Modellfindung, unterstützt durch Techniken aus der variationalen Bayesianischen Inferenz (siehe Abbildung 2) [10]. Seit Oktober 2024 ist Herr Linka erneut am Institut für Kontinuums- und Werkstoffmechanik der TU Hamburg tätig, um eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe aufzubauen. Diese Gruppe wird sich auf physik-informiertes maschi-

STECKBRIEF



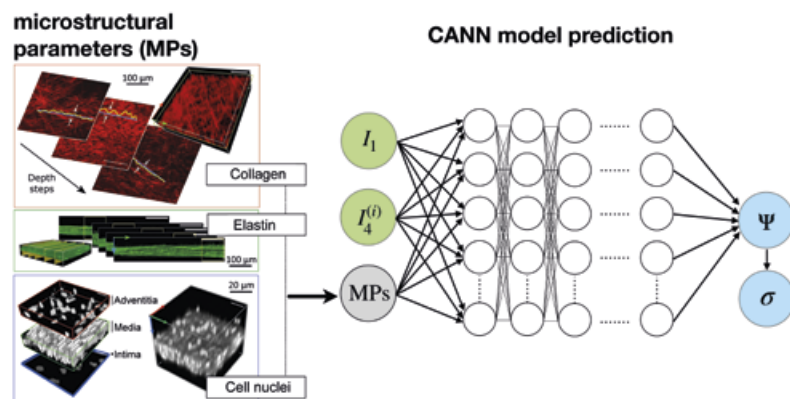


Abb. 1: Die Abbildung veranschaulicht den schematischen Ablauf, wie spezifische Mikrostrukturdaten genutzt werden, um mithilfe eines Constitutive Artificial Neural Networks (CANN) Spannungsantworten zu präzidieren. Zunächst werden Mikrostrukturdaten mittels Multiphotonenmikroskopie (von Mäuserarterien) extrahiert, um wesentliche Informationen über Kollagen, Elastin und Zellkerne zu gewinnen. Diese Daten werden gemeinsam mit kinematischen Informationen (I_1, I_4) verwendet, um die Spannungsantworten (σ) eines vortrainierten CANNs zu berechnen. in Anlehnung an [6].

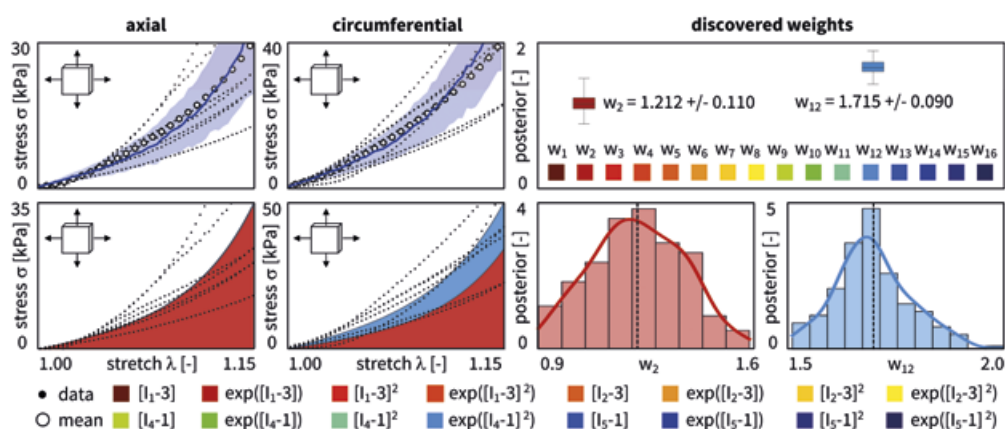


Abb. 2: Auf der linken Seite ist die Statistik der Spannungsantwort dargestellt. Die blaue Linie repräsentiert den Mittelwert der Spannung des Modells, während die weißen Kreise den Mittelwert der Spannung der experimentellen Daten einzelner Arterienproben (schwarze Punkte) anzeigen. Zusätzlich sind in der unteren linken Ecke die jeweiligen entdeckten Modellterme abgebildet. Die rechte Seite zeigt die entsprechenden a-posteriori-Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Weitere Informationen können [10] entnommen werden.

nelles Lernen konzentrieren und sowohl die deskriptive als auch die prädiktive Modellierung weicher Materialien automatisieren. Potenzielle Anwendungsgebiete umfassen die

virtuelle Materialentwicklung, Medizintechnik sowie innovative Anwendungen in der Robotik.

Literatur

- [1] Linka, K., Hillgärtner, M., & Itskov, M. (2018). Fatigue of soft fibrous tissues: Multi-scale mechanics and constitutive modeling. *Acta biomaterialia*, 71, 398-410. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.03.010>
- [2] Linka, K., Schäfer, A., Hillgärtner, M., Itskov, M., Knobe, M., Kuhl, C., ... & Nebe-lung, S. (2019). Towards patient-specific computational modelling of articular cartilage on the basis of advanced multiparametric MRI techniques. *Scientific Reports*, 9, 7172. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43389-y>
- [3] Linka, K., Thüning, J., Rieppo, L., Aydin, R. C., Cyron, C. J., Kuhl, C., ... & Nebe-lung, S. (2021). Machine learning-augmented and microspectroscopy-informed multiparametric MRI for the non-invasive prediction of articular cartilage composition. *Osteoarthritis and cartilage*, 29(4), 592-602. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.12.022>
- [4] Linka, K., Hillgärtner, M., Abdolazizi, K. P., Aydin, R. C., Itskov, M., & Cyron, C. J. (2021). Constitutive artificial neural networks: A fast and general approach to predictive data-driven constitutive modeling by deep learning. *Journal of Computational Physics*, 429, 110010. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.110010>
- [5] Holzapfel, G. A., Linka, K., Sherifova, S., & Cyron, C. J. (2021). Predictive consti-tutive modelling of arteries by deep learning. *Journal of the Royal Society Inter-face*, 18(182), 20210411. <https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0411>
- [6] Linka, K., Cavinato, C., Humphrey, J. D., & Cyron, C. J. (2022). Predicting and understanding arterial elasticity from key microstructural features by bidirectional deep learning. *Acta biomaterialia*, 147, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.05.039>
- [7] Linka, K., & Kuhl, E. (2023). A new family of Constitutive Artificial Neural Net-works towards automated model discovery. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 403, 115731. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115731>
- [8] Linka, K., Pierre, S. R. S., & Kuhl, E. (2023). Automated model discovery for human brain using constitutive artificial neural networks. *Acta Biomateria-lia*, 160, 134-151. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.01.055>
- [9] Linka, K., & Kuhl, E. (2024). Best-in-class modeling: A novel strategy to discover constitutive models for soft matter systems. *Extreme Mechanics Letters*, 102181. <https://doi.org/10.1016/j.eml.2024.102181>
- [10] Linka, K., Holzapfel, G. A., & Kuhl, E. (2024). Discovering uncertainty: Bayesian constitutive artificial neural networks. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* (accepted).

Kontakt

Dr.-Ing. Kevin Linka
Technische Universität Hamburg
Institut für Kontinuums- und Werkstoffmechanik (M-15)
Eißendorfer Str. 42 (M), 21073 Hamburg
kevin.linka@tuhh.de

Dr. Carolin Mehlmann

schloss 2015 ihr Masterstudium in Scientific Computing an der Ruprecht-Karls-Universität in Heidelberg ab. Gefördert durch ein Stipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt promovierte sie 2019 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Von 2019 bis 2022 forschte sie als Post-Doc am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg und entwickelte dort eine Finite-Elemente-Diskretisierung für das Meereismodul des Klimamodells ICON. Seit 2022 leitet Frau Mehlmann die Gruppe Applied Mathematics and Computational Physics an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Der Schwerpunkt ihrer Forschung liegt an der Schnittstelle von angewandter Mathematik und Klimawissenschaft. Hier widmet sie sich der Entwicklung und Analyse von Finite-Elemente-Diskretisierungen und effizienten Algorithmen im Kontext partieller Differentialgleichungen. Zur Datenerhebung und Validierung mathematischer Modelle hat sie an Expeditionen in die Arktis und Antarktis teilgenommen.

Der Klimawandel ist eine der großen gegenwärtigen Herausforderungen in Politik, Gesellschaft und Wissenschaft. Für zuverlässige Handlungsstrategien sind präzise Klimavorhersagen unabdingbar. Ein deutlicher Indikator des sich verändernden Klimas ist die Abnahme des Meereises in der Arktis. Fortschritte in der mathematischen Modellierung und Simulation der Meereisdynamik sind daher wichtiger denn je.

Frau Mehlmann beschäftigt sich in ihrer Forschung mit der numerischen Modellierung von Meereis im Klimasystem. Schon in ihrer Promotion, die sie 2019 an der Otto-von-Guericke-Universität erfolgreich abschloss, befasste sie sich mit dem Lösen der stark nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen, die bei der Modellierung von Meereis auftreten. Sie analysierte die visko-plastische Momentengleichung des Meereismodells und zeigte, dass die zeitdiskreten Gleichungen einem konvexen Minimierungsproblem entsprechen. Durch die Ausnutzung der Struktur der Jacob-Matrix des Gleichungssystems entwickelte sie ein modifiziertes Newton-Verfahren, das die Konvergenz im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren stark verbesserte [1] [2]. In einer kürzlich erschienenen Arbeit erweiterte sie diese Methode mit Kollegen der New York University [3]. Die Konvergenz der verschiedenen Newton-Verfahren getestet an dem von Frau Mehlmann entwickelten Benchmark-Problem ist in Abbildung 2 dargestellt. Um die Effizienz der Diskretisierung weiter zu erhöhen, entwickelte Frau Mehlmann in ihrer Promotion einen Fehlerschätzer für das visko-plastische Meereismodell [4], welchen sie zur adaptiven Gittersteuerung einsetzte.

Während ihres Post-Docs am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelte Frau Mehlmann eine effiziente Finite-Elemente-Diskretisierung basierend auf dem Crouzeix-Raviart-Element für das Meereismodul im Klimamodell ICON [5]. Diese Diskretisierung steht nun für die Vorhersage der Meereisdrift in ICON zur Verfügung [6]. Das nichtkonforme Finite Element zur Diskretisierung der Meereisdynamik stellt einen Kompromiss zwischen der typischerweise niedrigen Approximationsgenauigkeit und der Wiedergabe der physikalischen Eigenschaften, insbesondere der plastischen Deformation des Meereises dar [7]. Im Vergleich zu gängigen Ortsdiskretisierungen erlaubt die Approximation mit dem Crou-

zeix-Raviart-Element eine qualitativ gleichwertige Darstellung des plastischen Verhaltens auf Gittern mit deutlich weniger Freiheitsgraden, siehe Abbildung 1.

