

AUS DEM INHALT:

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

**1/2017**

[www.gamm-ev.de](http://www.gamm-ev.de)

**GREGOR GASSNER & ANDREW WINTERS:**  
**ROBUST HIGH-ORDER DISCONTINUOUS**  
**GALERKIN METHODS FOR COMPUTATIONAL**  
**FLUID DYNAMICS**

**ROLF LAMMERING, ARTEM EREMIN,**  
**BIANCA HENNINGS, NATALIE RAUTER &**  
**MIRKO NEUMANN:**  
**GEFÜHRTE WELLEN ZUR DETEKTION**  
**VON SCHÄDEN IN FASERVERSTÄRKTEN**  
**KUNSTSTOFFEN**

**JUNGE WISSENSCHAFTLER:**  
**STEFANIE ELGETI**  
**MARTIN STOLL**

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

Schriftleitung:  
 Prof. Dr.-Ing. Jörg Schröder  
 Universität Duisburg-Essen  
 Institut für Mechanik  
 Universitätsstraße 15  
 45117 Essen

Tel.: ++49 (0)201 / 183-2708  
 Fax: ++49 (0)201 / 183-2708  
 E-Mail: j.schroeder@uni-due.de

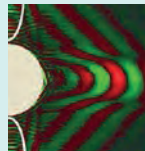
Anzeigenverwaltung  
 GAMM-Geschäftsstelle  
 c/o Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske  
 Institut für Statik und Dynamik der  
 Tragwerke  
 Fakultät Bauingenieurwesen  
 Technische Universität Dresden  
 01062 Dresden  
 Tel.: ++49 (0)351 / 46333448  
 E-Mail: GAMM@mailbox.tu-dresden.de

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

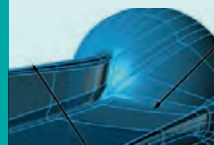
Druck:  
 Bauer & Frischluft Werbung GmbH  
 Gutenbergstr. 3  
 84069 Schierling  
 Tel.: +49 9451 943024  
 Fax: +49 9451 1837  
 E-Mail: sr@bauer-frischluft-werbung.de  
 www.bauer-frischluft-werbung.de

ISSN 2196-3789

- 4 robust high-order discontinuous Galerkin methods for computational fluid dynamics**  
 by Gregor Gassner & Andrew Winters

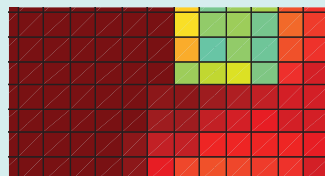


- 10 Geführte Wellen zur Detektion von Schäden in faserverstärkten Kunststoffen**  
 von Rolf Lammering, Artem Eremin, Bianca Hennings, Natalie Rauter & Mirko Neumann

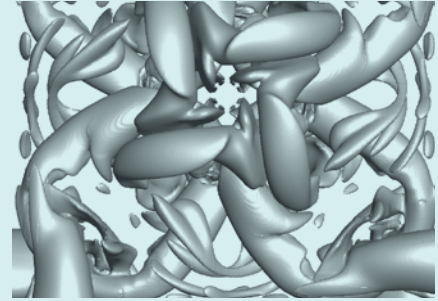


- 17 Steckbrief Stephanie Elgeti**

- 19 Steckbrief Martin Stoll**

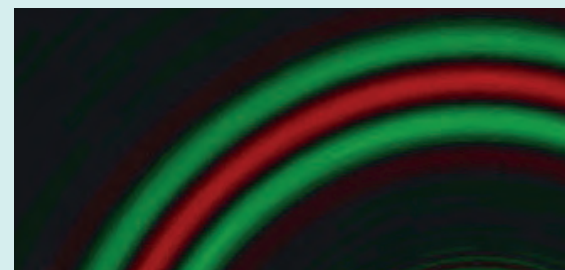


- 23 GAMM Juniors' Summerschool Applied Mathematics and Mechanics**  
 von Claudia Schilings & Dominik Kern



Berichte aus den Fachausschüssen:

- 25 Analysis partieller Differentialgleichungen**  
**26 Analysis von Mikrostrukturen**  
**27 Dynamik und Regelungstheorie**  
**28 Mathematische Signal- und Bildverarbeitung (MSIP)**  
**29 Uncertainty Quantification**  
**29 Angewandte und Numerische Lineare Algebra (ANLA)**  
**30 Computational Science and Engineering (CSE)**  
**31 Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials (AG Data)**  
**31 Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen**  
**32 Angewandte Operatortheorie**  
**33 Phasenfeldmodellierung**  
**34 Review on the second Edition of the two volumes „Map Projections“**  
**35 Wissenschaftliche Veranstaltungen**  
**37 Ausschreibung: Richard-von-Mises-Preis 2017**  
**38 Vorstand der GAMM**  
**39 Ehrenmitglieder der GAMM**





LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,  
LIEBE GAMM-MITGLIEDER,

Numerisch robuste Diskretisierungen zur Simulation turbulenter Strömungen sind das Thema des ersten Fachbeitrags von Gregor Gassner und Andrew Winters vom Mathematischen Institut der Universität zu Köln. Sie betrachten spezielle spektrale diskontinuierliche Galerkinmethoden (DGSEM), insbesondere unter Erfüllung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, und demonstrieren ihre Robustheit. Das Titelbild entstammt einer Simulation des Taylor-Green-Vortexproblems mit diesen Methoden. Zerstörungsfreie Prüfverfahren sind das Thema des zweiten Fachbeitrags „Geführte Wellen zur Detektion von Schäden in faserverstärkten Kunststoffen“ von Rolf Lammering, Artem Eremin, Bianca Hennings, Natalie Rauter und Mirko Neumann vom Institut für Mechanik der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr in Hamburg.



In unseren Nachwuchswissenschaftlerporträts stellen sich aus der Mechanik Stefanie Elgeti von der RWTH Aachen und aus der Mathematik Martin Stoll vom Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer Systeme in Magdeburg vor.

Die GAMM-Juniors haben im September 2016 eine Sommerschule mit dem Thema „Geometrische Methoden der Mehrkörper- und Strukturmechanik – Modellierung, Simulation und Regelung“ veranstaltet. Diese wurde durch Vorträge von Dominik Kern (Chemnitz) und Kathrin Flaßkamp (Bremen) seitens der GAMM-Juniors und von Sina Ober-Blobaum (Oxford) sowie Martin Arnold (Halle) als eingeladene Hauptvortragende gestaltet. Claudia Schillings und Dominik Kern berichten in diesem Heft davon.

Traditionell berichten in der Frühjahrsausgabe des GAMM-Rundbriefes die derzeit existierenden GAMM-Fachausschüsse über ihre Aktivitäten des vergangenen Jahres. Besonders hinweisen möchten wir auch wieder auf die Ausschreibung des Richard-von-Mises-Preises.

Als Herausgeber des Rundbriefes bedanken wir uns herzlich bei den Autorinnen und Autoren für Ihre Beiträge. Für weitere Anregungen zur Gestaltung des GAMM-Rundbriefes und die Einsendung von Beiträgen schicken Sie bitte eine Email an [j.schroeder@uni-due.de](mailto:j.schroeder@uni-due.de) (Mechanik) oder [axel.klawonn@uni-koeln.de](mailto:axel.klawonn@uni-koeln.de) (Mathematik