Dies ist eine äußerst vorteilhafte Eigenschaft, denn die nichtlineare Momentengleichung des Meereismodells ist unter Gitterverfeinerung zunehmend schwerer zu lösen. [7,8,9]

Um strukturierte Vergleiche zwischen den in Klimamodellen verwendeten Meereis-Diskretisierungen zu ermöglichen, hat Frau Mehlmann ein Benchmark-Problem entwickelt und ein interdisziplinäres Projekt geleitet, das neue Wege für die Meereis-Forschungsgemeinschaft aufgezeigt hat [7,8]. In Zusammenarbeit mit globalen Experten hat diese Initiative einen entscheidenden Rahmen für die Bewertung numerischer Implementierungen der Meereisdynamik geschaffen und neue Ansätze innerhalb der Ge-

meinschaft angeregt. Die Entwicklung der Crouzeix-Raviart-Diskretisierung der Meereisdynamik war ein so großer Erfolg, dass neben dem Max-Planck-Institut für Meteorologie weltweit weitere Institute an einer entsprechenden Realisierung in ihrer Software arbeiten [8,9]. Für die Forschungsleistungen wurde Frau Mehlmann 2022 mit dem Karin-Witte Preis für Nachwuchswissenschaftlerinnen an der Otto-von-Guericke Universität ausgezeichnet.

Gegenwärtig beschäftigt sich Frau Mehlmann mit der numerischen Analyse der von ihr entwickelten erkorwertigen Crouzeix-Raviart-Diskretisierung auf gekrümmten Oberflächen [10]. In der Literatur werden zumeist H1-konforme Finite Elemente zur Diskretisierung von vektorwertigen Flüssen auf gekrümmten Oberflächen diskutiert. Die Analyse eines H1-nichtkonformen Ansatzes mit dem Ziel, diesen auf eine kompressible Strömung anzuwenden, wurde bisher nicht untersucht. [10]

Im Abschlussbericht des Workshops „Towards Defining a Cutting-Edge Future for Sea Ice Modeling“ wurde als eines der großen offenen Probleme die Berücksichtigung der sogenannten marginalen Eiszone (Übergangsbereich von offenem Wasser zum Meereis) in Klimasimulationen identifiziert. Frau Mehlmann hat dieses Thema aufgegriffen und bei der DFG Drittmittel für die Entwicklung eines innovativen hybriden mathematischen Modells eingeworben. In der Modellent-

STECKBRIEF



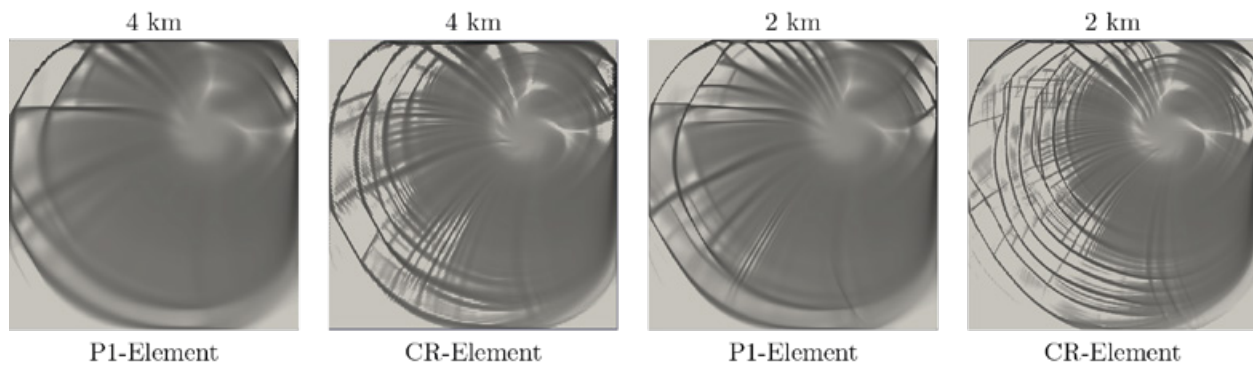


Abb. 1: Simulation der Scherdeformation des Meereis im Benchmark-Problem [7]. Die verbesserte Simulation des plastischen Materialverhaltens durch das Crouzeix-Raviart-Element (CR) (links) im Vergleich zu einer Diskretisierung mit linearen finiten Elementen (P1) auf verschiedenen Gitterauflösungen.

wicklung geht es um die Kopplung von diskreten Elementmodellen und klassischen kontinuumsmechanischen Modellen [11,12]. Zur Kalibrierung des Modells hat Frau Mehlmann an einer Expedition auf dem deutschen Forschungsschiff Polarstern in die Arktis teilgenommen um Daten zu erheben, siehe Abbildung 3, und in die Modellentwicklung einfließen zulassen [13,14]. Hierzu hat sie einen Antrag beim Begutachtungspanel Deutscher Forschungsschiffe / DFG gestellt. Schon während ihrer Promotionszeit hat Frau Mehlmann an verschiedenen Expeditionen teilgenommen.

Gleichstellung und Nachwuchsförderung sind für Frau Mehlmann wichtige Themen. Sie ist Mentorin im DFG-Graduiertenkolleg „Mathematical Complexity Reduction“ und engagiert sich als stellvertretende Gleichstellungsbeauftragte an der Fakultät für Mathematik. Regelmäßig veranstaltet sie Schüler-Workshops zum Thema „Mathematik und Klimawandel“ und hat gemeinsam mit Kollegen der Otto-von-Guericke Universität das Themenjahr Mathematik und Klimawandel ins Leben gerufen.

Literatur

- [1] C. Mehlmann, T. Richter: A modified global Newton solver for viscous-plastic sea ice models, *Ocean Modeling*, 2017, 116, <https://doi.org/10.1016/j.oceanmod.2017.06.001>
- [2] C. Mehlmann, T. Richter: A finite element multigrid-framework to solve the sea ice momentum equation, *Journal of Computational Physics*, 2017, 348, <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2017.08.004>
- [3] Y. Shih, C. Mehlmann, M. Losch, G. Stadler: Robust and efficient primal-dual Newton-Krylov solvers for viscous-plastic sea-ice models, *Journal of Computational Physics*, 474, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2022.111802>
- [4] C. Mehlmann, T. Richter: A goal oriented error estimator and mesh adaptivity for sea ice simulations, *Ocean Modeling*, 2020, 154, <https://doi.org/10.1016/j.oceanmod.2020.10168>
- [5] C. Mehlmann, P. Korn: Sea-ice dynamics on triangular grids, *J. of Computational Physics*, 428, e-id 110086, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.110086>
- [6] C. Mehlmann, O. Gutjahr: Modeling sea-ice dynamics in the tangential plane on the sphere, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14, e2022MS003010, 2022 <https://doi.org/10.1029/2022MS003010>
- [7] C. Mehlmann, S. Danilov, L. Losch, J.F. Lemieux, P. Blain, C. Hunke, P. Korn: Simulating linear kinematic features in viscous-plastic sea ice models on quadrilateral and triangular grids, *Journal of Advanced Earth System Modeling*, 13, e2021MS002523, 2021 <https://doi.org/10.1029/2021MS002523>
- [8] C. Mehlmann, S. Danilov, G. Capodaglio: Simulating sea-ice deformation in viscous-plastic sea-ice models with CD-grids, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 15, e2023MS003696, 2023, <https://doi.org/10.1029/2023MS003696>
- [9] S. Danilov, C. Mehlmann, D. Sidorenko, and Q. Wang: CD-type discretization for sea ice dynamics in FESOM version 2, *Geosci. Model Dev.*, 17, 2287–2297, 2024, <https://doi.org/10.5194/gmd-17-2287-2024>,

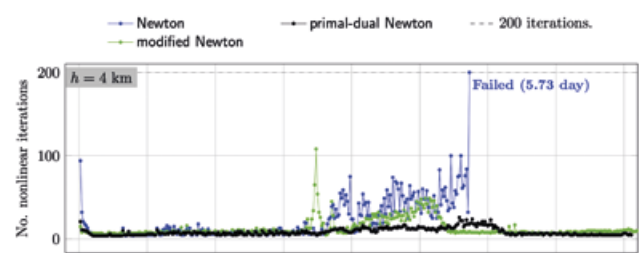


Abb. 2: Lösung des Benchmark-Problems, beschrieben in [7], mit verschiedenen Newton-Verfahren bei 4 km Auflösung. Das von Frau Mehlmann entwickelte modifizierte Newton-Verfahren (grün) [1] und das primale-duale Newton-Verfahren (schwarz) [3] weisen eine deutlich bessere Konvergenz im Vergleich zum Newton-Verfahren (blau) auf.



Abb. 3: Carolin Mehlmann bei der Vermessung einer Eisscholle zur Kalibrierung eines hybriden Meereismodells.

- [10] C.Mehlmann: Analysis of the Crouzeix-Raviart Surface Finite Element Method for vector-valued Laplacians on the surface, 2023, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.16541.v2> [arXivhttps://doi.org/10.1137/19M1258396](https://doi.org/10.1137/19M1258396)
- [11] S. Kahl, C. Mehlmann, D. Notz: A hybrid ice-melange model based on particle and continuum methods, *The Cryosphere*, accepted (2024)
- [12] S. Kahl, C. Mehlmann: A Hybrid Ice Model. *Proc. Appl. Math. Mech.* e202400105, 2024, <https://doi.org/10.1002/pamm.202400105>
- [13] C. Mehlmann, T. Richter: Mit Mathematik zum Nordpol, *Mitteilungen der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, Band 32, Heft 1, 2024, <https://doi.org/10.1515/dmvm-2024-0009>
- [14] C. Mehlmann, T. Richter: Calibration of a hybrid sea ice model during an expedition to the Arctic. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 2024 e202400117. <https://doi.org/10.1002/pamm.202400117>

Kontakt

Dr. Carolin Mehlmann
Institut für Analysis und Numerik,
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
carolin.mehlmann@ovgu.de

Upcoming Events from

Society for Industrial and Applied Mathematics



2025

SIAM International Meshing Roundtable Workshop 2025 (SIAM IMR25)

March 3–6, 2025
Fort Worth, Texas, U.S.

SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE25)

March 3–7, 2025
Fort Worth, Texas, U.S.

SIAM International Conference on Data Mining (SDM25)

May 1–3, 2025
Alexandria, Virginia, U.S.

SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (DS25)

May 11–15, 2025
Denver, Colorado, U.S.

SIAM Conference on Applied Algebraic Geometry (AG25)

July 7–11, 2025
Madison, Wisconsin, U.S.

SIAM Conference on Financial Mathematics and Engineering (FM25)

July 15–18, 2025
Miami, Florida, U.S.

SIAM Conference on Control and its Applications (CT25)

July 28–30, 2025
Montréal, Québec, Canada

SIAM Conference on Computational Geometric Design (GD25)

July 28–30, 2025
Montréal, Québec, Canada

The Third Joint SIAM/CAIMS Annual Meetings (AN25)

July 28–August 1, 2025
Montréal, Québec, Canada

SIAM Conference on Applied and Computational Discrete Algorithms (ACDA25)

July 30–August 1, 2025
Montréal, Québec, Canada

SIAM Conference on Mathematical & Computational Issues in the Geosciences (GS25)

October 14–18, 2025
Baton Rouge, Louisiana, U.S.

SIAM Conference on Analysis of Partial Differential Equations (PD25)

November 17–20, 2025
Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.

2026

SIAM Symposium on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX26)

January 11–12, 2026
Vancouver, British Columbia, Canada

ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA26)

January 11–14, 2026
Vancouver, British Columbia, Canada

SIAM Symposium on Simplicity in Algorithms (SOSA26)

January 12–14, 2025
Vancouver, British Columbia, Canada

SIAM Conference on Optimization (OP26)

June 2–5, 2026
Edinburgh, United Kingdom

2027

SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE27)

February 22–26, 2027
Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.

This information is current as of December 2024.

For more information visit siam.org/conferences

GAMM JUNIORS FALL MEETING 2024

BY GEORGIA KIKIS AND MAXIMILIAN VORWERK



The GAMM Juniors Fall Meeting 2024 took place from September 4th to 6th in the heart of the Ruhr region, at the University of Duisburg-Essen. Organized by Georgia Kikis and Maximilian Vorwerk, the meeting aimed to strengthen connections and scientific exchange among GAMM Juniors while setting organizational milestones for the future.

For the first time in the history of the GAMM Juniors, an award was granted for special services to the GAMM Juniors. This award recognizes the strong commitment of one of the GAMM Juniors and was awarded to Mr. Mischa Blaszczyk during the Fall Meeting, who showed strong efforts in improving the GAMM Juniors IT infrastructure. Another important milestone was the development and adoption of the GAMM Juniors statutes (<https://www.gamm-juniors.de/about-us/statutes/>), which builds the basis for the GAMM Juniors as a self-governed organization.

A special highlight of the Fall Meeting was the visit by Prof. Roland Herzog, who shared his perspective as a mathematician on the career path to a professorship. In his talk, he provided valuable “Do’s and Don’ts” that can be crucial for an academic career, offering participants insights into the key factors for a successful appointment. Complementing Prof. Herzog’s topics, Prof. Fadi Aldakheel gave a talk on the path to professorship within the field of mechanics,





offering practical advice for building a successful academic career from his own experience.

The meeting continued with scientific presentations by GAMM Junior members Richard Schussnig and Maximilian Vorwerk. Schussnig presented his research on „Matrix-free higher-order finite element solvers in tissue mechanics,“ while Vorwerk discussed his work on simulating magnetic materials using the finite element method. Both presentations sparked interest and led to lively discussions among participants.

Following these presentations, a Q&A session with Prof. Claudia Schillings and Prof. Jörg Schröder, both members of the GAMM Future Committee, complemented the scientific exchange.

In addition, organizational topics such as the initiation of a new mentoring program or the evaluation of ongoing activities were also addressed. This new mentoring program is intended to support young doctoral students who will benefit from the tips and advice of experienced GAMM Juniors.

A group excursion to the UNESCO World Heritage Site Zeche Zollverein, held under sunny skies, allowed participants to explore the famous industrial monument and end the day in a relaxed atmosphere with refreshing drinks.

The Fall Meeting concluded with an informal gathering at Lake Baldeney in Essen, where participants had the chance to reflect on their experiences and strengthen new connections. Overall, the GAMM Juniors Fall Meeting 2024 offered a successful blend of professional exchange, organizational work, and personal interaction that further solidified the cohesion within GAMM Juniors.



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

GAMM
Juniors

SAMM 2024

BY GEORGIA KIKIS



The 9th GAMM Juniors Summer School (SAMM 2024) was held from July 29th to August 1st, 2024, at the renowned ETH Zürich in Switzerland. This year's topic focused on Uncertainty Quantification, Stochastic Partial Differential Equations, and Risk Analysis.

Participants had the opportunity to deepen their theoretical understanding of these complex subjects, engaging in lectures led by experts in both theoretical mathematics and computational engineering. The program emphasized state-of-the-art methodologies, equipping attendees with tools and techniques for addressing uncertainty in various applications. Thirty-seven participants from various countries attended the Summer School, including Germany, Switzerland, Italy, Poland, and Austria.

The Summer School commenced with lectures by Prof. Andrea Barth from the Institute of Applied Analysis and Numerical Simulation at the University of Stuttgart. She provided an introduction to Uncertainty Quantification through Monte Carlo methods and their probabilistic foundations. On the second day of the Summer School, Prof. Claudia Schillings from the Institute of Mathematics at the Free University of Berlin continued with an introduction to the Bayesian Approach to Inverse Problems, discussing properties such as well-posedness, statistical estimates, and connections to classical regularization methods. As a guest speaker, Dr. Nicole Aretz, a member of Prof. Willcox Research Group at the Oden Institute of Computational Engineering and Sciences, University of Texas at Austin, U.S.A. talked

about Multi-fidelity Uncertainty Quantification under budget constraints with its application to ice sheet simulations. On the third day, Dr. Nora Lüthen, a member of Prof. Sudret's research group from the Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering at ETH Zurich, gave a presentation on Surrogate Modeling for Uncertainty Quantification in engineering. She focused on two popular Surrogate Modeling techniques: polynomial chaos expansions and Kriging. All lectures were followed by live coding sessions, allowing participants to directly apply the theoretical knowledge gained.

On the final day of the Summer School, participants enjoyed a city tour that took them through the beautiful streets of Zürich. They experienced the lively festivities in the city celebrating Switzerland's National Day on August 1st. The day concluded with a delightful ride on the famous Polybahn.

Organizers of SAMM 2024:

Margarita Chasapi (RWTH Aachen, Germany)
 Alexander Henkes (ETH Zurich, Switzerland)
 Georgia Kikis (University of Duisburg-Essen, Germany)
 Hendrik Geisler (Leibniz University Hannover, Germany)
 Amine Othmane (Saarland University, Germany)
 Katharina Klioba (Hamburg University of Technology, Germany)
 Sahir Butt (Ruhr University Bochum, Germany)

GERMAN-POLISH YOUNG RESEARCHERS SCHOOL ON MATHEMATICS AND MECHANICS – GPSON2M

BY MIECZYŚLAW KUCZMA, DARIUSZ ŁYDŹBA, MATTHIAS ZIEGENHORN



The first edition of the German-Polish Young Researchers School on Mathematics and Mechanics (GPSON2M) took place at the WUST in Wrocław on 12-14 January 2025. The GPSON2M was organized by the Wrocław University of Science and Technology (WUST), the Poznań University of Technology (PUT) and the Polish Section of GAMM. We are grateful for the patronages over GPSON2M that were provided by the President of GAMM – Prof. Karsten Urban, Rector of PUT – Prof. Teofil Jesionowski, Rector of TU Dresden – Prof. Ursula Staudinger, Rector of WUST – Prof. Arkadiusz Wójs. The school was sponsored by the Polish Ministry of Science and Higher Education, Rector of WUST, and Rector of PUT.

The initiative to organize an annual school for young scientists from Poland and Germany was born during a meeting of: Prof. Mieczysław Kuczma – Chairman of the Polish Section of GAMM (PUT), Prof. Dariusz Łydzba – Deputy Rector of WUST, and Prof. Matthias Ziegenhorn (BTU Cottbus-Senftenberg). The principal aims of GPSON2M are:

- to bring together young mathematicians and mechanicians from academia and industry of the two EU neighbour states in order to present and exchange results of cutting-edge research, and
- to learn modern computer-based methods for laboratory testing, mathematical modelling and numerical solution of hot research problems.

These scientific meetings are also intended to foster better mutual understanding and cooperation among young scientists from these two neighbouring EU countries. As the guiding scientific disciplines, we have chosen Mathematics and Mechanics, which inspire and complement each other, expanding their research areas, as well as cognitive tools and methods. Together, they constitute the indispensable foundations of all sciences, ensuring consistency and precision in the analysis of phenomena. In the era of rapid development of knowledge and civilization, based on computers and information processing technologies, including increasingly advanced artificial intelligence, the importance of Mathematics and Mechanics can-



not be overstated. Their application is not limited to theory, but includes practical solutions to problems in engineering, natural and social sciences, as well as in the development of technologies of the future, such as big data analysis, process automation and the creation of digital models (Digital Twins). Thanks to the synergy of these two fields of science, it is possible to further push the boundaries of human cognition and improve tools supporting the development of human civilization.

The agenda of GPSON2M consisted of a session devoted to the memory of Prof. Fritz Nöther (1884-1941), three workshops, and a roundtable discussion. Prof. Fritz Nöther (younger brother of Emmy Nöther) worked at the WUST (then: Lehrstuhl für Höhere Mathematik und Mechanik an der Technische Hochschule Breslau) in the years 1921-1933, and his fate ended tragically in the Soviet Union during the totalitarian systems then; Prof. Holm Altenbach and Prof. Matthias Ziegenhorn talked about Fritz Nöther's life and scientific activities. Prof. Janusz Badur (IMP PAN Gdańsk) gave a lecture on "From continuum mechanics

backgrounds to Emmy Noether's symmetries". Prof. Michael Kaliske (TUD) delivered lectures on "Computational engineering to drive innovations", Prof. Łukasz Płociniczak (WUST) talked on "Numerical methods for PDEs, FEM, stability, convergence", while Prof. Janusz Szwabiński (WUST) presented the topic "Artificial intelligence and machine learning methods in mechanical engineering". The roundtable discussion, chaired by Prof. Błażej Skoczeń (Kraków UT), focused on the issue of "Scientist and Science: their roles and responsibilities towards society and the environment".

Altogether over 60 participants took part in the first edition of GPSON2M. In the future other components of GPSON2M will be implemented, including posters and short presentations by young researchers. The next editions of GPSON2M are already planned: Prof. Michał Kaliske will organize GPSON2M in Dresden in 2026 and Prof. Mieczysław Kuczman will organize GPSON2M in Poznań in 2027.

95TH ANNUAL MEETING

of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics

April 7th – 11th, 2025
Poznań (Poland)



POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Local Organizers

Mieczysław Kuczma
Chair

Tomasz Łodygowski
Co-Chair

Wojciech Sumelka
Co-Chair

Plenary Speakers

Leszek Demkowicz
UT Austin, USA

Lars Grüne
Universität Bayreuth, Germany

Katharina Schratz
Sorbonne Université Paris, France

Marie-Therese Wolfram
University of Warwick, United Kingdom

Łukasz Madej
AGH University Kraków, Poland

Andreas Menzel
TU Dortmund, Germany

Karen Veroy-Grepl
Eindhoven University, Netherlands

Utz von Wagner
TU Berlin, Germany



GESELLSCHAFT für
ANGEWANDTE MATHEMATIK und MECHANIK e.V.
INTERNATIONAL ASSOCIATION of APPLIED MATHEMATICS and MECHANICS

jahrestagung.gamm.org
gamm2025@put.poznan.pl



AUSSCHREIBUNG DES RICHARD-VON-MISES-PREISES DER GAMM 2026

CALL FOR NOMINATIONS FOR THE RICHARD VON MISES PRIZE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS (GAMM) 2026

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 Aufsplittung 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-PreisträgerInnen 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 2025**.

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

M. Behr, Aachen	(2025 – 2027)
A. Klawonn, Köln	(2023 – 2025)
N.N.	(2023 – 2025)
C. Tretter, Bern	(2023 – 2025)

Präsident der GAMM
Karsten Urban,
Ulm (Vorsitz) (2023 – 2025).

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, 2025.

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

JAHRESBERICHT 2024 DES
GAMM-FACHAUSSCHUSSESANGEWANDTE
OPERATORTHEORIE

Martin Grothaus



Amru Hussein



Christian Seifert



Christiane Tretter

Viele mathematische Modelle der Natur- und Ingenieurwissenschaften lassen sich operatortheoretisch beschreiben. Dies ermöglicht einen Zugang zur strukturellen Analyse der zugrunde liegenden Problemstellungen. Der Fachausschuss Angewandte Operatortheorie fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, deren Arbeitsgebiet in der Theorie und Anwendung von operatortheoretischen Methoden liegt. Hauptanliegen sind sowohl die Weiterentwicklung der Techniken, als auch deren effiziente Umsetzung in konkreten Anwendungen, zum Beispiel bei zeitabhängigen partiellen Differentialgleichungen, in der mathematischen Systemtheorie, sowie bei Approximationsverfahren und dem Langzeitverhalten von Lösungen zu partiellen und stochastischen Differentialgleichungen.

Aktivitäten des Fachausschusses 2024:

- Sektion S23 „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2024 in Magdeburg, 18. März - 22. März 2024, Organisation: Martin Grothaus (RPTU Kaiserslautern-Landau), Amru Hussein (RPTU Kaiserslautern-Landau), Webseite: <https://jahrestagung.gamm.org/annual-meeting-2024/program/sections/>
- Workshop of the GAMM Activity Group Applied Operator Theory, TU Hamburg, 22.-24. Mai 2024, Organisation: Katharina Klioba (TU Hamburg), Christian Seifert (TU Hamburg), Webseite: <https://www.mat.tuhh.de/veranstaltungen/gammot2024/>
- Special Session „Spectral Problems and Computation“ at the International Workshop for Operator Theory and its Applications, IWOTA 2024, University of Kent (UK), August 12-16, 2024, Organisation: Marco Marletta (Cardiff University, UK), Christiane Tretter (University of Bern, CH), Webseite: <https://blogs.kent.ac.uk/iwota2024/program/>

Geplante Aktivitäten des Fachausschusses 2025:

- Sektion S23 „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2025 in Poznan, Polen, 07. April - 11. April 2025, Organisation: Wolfgang Bock (Linnaeus University, Växjö, Sweden), Adam Bobrowski (Lublin University of Technology, Poland), Webseite: <https://jahrestagung.gamm.org/annual-meeting-2025/program-2/sections>
- Minisymposium „Angewandte Operatortheorie“ bei der ÖMG-DMV Jahrestagung, Linz, 1. September - 5. September 2025, Organisation: Delio Mugnolo (FernUniversität Hagen), Amru Hussein (RPTU Kaiserslautern-Landau)

JAHRESBERICHT 2024 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. Der Vorstand besteht aus: Dorothee Knees (Vorsitzende), Helmut Abels (stellvertretender Vorsitzender), Carolin Kreisbeck (stellvertretende Vorsitzende), Karoline Disser, Julian Fischer, Martin Kružík, Matthias Röger, Marita Thomas und Mathias Wilke.

Der Fachausschuss hat die erfreuliche Entwicklung bezüglich der Mitgliederzahlen weiter fortgesetzt, und zählt aktuell 115 Mitglieder, darunter zahlreiche Postdocs und NachwuchswissenschaftlerInnen. Anträge auf Aufnahme in den Fachausschuss können jeder Zeit an die Vorsitzende (Dorothee Knees, e-mail: gammanapde@mathematik.uni-kassel.de) gestellt werden. Genauere Informationen findet man auf der WWW-Seite des Fachausschusses (<http://www.uni-regensburg.de/mathematics/partial-differential-equations/index.html>).

Der Fachausschuss hat in diesem Jahr die von der GAMM vorgesehene maximale Lebensdauer für Fachausschüsse erreicht und wird damit regulär beendet. Dies nahm der Vorstand des Fachausschusses zum Anlass, mit einer Neujustierung der thematischen Schwerpunkte einen Antrag auf Wiedereinrichtung zu stellen. Diesem Antrag stimmte der Vorstandsrat der GAMM im Frühjahr 2024 zu. Ab Januar 2025 firmiert der Fachausschuss unter dem neuen Namen „Analysis partieller Differentialgleichungen und Variationsrechnung“.

Im vergangenen akademischen Jahr waren unsere Mitglieder bei der Organisation diverser Konferenzen, Workshops und Schulen aktiv: Vom 16.-21. September 2024 fand das durch Barbora Benešová, Martin Kružík und Sebastian Schwarzacher organisierte zwölfte Jahrestreffen des Fachausschusses an der Karls-Universität Prag statt. Es waren ca. 50 Teilnehmende vor Ort. Das Programm umfasste 12 eingeladene und 13 weitere wissenschaftliche Vorträge, die ein breites Themenspektrum abdeckten, darunter zum Beispiel Formoptimierung mit nichtlokalen Energien, stochastische Homogenisierung, maßwertige Lösungen und Strömungen mit verschwindender Viskosität. Auf der

GAMM-Jahrestagung 2024 in Magdeburg hielt Maria Giovanna Mora einen Plenarvortrag und Patrik Knopf erhielt den Richard-von-Mises-Preis 2024 zusammen mit Dr. Marco Salvalaglio. Die Sektion „Applied Analysis“ wurde von Patrik Knopf und Xian Liao organisiert. Vom 19. bis 22. März fand die Konferenz „Multi-scale methods for reactive flow and transport in complex elastic media“ organisiert von M. Gahn, W. Jäger, E. Marusic-Paloka, M. Neuss-Radu und J. Tambaca in Gedenken an Prof. Andro Mikeli in Dubrovnik statt. Die Frühjahrsschule „Mathematical Advances for Complex Materials with Microstructures“ vom 8.-12. April, Universität Würzburg, wurde von Anja Schlömerkemper organisiert. Die EquaDiff-Konferenz fand 2024 vom 10. bis 14. Juni an der Karlstadt-Universität, Schweden, statt und wurde von Adrian Muntean und Erik Wahlén vor Ort organisiert. Die Konferenz „Free Boundary Problems: Theory and Applications“ fand 2024 vom 26. bis 30. August in João Pessoa City, Brasilien, statt. Dabei waren zahlreiche Fachausschussmitglieder bei der Organisation und mit Vorträgen vertreten. Vom 2. bis 6. September fand die Sommerschule „Mathematics of Geophysical Flows“ am Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften statt und wurde durch K. Disser, M. Hieber, R. Klein, P. Korn, E. S. Titi und L. Székelyhidi organisiert. M. Bulířek, J. Málek, V. Prša, E. Süli und S. Schwarzacher organisierten vom 23. bis 28. September die Konferenz „Modelling, PDE analysis and computational mathematics in materials science“ an der Karls-Universität in Prag auf der ebenfalls zahlreiche Fachausschussmitglieder vertreten waren.

Für das nächste Jahr sind bereits etliche Aktivitäten mit Beteiligung von Mitgliedern des Fachausschusses geplant. Besonders hervorheben möchten wir das erste Jahrestreffen des neuen Fachausschusses „Analysis of Partial Differential Equations and Calculus of Variations“, das für den 22. – 24. September 2025 in Dresden (Organisation: Stefan Neukamm und Markus Schmidtchen) geplant ist.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES DYNAMIK UND REGELUNGSTHEORIE



Timm Faulwasser



Robert Seifried



Karl Worthmann

Dynamik und Regelungstheorie ist ein interdisziplinäres Gebiet, welches dank stetig steigender Automatisierung und dem zunehmenden Einsatz autonomer Systeme in vielen Bereichen an Bedeutung gewinnt. Der Fachausschuss ist interdisziplinär ausgerichtet: Regelungstheorie, mathematische Systemtheorie, Mehrkörper- und nichtlineare Dynamik sowie Maschinelles Lernen dynamischer Systeme. Zudem zeichnet sich der Fachausschuss durch eine enorme Breite bzgl. seiner Anwendungsfelder aus, u.a. Mechatronik, Energietechnik, Robotik, autonomes Fahren. Alle Mitglieder vereint das Interesse am tiefen Verständnis dynamischer Systeme und dem Entwurf von 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.

In 2024 wurden zwei Workshops in Präsenz abgehalten. Im Februar 2024 traf sich der Fachausschuss zu einem zweitägigen Workshop in Berlin (Organisator: Merten Stender, Jan Heiland). Im September fand wieder ein gemeinsamer Workshop mit den GMA Fachausschüssen 1.30 und 1.40 in Anif statt. Hierbei wurden wieder viele interessante Vorträge aus den Bereichen Mathematische Systemtheorie, Regelungstechnik und Dynamik gehalten, wobei datenbasierte Lernverfahren weiter an Bedeutung gewinnen. Das breite Spektrum unterstreicht die etablierte Kultur des interdisziplinären Diskurses im Fachausschuss.

Mitglieder des GAMM Fachausschuss waren 2024 wieder wesentlich an der Organisation diverser Konferenzen und Workshops beteiligt. Ebenso waren viele Mitglieder bei der GAMM Jahrestagung vertreten, besonders in den Sektionen S1: Multibody Dynamics, S5: Nonlinear Oscillations und S20: Dynamics and Control, welche von Fachausschussmitgliedern organisiert und geleitet wurden.

Für 2025 sind momentan zwei Workshops geplant.

- Der nächste Workshop findet am 20. und 21. März an der TU Chemnitz statt (Organisatoren: Stefan Streif und Manuel Schaller).
- Ein weiterer Workshop ist im Herbst an der Universität des Saarlandes geplant (13.11.-14.11.2025).

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES MATHEMATISCHE SIGNAL- UND BILDVERARBEITUNG (MSIP)



Gabriele Steidl



Felix Krahmer



Stefan Kunis

Der Fachausschuss MSIP wurde im April 2012 ins Leben gerufen und hat zur Zeit etwa 200 Mitglieder aus ca. 25 verschiedenen Ländern. Er dient der Förderung des Gebietes der “Mathematischen Signal- und Bildverarbeitung”, zur Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern/innen und zur Verbesserung von interdisziplinärer Forschung. Turnusgemäß lief er letztes Jahr aus, wurde aber neu eingerichtet.

Nähere Informationen, Workshop-Ankündigungen und Job-Angebote sind zu finden auf unserer Webseite, unserem Mastodon Feed und per email-Verteiler

<https://www.math.uos.de/msip>
<https://mastodon.world/@msip>
math-gamm.msip.news@lists.lrz.de

Bei Interesse laden wir jeden herzlich dazu Mitglied des Fachausschusses zu werden.

Bei der Jahrestagung der GAMM in Magdeburg, 18.-22.03.2024, haben wir die Sektion “Mathematical Signal and Image Processing” veranstaltet, Organisation: J. Maly (München), A. Wald (Göttingen), Die Dissertation von J. Hertrich (TU Berlin) mit dem Titel „Proximal Neural Networks and Stochastic Normalizing Flows for Inverse Problems“ wurde mit dem Dr.-Klaus-Körper-Preis der GAMM 2024 ausgezeichnet.

Im kommenden Jahr wird sich der Fachausschuss wieder zu einem Workshop on Mathematical Signal and Image Analysis (MSIA2025) im TUM Science and Study Center Raitenhaslach treffen, und zwar vom 12.-14.03.2025. Organisation: B. Forster-Heinlein (Passau), F. Krahmer (München), S. Kunis (Osnabrück), G. Steidl (Berlin).
<https://www.math.cit.tum.de/math/forschung/gruppen/data-science/events/mathematical-signal-and-image-analysis/>

Auch für das Jahr 2025 sind eine Reihe von Aktivitäten geplant, unter anderem:

- Mathematics and Image Analysis (MIA2025), 13.-15.01.2025, Paris, Organisation: L. Bungert (Würzburg), J. Delon (Paris), N. Papadakis (Bordeaux), G. Steidl (Berlin), P. Tan (Paris), S. Vaiter (Nizza)
- Sektion “Mathematical Signal and Image Processing”, Jahrestagung der GAMM 2025, 07.-11.04.2025, Poznan, Organisation: O. Melnyk (Berlin), S. Petra (Augsburg), <https://jahrestagung.gamm-ev.de/>
- Workshop on Approximation Theory and Fast Algorithms, 07.-11.04.2025, Hasenwinkel, Organisation: F. Filbir (München), S. Kunis (Osnabrück), D. Potts (Chemnitz), T. Ullrich (Chemnitz)
- Image Processing and Machine Learning, 04.-06.10. Shenzhen (China) Organizers: J.-M. Morel, C.-B. Schönlieb, G. Steidl, X.G. Tai, R. Chan, Ch. Wang

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANALYSIS VON MIKROSTRUKTUREN



Kerstin Weinberg



Ben Schweizer

Der Fachausschuss „Analysis von Mikrostrukturen“ 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 moderne mathematische Methoden wie Homogenisierung, Relaxierung und nichtlokale Modellierung Potential für weitere Anwendungen haben.

Der Forschungsschwerpunkt des Fachausschusses liegt weniger auf der Entwicklung numerischer Methoden zur Behandlung von Skalenübergängen als auf der Herleitung und Analyse von Modellen, welche Mikrostruktureigenschaften auf der Makroskala repräsentieren. Dazu gehört natürlich auch die Generierung angepasster numerischer Verfahren für die Berechnung dieser Modelle.

Auch wenn die Weiterentwicklung von Mikrostrukturmodellen und ihre effiziente numerische Umsetzung im Zentrum der Arbeit des Fachausschusses steht, suchen wir auch den Vergleich unserer Ergebnisse mit experimentellen Befunden. In diesem Sinne wird sowohl durch koordinierte Forschungsplanung als auch durch Seminare und Tagungen die Thematik „Mikrostrukturen“ vorangetrieben. Das Forschungsfeld des Fachausschusses kann seit dem Jahr 2020 auch im Verbund mit weiteren Wissenschaftlern in einem Schwerpunktprogramms der DFG bearbeitet

werden. Der SPP 2256 „Variationelle Methoden zur Vorhersage komplexer Phänomene in Strukturen und Materialien der Ingenieurwissenschaften“ ist personell verzahnt mit dem Fachausschuss. Im Jahr 2024 fand das Jahrestreffen des Schwerpunktprogramms vom 25. bis zum 27. September in Regensburg statt, in diesem Jahr kombiniert mit einem Workshop zu Neuronalen Netzen, der ebenfalls von Mitgliedern des Fachausschusses organisiert wurde. Ebenfalls im September fand eine Schule für Angewandte Analysis in Pisa statt, in Siegen wurde im Dezember das IUTAM-Symposium on Computational Fracture Mechanics in Multi-field Problems ausgerichtet.

Treffen des Fachausschusses:

- Das 23. GAMM-Seminar on Microstructures fand unter großer Beteiligung des Fachausschusses am 25. und 26. Januar 2024 in Bochum statt. In bewährter Weise wurde am Vormittag des ersten Tages ein Young Researchers Meeting abgehalten, danach die Fachtagung mit Hauptvorträgen von G. Francfort, M. Ruggeri und Ph. Junker.
- Das 24. GAMM-Seminar on Microstructures findet vom 30. bis zum 31. Januar 2025 in Berlin statt, die lokalen Organisatoren sind C. Carstensen und B. Zwicknagl, Hauptvortragende sind A. Pandolfi, M. Schneider, B. Wirth.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

MODELLIERUNG, ANALYSIS UND SIMULATION MOLEKULARER SYSTEME



Benjamin Stamm



Gero Friesecke



Reinhold Schneider

Im Jahr 2024 konnte der Fachausschuss Modellierung, Analyse und Simulation molekularer Systeme (MOANSI) seine Arbeit weiter konsolidieren und ein breites Spektrum an Aktivitäten durchführen. Dabei lag ein besonderer Fokus auf der Förderung des interdisziplinären Austauschs sowie auf der internationalen Vernetzung. Vier zentrale Veranstaltungen prägten das Jahr:

■ GAMM-Jahrestagung 2024 in Magdeburg

Im Rahmen der Sektion 26 nahm der Fachausschuss aktiv an der GAMM-Jahrestagung 2024 in Magdeburg teil und konnte 28 interessante und gut besuchte Vorträge präsentieren. Die breite Palette der Beiträge spiegelte die interdisziplinäre Ausrichtung der Sektion wider und ermöglichte anregende Diskussionen zwischen Teilnehmenden aus der Mechanik und Mathematik. Der vom Fachausschuss vorgeschlagene Plenarvortrag von Eric Cancès war aus unserer Sicht der große Höhepunkt.

■ UQ-Workshop am MPI Magdeburg

Im August 2024 fand ein Workshop zum Thema Unsicherheitsquantifizierung (UQ) am Max-Planck-Institut Magdeburg statt, organisiert von Michael Herbst und Felix Nüske. Die Veranstaltung zog Expert:innen aus verschiedenen Disziplinen an und bot eine hervorragende Plattform für den Austausch über aktuelle Methoden und Anwendungen im Bereich der Unsicherheitsmodellierung im Kontext von atomistischen Simulationen.

■ Internationale Konferenz in Stuttgart

Im September 2024 richtete die Universität Stuttgart die internationale Konferenz „Mathematical and Numerical Analysis of Electronic Structure Models“ aus, organisiert von Benjamin Stamm. Die Konferenz brachte führende Wissenschaftler:innen aus aller Welt zusammen und setzte wichtige Impulse für die Weiterentwicklung der mathematischen Modellierung und numerischen Analyse in der Quantenmechanik.

■ MOANSI-Jahrestreffen in Berlin

Das MOANSI-Jahrestreffen fand im November 2024 am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin statt. Organisiert von Sebastian Matera bot das Treffen eine inspirierende Atmosphäre für den Austausch zwischen jungen Forschenden und erfahrenen Wissenschaftler:innen. Die Veranstaltung unterstrich erneut die Bedeutung der Sektion als Plattform für interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Für das Jahr 2025 plant die Sektion 26, ihre Aktivitäten weiter auszubauen. Der Fokus wird dabei auf der intensiven Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der stärkeren internationalen Vernetzung liegen. Weitere spannende Veranstaltungen sind bereits in Planung.

Detaillierte Informationen zu unseren Aktivitäten finden sich auf unserer Website:

<https://moansi.wixsite.com/gamm>.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

PHASENFELDMODELLIERUNG



Axel Voigt



Bernd Markert

Der Fachausschuss Phasenfeldmodellierung ist eine interdisziplinäre Zusammensetzung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Bereichen Biologie, Mathematik, Materialwissenschaft, Mechanik und Physik. Das thematische Spektrum umfasst Formulierungen für Phasenübergänge mit Anwendungen in der Tumormodellierung, der Bildung von Kondensaten, der Mehrphasenströmungen, der Erstarrung, der Bruchmechanik, der Alterung und vieler weiterer Themen. Neben einem starken Anwendungsbezug sind die numerische Umsetzung und die mathematische Analyse zentrale Themen.

Der „9th GAMM Workshop on Phase Field Modeling“ wurde von Herrn Prof. Markus Kästner und seinem Team vom 8.-9.2.2024 in Dresden durchgeführt, teilweise gemeinsam mit dem GAMM Workshop on Data-Driven Modeling and

Numerical Simulation of Microstructured Materials. Erneut konnte ein breites Spektrum der universell einsetzbaren Phasenfeld-Methode abgedeckt werden. Die 50 Teilnehmenden sprechen für ein anhaltend großes Interesse am Thema. Während des Committee Meetings der GAMM Activity Group wurde Prof. Axel Voigt in Nachfolge auf Prof. Laura de Lorenzis als Leiter der Gruppe ernannt.

- 12.-14.2.2025, Karlsruhe, 10th GAMM Workshop on Phase Field Modeling.
- 15. - 26.9.2025 Peyresq, 4th Summer School Phase-field models for the evolution of complex structures.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

COMPUTATIONAL AND MATHEMATICAL METHODS IN DATA SCIENCE



Axel Klawonn



Martin Stoll

Der Fachausschuss Computational and Mathematical Methods in Data Science (COMinDS) wurde im März 2019 ins Leben gerufen und hat zur Zeit nahezu 200 Mitglieder aus mehr als 20 verschiedenen Ländern.

Ein wichtiges erklärtes Ziel bleibt die Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern/-innen im Bereich und die bessere Vernetzung in vielfältige andere Forschungsbereiche. Dazu dient die Webseite des Fachausschusses (FA) als zentrale Kommunikationsplattform mit einem Job- und Konferenz-Forum, sowie der Email-Verteiler, welcher regelmäßig genutzt wird.

Im Jahr 2024 fand der jährliche Workshop an der TU Delft statt und wurde gemeinsam mit der niederländischen Strategic Research Initiative “Bridging Numerical Analysis and Machine Learning” und der EMS TAG SciML (s.u.) organisiert. Für Hauptvorträge eingeladen waren Christoph Brune (Uni Twente), Victorita Dolean (TU Eindhoven), Olga Mula (TU Eindhoven) und Thomas Richter (Uni Magdeburg). Vor Ort wurde der Workshop von Alexander Heinlein organisiert. Neben den Hauptvorträgen gab es erfreulich viele Präsentationen aus dem Bereich Scientific Machine Learning. Dieser Workshop diente sowohl dem Erfahrungsaustausch und der Vernetzung untereinander als auch der Vernetzung mit den niederländischen Aktivitäten in diesem Bereich.

Auf der GAMM-Jahrestagung in Magdeburg fand nun zum dritten Mal die Sektion Computational and Mathe-

tical Methods in Data Science statt, welche mit vielen Vorträgen aus unterschiedlichsten Forschungsbereichen sehr gut angenommen wurde. Geleitet wurde die Sektion von den COMinDS-Mitgliedern Franziska Nestler und Max Pfeffer.

Weiterhin war der Fachausschuss an der Einrichtung eines europäischen Netzwerks der European Mathematical Society (EMS) beteiligt (EMS Topical Activity Group Scientific Machine Learning; Sprecher: Axel Klawonn).

Für das Jahr 2025 sind weitere Aktivitäten geplant. Beispielsweise wird der jährliche Workshop an der TU Chemnitz stattfinden. Viele GAMM COMinDS Mitglieder werden am ersten Annual Workshop der EMS TAG SciML in Mailand teilnehmen und wir freuen uns auf eine aktive Sektion (Organisation: Benjamin Klusemann und Martin Stoll) gemeinsam mit der Mechanik und einen Hauptvortrag zu Scientific Machine Learning von Karen Veroy-Grepl innerhalb der GAMM-Jahrestagung in Poznan. Des Weiteren wurde für die GAMM-Tagung in Poznan aus den Reihen des FA COMinDS erfolgreich ein Minisymposium zum Thema Scientific Machine Learning beantragt (Organisatorinnen: Janine Weber und Alena Kopanicakova).

Zusätzliche Informationen zu den Aktivitäten des FA sind auf der Seite www.tuchemnitz.de/mathematik/wire/cominds/ zu finden. Bei Interesse laden wir jeden herzlich dazu ein, Mitglied zu werden.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING (CSE)



Silke Glas



Christian Hesch



Matthias Boltzen

Die 110 Kolleginnen und Kollegen im Fachausschuss Computational Science and Engineering (CSE) haben das Ziel, technische oder natürliche Phänomene – häufig auf Hochleistungsrechnern – zu simulieren und zu optimieren. Hierfür wird in der Regel eine Vielzahl von Werkzeugen aus den jeweiligen Disziplinen benötigt.

Auf der GAMM-Jahrestagung in Magdeburg war der FA CSE zahlreich vertreten. Die „Sektion 22: Scientific Computing“ wurde von Andrea Walther und Christian Hesch geleitet. Da CSE ein breites Spektrum an Themen abdeckt, reichten die Beiträge der Sektion von mathematischer Modellierung über die Analyse und effiziente Implemen-

tierung numerischer Methoden bis hin zur Lösung komplexer, anwendungsorientierter Probleme.

Wie in jedem Jahr bereiteten wir auch in 2024 die Vorschläge für die Hauptvortragenden auf der GAMM-Jahrestagung 2026 vor. Die Leitung der „Sektion 22: Scientific Computing“ im Jahr 2025 in Poznan übernehmen Silke Glas, Melina Merkel und Benjamin Unger. Zudem sind Treffen des FA auf der SIAM CSE in Forth Worth sowie auf der GAMM-Jahrestagung in Poznan geplant. Im September 2025 wird wieder eine GAMM-FA CSE Jahrestagung in Person stattfinden.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES MODERNE LEHRE UND DIDAKTIK



Thorsten Bartel

Unser Fachausschuss verfolgt weiterhin das Ziel, moderne didaktische Konzepte zu etablieren und deren positive Effekte auf die Qualifikation der Studierenden aufzuzeigen. Der von uns am 10. und 11. Juni 2024 an der TU Dortmund durchgeführte und von der GAMM finanziell unterstützte Workshop „Neue Wege in der Lehre: Von Lehr- zu Lernveranstaltungen“ zeigte neben vielen positiven Aspekten leider auch auf, dass konkrete Umsetzungen didaktischer Konzepte häufig durch starre hierarchische Strukturen erschwert werden. Andererseits wurden zahlreiche „Good-Practice-Beispiele“ zur Verbesserung der Lehre präsentiert und diskutiert. Insbesondere führen Maßnahmen wie „Studierenden-Aktivierung“ und Konzepte wie „Gamification“ zu einer signifikanten Steigerung der Motivation. Letztere stand auch im Fokus unseres Treffens am 27. August 2024, bei dem Prof. Dr. Christina Völlmecke (TU Berlin) ihr Projekt „GAMEchanics – Mechanics meets Gamification“ präsentierte (<https://www.tu.berlin/svfs/projekte/gamechanics>). In diesem Projekt wurde ein physischer und virtueller Escape-Room erschaffen, welcher völlig neue Zugänge zur Mechanik schafft. Dies bietet – im Sinne des Universal Design for Learning – innovative Mög-

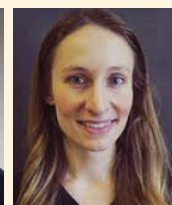
lichkeiten, Lernziele auf unterschiedlichen Wegen zu erreichen. Für 2025 blicken wir vor allem gespannt auf unsere Jahrestagung, bei der es zum ersten Mal Vorträge zur Didaktik geben wird. Durch diese und weitere Aktivitäten erhoffen wir uns, weiterhin Impulse für eine nachhaltige Verbesserung der Hochschulausbildung liefern zu können.

<https://im.mb.tu-dortmund.de/gamm/gamm-fa-didaktik/>

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE UND NUMERISCHE
LINEARE ALGEBRA (ANLA)

Melina Freitag



Erin Carson

Der Fachausschuss fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit im Bereich der Angewandten und Numerischen Linearen Algebra. Er hat derzeit 123 Mitglieder aus 39 Ländern. Neben seiner Webseite (gammanla.wordpress.com) betreibt der Fachausschuss einen LinkedIn Account. Hier findet man unter anderem Konferenzankündigungen, Fotos und Links zu Berichten unserer Aktivitäten. Der Fachausschuss wurde 2024 neugegründet.

Der 24. jährliche GAMM ANLA Workshop fand am 23. und 24. September 2024 in Göttingen in der Historischen Sternwarte statt und wurde von Max Pfeffer und Russell Luke organisiert. Ein breites Spektrum von Forschungsthemen in der angewandten und numerischen linearen Algebra wurde abgedeckt, darunter Krylov- und Mehrgitterverfahren sowie randomisierte und Riemannsche Algorithmen. Die eingeladenen Vorträge wurden von Robert Altmann (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Johannes Maly (Ludwig-Maximilians-Universität München) und Anne Wald (Georg-August-Universität Göttingen) gehalten und behandelten Themen wie port-Hamiltonian DAEs, low rank und sparse matrix recovery und Anwendungen in der Cytobiologie. Darüber hinaus gab es 18 weitere Vor-

träge für über 40 Teilnehmende. Während des Business Meetings wurden Melina Freitag und Erin Carson für eine weitere Amtsperiode als Vorsitzende bestätigt.

Wie üblich war die GAMM ANLA bei der Organisation der GAMM Jahrestagung 2024 in Magdeburg involviert. Insbesondere organisierten Jonas Kusch (Innsbruck) und Dominik Sulz (Tübingen) ein Young Researchers Minisymposium zu „New Perspectives for Model Order Reduction: Dynamical Low-rank Approximation“, Matthias Voigt (Uni Distance Suisse) und Tim Mitchell (Queens College New York) ein Minisymposium zu „Matrix Nearness Problems and Applications“ und Andre Uschmajev (Uni Augsburg) und Jochen Garcke (Uni Bonn) ein Minisymposium zu „Kernel Methods in Data Analysis and Computational Science“. Die Vortragsreihe zu Angewandter und Numerischer Linearer Algebra (S17) mit 19 Vorträgen wurde von Kathryn Lund (RAL, UK) und Davide Palitta (Universität Bologna, Italien) organisiert.

Der 25. GAMM ANLA Workshop findet im Herbst 2025 in Bologna statt.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

OPTIMIERUNG MIT PARTIELLEN
DIFFERENTIALGLEICHUNGEN

Constantin Christof



Gerd Wachsmuth

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

Das Treffen des Fachausschusses fand am 18. September 2024 im Rahmen des Workshops „Control and Optimization in the Age of Data“, der vom Fachausschuss veranstaltet wurde, in Bayreuth statt. Dabei wurden Prof. Dr. Gerd Wachsmuth (BTU Cottbus-Senftenberg) als Sprecher und Dr. Constantin Christof (Universität Duisburg-Essen) als Stellvertreter gewählt.

Mitglieder des Fachausschusses haben an zahlreichen Konferenzen und Workshops teilgenommen und ebensolche Veranstaltungen mitorganisiert. Zu nennen sind hier insbesondere

- Organisation der GAMM Jahrestagung in Magdeburg durch Prof. Dr. Peter Benner

- Organisation der IFIP TC 7 in Hamburg durch Prof. Dr. Winnifried Wollner
- Organisation von „Women in Optimization“ durch Prof. Dr. Andrea Walther
- Mitwirkung im Programmkomitee der ÖMG Tagung in Graz durch Prof. Dr. Christian Clason und Prof. Dr. Karl Kunisch
- Plenarvortrag von Prof. Dr. Michael Hinze beim Chemnitz FE Symposium
- Stream „Optimal Control, PDE Constrained Optimization, and Multi-level Methods“ bei der ISMP in Montreal
- Minisymposia bei der IFIP TC 7 in Hamburg

Eine Liste von Veranstaltungen sowie bevorstehende Tagungsaktivitäten für 2025 werden über die Homepage des Fachausschusses <http://gamm.optpde.net> bekanntgegeben. Das nächste Jahrestreffen soll im Rahmen der EUCCO 2025 in Klagenfurt stattfinden.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

COMPUTATIONAL BIOMECHANICS



Tim Ricken



Silvia Budday



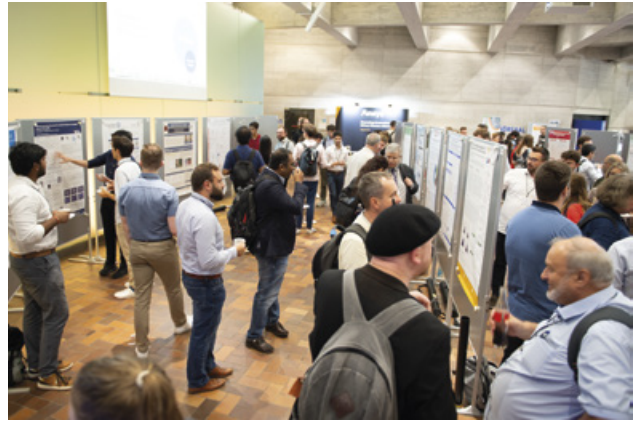
Oliver Röhrle

Der Fachausschuss wurde 2018 gegründet und unterstützte den Bereich der rechnergestützten Kontinuumsbiomechanik mit folgenden Aktivitäten:

- VPH2024: Die Jahreskonferenz des „Virtual Physiological Human Institute“ (<https://www.vph-institute.org>) wurde von Oliver Röhrle und Tim Ricken vom 04. bis 06.09.2024 in Stuttgart organisiert. Neben der klassischen Mischung aus Themen der In-silico-Medizin wird ein besonderes Augenmerk auf daten-gesteuerte Simulationstechnologien für die klinische Entscheidungsfindung gelegt. Die Tagung war ein voller Erfolg und hat demonstriert, dass der „Digitale Zwilling“ in vielen Bereichen der Medizin zum einen als Möglichkeit gesehen wird, unser Wissen über die komplexen multiphysikalischen biologischen Systeme zu erweitern, und zum anderen als Werkzeug zur Therapieweiterentwicklung genutzt wird.
- SPP 2311: Die zweite Runde für das Schwerpunktprogramm SPP 2311 „Robuste Kopplung kontinuumsbiomechanischer In-silico-Modelle für aktive biologische Systeme als Vorstufe klinischer Applikationen - Co-Design von Modellierung, Numerik und Nutzbarkeit“ (<https://www.spp2311.de>) hat begonnen. Insgesamt konnten 11 Projekte mit deutlich über 20 Doktoranden und PostDocs gefördert werden. Das Kick-Off-Meeting hat am 10.12.2024 virtuell stattgefunden. Das Jahrestreffen wird vom 06. bis 07.05.2025 in Präsenz stattfinden. Gäste sind herzlich willkommen.

Für 2025 weisen wir auf folgende Veranstaltungen hin:

- GAMM-Jahrestagung: Auch auf der GAMM-Jahrestagung in Poznań vom 07. bis 11.04.2025 ist der SPP 2311 mit einer eigenen Session (PP04) vertreten.
- SPP 2311: Das Jahrestreffen wird vom 06. bis 07.05.2025 in Präsenz stattfinden. Gäste sind herzlich willkommen.



VPH 2024 in Stuttgart

- XI International Conference on Computational Biomechanics (ICCB 2025): Abstracts zu dem gemeinsam mit Giulia Luraghi, Michele Marino, Silvia Budday und Tim Ricken organisierten MS07 - Italo-German meeting on in silico medicine: common problems and last advancements werden noch bis zum 31.03.2025 unter <https://iccb2025.org/abstract-submission> angenommen. Die ICCB 2025 findet vom 08. bis 10.09.2025 in Rom, Italien, statt.
- 20th International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering (CMBBE 2025): Das Symposium findet vom 03.09. bis 05.09.2025 in Barcelona statt. Abstracts für Special Sessions oder Workshops können bis zum 24.01.2025 unter <https://www.cmbbe-symposium.com/2025/> und für Konferenzbeiträge bis zum 31.03.2025 unter <https://www.cmbbe-symposium.com/2025/cmbbe-call-for-proposals> eingereicht werden.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

EXPERIMENTELLE
FESTKÖRPERMECHANIK

Stefan Hartmann



Stefan Diebels

Das diesjährige Jahrestreffen des Fachausschusses „Experimentelle Festkörpermechanik“ fand auf Einladung von Herrn Professor Stefan Hartmann an der TU Clausthal am 9. Oktober 2024 statt. Wie auch schon bei den vorherigen Veranstaltungen waren keine Spezialthemen des Fachausschusses geplant. So fanden diesmal Beiträge zu „Hopkinson-bar experiments for energy absorption in lattice structures“ (Bieler, S.; Weinberg, K. (Uni Siegen)), „Modeling and experimental determination of energetic and dissipative stresses in plastic deformation“ (Lalovic, N.; Dyck, A.; Kauffmann, A.; Heilmaier, M.; Böhlke, T. (KIT)), „Design und experimentelle Erprobung von mikrostrukturierten Stirnkontakten für Schnellladesysteme“ (Kanzenbach, L. (Fraunhofer IWU, Chemnitz)), „Herausforderungen und Methoden der Charakterisierung 3D gedruckter Strukturen aus dem Fused Filament Fabrication Verfahren“ (Klingenbeck, J.; Lion, A. (UniBW München)), „Ebene biaxiale Experimente: Materialien, Belastungsmöglichkeiten und Auswertung“ (Gerke, S.; Brünig, M. (UniBW München)), „Crystallinity and temperature dependence of viscoelasticity in PA6: Experimental and modeling“ (Kulkarni, S. R.; Lion, A. (UniBW München)), „Experimentelle Tensegrity-Mechanik im Orientierungsstudium plusMINT“ (Kuhl, D. (Uni Kassel)), „Bestimmung elastischer Konstanten über Ultraschall-Durchschallung“ (Findeisen, C.; Beckmann, C.; Rohrmüller, B.; Hohe, J.

(Fraunhofer IWM, Freiburg)) sowie „Coupling infrared thermography and digital image correlation during testing of specimens with curved surfaces“ (Tröger, J.-A.; Müller-Lohse, L.; Hartmann, S. (TU Clausthal)) statt.

Der Fachausschuss konnte für die GAMM-Jahrestagung in Magdeburg 2024 Herrn Professor François Hild von der ENS Paris-Saclay, France, als Hauptvortragenden gewinnen. Zudem ist ein Special Issue „On the quest of constitutive models and extraction of material parameters from full-field measurements“ in Journal „Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences“ in Vorbereitung. Des Weiteren war im Rahmen der geplanten Internationalisierung des GAMM Fachausschusses ein Forschungs-aufenthalt an der ENS Paris-Saclay, Frankreich, geplant, wo J.-A. Tröger (TU Clausthal) den Vortrag „Aspects of Material Parameter Identification using Full-Field Data“ hielt und Einblicke in die experimentellen Möglichkeiten des dortigen, angesehenen Instituts erhielt. Zudem ist ein CISM-Kurs zu einem ähnlichen Thema durch den GAMM Fachausschussvorsitzenden im Dezember 2024 eingereicht worden.

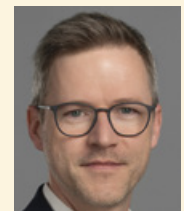
Auf der Sitzung im Oktober 2024 sind die Weichen für eine Verjüngung gestellt worden. In dem Fortsetzungsantrag für den aktiven Fachausschuss ist geplant, dass jüngere Wissenschaftler die Geschicke des Fachausschusses ab 2025 fortsetzen.

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

NUMERISCHE ANALYSIS



Lars Grasedyck



Daniel Peterseim

Der Fachausschuss beschäftigt sich mit der Numerischen Analysis, einer Kerndisziplin der Angewandten Mathematik mit Anwendungen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. Der inhaltliche Schwerpunkt des Fachausschusses liegt auf der Numerik partieller Differentialgleichungen, insbesondere auf Methoden für mehrskalige, hochdimensionale, datengetriebene oder unsicherheitsbehaftete Probleme. Ausgehend von der engen Verbindung zwischen der Entwicklung und Analyse numerischer Algorithmen fördert der Fachausschuss zuverlässige und effiziente Computersimulationen als Schlüsseltechnologie für den wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisgewinn.

Das Jahr 2024 begann mit der Winter School on Hierarchical Matrices 2024 vom 5. bis 9. Februar an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, die von Lars Grasedyck mitorganisiert wurde. Im Juni folgte die 10th International

Conference on Computational Methods in Applied Mathematics (CMAM-10) vom 10. bis 14. Juni in Bonn unter der Leitung von Joscha Gedicke. Den Abschluss bildete die Jahrestagung 2024 des Fachausschusses als GAMM Workshop on Numerical Analysis vom 13. bis 15. November an der Universität Augsburg, mitorganisiert von Daniel Peterseim.

Für das Jahr 2025 stehen bereits zwei Veranstaltungen fest. Vom 15. bis 17. September findet das Chemnitz FE Symposium On Tour in Mülheim an der Ruhr statt. Die Jahrestagung 2025 des Fachausschusses ist für den Spätherbst an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg geplant.

Aktuelle Information siehe:

www.igpm.rwth-aachen.de/gamm_numerical_analysis

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES UNCERTAINTY QUANTIFICATION (UQ)



Andrea Barth



Lorenzo Tamellini

Der Fachausschuss Uncertainty Quantification (FA UQ) fördert den wissenschaftlichen Austausch zur Quantifizierung von Unsicherheiten in technisch-wissenschaftlichen Berechnungen und vertritt dieses Fachgebiet innerhalb der GAMM. Der FA UQ zählt aktuell 126 Mitglieder; Mitgliedschaft kann jederzeit beantragt werden per E-Mail an gamm-uq@zib.de. Aktuelle Informationen finden sich unter <https://gamm-ag-uq.github.io> und werden auch über den eigenen Mailverteiler an die Mitglieder*innen verschickt. Zusätzlich findet zweimal jährlich ein Austausch in einem Online-Meeting statt.

Bei der Jahrestagung in 2024 wurde die Sektion von Kerstin Lux-Gottschalk (TU Eindhoven) und Lorenzo Tamellini (CNR-IMATI) organisiert. Insgesamt fanden 23 Vorträge und 5 Keynote Vorträge von Omar Knio (KAUST), Carlo Marcati (Universität Pavia), Linus Seelinger (KIT), Bruno Sudret (ETH Zürich) und Elisabeth Ullmann (TU München) statt. Die Section war thematisch gegliedert in „Applications of UQ“, „UQ - Multilevel Sampling“, „UQ and dynamical systems“, „Methodologies for forward UQ“ und „UQ - Sampling and rare event estimation“.

Die SIAM UQ Konferenz fand vom 27. Februar bis 01. März in Triest in Kooperation mit dem GAMM FA UQ statt. Mitglieder des FA UQ organisierten 16 Minisymposien mit einer Gesamtanzahl von 37 Sessions. Zusätzlich gab es auch noch ein Minitutorial „Rare event estimation with PDE-based models“ von Elisabeth Ullmann (TU München). Die Konferenzreihe des FA UQ „Frontiers in UQ“ wurde fortgesetzt. In Braunschweig fand vom 24. bis 27. September der FrontUQ-Workshop „Uncertainty Quantification (UQ) for Aerospace Engineering“ organisiert durch Philipp Bekemeyer, Sebastian Krumscheid, Ulrich Römer und Linus Seelinger statt.

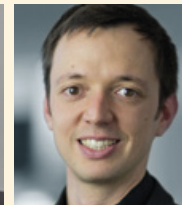
Termine in 2025:

- GAMM Jahrestagung 2025 in Poznan, die Sektion S 15 wird von Ulrich Roemer (TU Braunschweig) und Roland Pulch (Universität Greifswald) organisiert.
- FrontUQ Workshop 2025 (voraussichtlich an der Universität Stuttgart)

JAHRESBERICHT 2024 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES DATA-DRIVEN MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF MICRO- STRUCTURED MATERIALS (AG DATA)



Benjamin Klusemann



Felix Fritzen

Im GAMM Fachausschuss Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials (AG Data) werden Aspekte der datengetriebenen Modellierung, des maschinellen Lernens und der Multiskalen-Simulation von heterogenen Materialien und Verbundwerkstoffen diskutiert und Kompetenzen hierzu kanalisiert. In 2024 fand der jährliche Präsenzworkshop am 6./7.2.24 in Dresden statt, welcher dankenswerterweise von Markus Kästner und Mitarbeitern organisiert wurde. Inhaltlich war die Materialmodellierung mit künstlichen neuronalen Netzen wieder stark vertreten, aber auch weitere innovative Modellierungsansätze. Nach dem großen Erfolg in den letzten drei Jahren, wird am 18.12.2024 wieder ein Online-Event angeboten. Kurze Impulsvorträge werden durch eine digitales Get-together

ergänzt. Das nächste Treffen der AG Data in Präsenz wird am 11./12. Februar 2025 in Darmstadt stattfinden und die Organisation wird erfreulicherweise von Oliver Weeger und Mitarbeitern übernommen. Auf der nächsten GAMM 2025 in Posen wird die GAMM AG Data durch die Session „S25 Machine Learning and Data Science in Applied Mathematics and Mechanics“ vertreten sein, die gemeinsam mit der GAMM AG COMINDS organisiert wird. Alle weiteren relevanten Informationen werden zeitnah über die Homepage und die Mailingliste der GAMM AG Data bekanntgegeben.

Homepage:

<https://www.mib.uni-stuttgart.de/dae/ag-data>

Mailingliste: Mail an fritzen@mib.uni-stuttgart.de.

WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

GAMM

Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik
<http://www.gamm.org>

Tagungsjahr 2025

95. GAMM Jahrestagung Poznań

07. - 11. April 2025
www.jahrestagung.gamm.org

Angewandte Operatortheorie

<https://www.mat.tuhh.de/gamm-ot/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.mb.uni-siegen.de/nm/gamm-cse/>

Mathematische Signal- und Bildverarbeitung

<http://www3.math.tu-berlin.de/numerik/GAMM-MSIP/>

Uncertainty Quantification

<http://www.tu-chemnitz.de/gamm-uq>

Phasenfeldmodellierung

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

Computational Biomechanics

<https://www.isd.uni-stuttgart.de/fabiomech>

Modeling, Analysis and Simulation of Molecular Systems

<https://moansi.wixsite.com/gamm>

Data-driven Modeling and Numerical Simulation for Microstructured Materials

<http://www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data>

Angewandte und Numerische Lineare Algebra

<https://gammnla.wordpress.com/>

Analysis partieller Differentialgleichungen

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

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 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/>

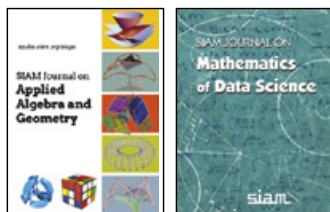
MFO

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.



SIAM Journals

Your link to the world of applied mathematics
EPUBS.SIAM.ORG

SIAM journals bring you the latest in applied math, computational science, and data science research.

SIAM Review

Editor-in-Chief: Carola-Bibiane Schönlieb
DAMTP, University of Cambridge
ISSN: 1095-7200 (electronic) • 0036-1445 (print)
Published quarterly

Multiscale Modeling & Simulation

Editor-in-Chief: Liliana Borcea
University of Michigan
ISSN: 1540-3467 (electronic) • 1540-3459 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Applied Algebra and Geometry

Editor-in-Chief: Jan Draisma
Universität Bern
ISSN: 2470-6566
Electronically published continuously

SIAM Journal on Applied Dynamical Systems

Editor-in-Chief: Lora Billings
Montclair State University
ISSN: 1536-0040
Electronically published continuously

SIAM Journal on Applied Mathematics

Editor-in-Chief: Qiang Du
Columbia University
ISSN: 1095-712X (electronic) • 0036-1399 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Computing

Editor-in-Chief: Robert Krauthgamer
Weizmann Institute of Science
ISSN: 1095-7111 (electronic) • 0097-5397 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Control and Optimization

Editor-in-Chief: Huy  n Ph  m
Universit   de Paris
ISSN: 1095-7138 (electronic) • 0363-0129 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Discrete Mathematics

Editor-in-Chief: Stanislav   ivn  y
University of Oxford
ISSN: 1095-7146 (electronic) • 0895-4801 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Financial Mathematics

Editor-in-Chief: H. Mete Soner
Princeton University
ISSN: 1945-497X
Electronically published continuously

SIAM Journal on Imaging Sciences

Editor-in-Chief: Gabriele Steidl
Technion - Technische Universität Berlin
ISSN: 1936-4954
Electronically published continuously

SIAM Journal on Mathematical Analysis

Editor-in-Chief: Pierre-Emmanuel Jabin
University of Maryland
ISSN: 1095-7154 (electronic) • 0036-1410 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Mathematics of Data Science

Editor-in-Chief: Mikhail Belkin
University of California, San Diego
ISSN: 2577-0187
Electronically published continuously

SIAM Journal on Matrix Analysis & Applications

Editor-in-Chief: Michele Benzi
Scuola Normale Superiore
ISSN: 1095-7162 (electronic) • 0895-4798 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Numerical Analysis

Editor-in-Chief: Mark Ainsworth
Brown University
ISSN: 1095-7170 (electronic) • 0036-1429 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Optimization

Editor-in-Chief: Jong-Shi Pang
University of Southern California
ISSN: 1095-7189 (electronic) • 1052-6234 (print)
Electronically published continuously

SIAM Journal on Scientific Computing

Editor-in-Chief: Hans De Sterck
University of Waterloo
ISSN: 1095-7197 (electronic) • 1064-8275 (print)
Electronically published continuously

SIAM/ASA Journal on Uncertainty Quantification

Editors-in-Chief: Bani Mallick
Texas A&M University and
Sebastian Reich
Universität Potsdam
ISSN: 2166-2555
Electronically published continuously

Theory of Probability and Its Applications

Translation of the Russian Journal
Teoriya Veroyatnostei i ee Primeneniya
ISSN: 1095-7219 (electronic) • 0040-585X (print)
Published quarterly

Applied mathematicians, computational scientists, and data scientists value SIAM journals and consider them an essential component of professional life.

siam | Society for Industrial and Applied Mathematics

View recently posted articles: epubs.siam.org
Subscribe to SIAM journals: epubs.siam.org/help

Society for Industrial and Applied Mathematics, 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 U.S.
Phone: +1-215-382-9800 x321 or 1-800-447-7426 (toll free in USA and Canada)
service@siam.org • www.siam.org

Online access with print subscription available at additional cost. Institutional subscribers must access journals by



Präsident:	Prof. Karsten Urban Universität Ulm, Institut für Numerische Mathematik Helmholtzstraße 20, 89081 Ulm	Vizesekretär:	Prof. Ralf Müller Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Technische Mechanik, Postfach 3049, 67653 Kaiserslautern
Vizepräsident:	Prof. Jörg Schröder Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Institut für Mechanik, Universitätsstraße 15, 45117 Essen	Schatzmeisterin:	Prof. Andrea Walther Humboldt-Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin
Sekretär:	Prof. Michael Kaliske Technische Universität Dresden, Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, Fakultät Bauingenieurwesen, 01062 Dresden	Wiss. Nachwuchs:	Prof. Claudia Schillings Freie Universität Berlin, FB Mathematik&Informatik, Institut für Mathematik, Arnimallee 6, 14195 Berlin

Weitere Mitglieder des Vorstandsrates

Prof. Dorothee Knees Universität Kassel Institut für Mathematik Heinr.-Plett-Straße 40 34131 Kassel	Prof. Benjamin Stamm RWTH Aachen University Mathematics Schinkelstr. 2, 52062 Aachen
Prof. Jörg Schumacher Technische Universität Ilmenau Fachgebiet Strömungsmechanik Am Helmholtzring 1 98693 Ilmenau	Prof. Alexander Düster TU Hamburg Numerische Strukturanalyse Am Schwarzenberg-Campus 4 21073 Hamburg
Prof. Günter Hofstetter Universität Innsbruck, Institut für Grundlagen der Technischen Wissenschaften, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Österreich	Prof. Oliver Ernst Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Mathematik, Reichenhainer Str. 41, 09126 Chemnitz
Prof. Jörn Sesterhenn Universität Bayreuth, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth	Prof. Kerstin Weinberg Universität Siegen Maschinenbau Paul-Bonartz-Str. 9-11, 57076 Siegen
Prof. Kathrin Flaßkamp Professur für Modellierung und Simulation technischer Systeme, Fachrichtung Systems Engineering Universität des Saarlandes 66123 Saarbrücken	Prof. Hartmut Hetzler Universität Kassel, Lehrstuhl für Technische Dynamik Mönchebergstr. 7, 34125 Kassel
Prof. Martin Stoll Technische Universität Chemnitz Professur Wissenschaftliches Rechnen Reichenhainer Str. 4109126 Chemnitz	Prof. Dr. Andrea Barth Universität Stuttgart IANS Allmandring 5b 70569 Stuttgart

Beratende Mitglieder des Vorstandsrates

Prof. em. Dr. Götz Alefeld Karlsruher Institut für Technologie, Fakultät f. Mathematik, Institut f. Angewandte Mathematik, Postfach 6980, 76049 Karlsruhe	Prof. i.R. Friedrich Pfeiffer Technische Universität München, Lehrstuhl B für Mechanik, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
---	--

Abschlussprüfer

Prof. Michael Beitel Schmidt Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Marschnerstraße 30, 01307 Dresden	Prof. Stefan Neukamm Technische Universität Dresden, Institut für Wissenschaftliches Rechnen, Zellescher Weg 12-14, 01069 Dresden
---	---

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.-Ing. 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)
† 29. Juli 2021

Prof. Dr.-Ing. Oskar Mahrenholtz (1997)
† 6. April 2020

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

PERSONALIA

Todesfälle, wir gedenken:
Prof. Dr. Frank Thiele, Berlin
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Marti-Bäni, Windisch

Prof. Dr. Jochen Reinermann, Aachen
Prof. Dr.-Ing. Gerd Brunk, Berlin

GAMM MEMBERS:

SIAM membership includes thousands of applied mathematicians and computational and data scientists working in academia, industry, government, and labs.

As a SIAM Member, You'll Get:

- Subscriptions to *SIAM News*, *SIAM Review*, and *SIAM Unwrapped* e-newsletter
- Discounts on SIAM books, journals, and conferences
- Eligibility to join SIAM activity groups, vote for or become a SIAM leader, and nominate or be nominated as a SIAM Fellow
- The ability to nominate two students for free membership

You'll Experience:

- Networking opportunities
- Access to cutting edge research
- Visibility in the applied mathematics and computational science communities
- Career resources



You'll Help SIAM to:

- Increase awareness of the importance of applied and industrial mathematics
- Support outreach to students
- Advocate for increased funding for research and education

“SIAM is the premier professional society for applied and industrial mathematicians. SIAM engages members at all levels through its student chapters, conferences, journals, prizes and awards programs, and member-driven activities. We welcome new members, ideas, and volunteers and are excited to continue growing our service to the community.”

— Sven Leyffer, SIAM Past President,
Argonne National Laboratory



Join SIAM today at siam.org/joinsiam

GAMM members who live outside the U.S. get a reciprocal rate that is 30% less than the regular member rate, plus your GAMM dues are discounted to 65€.

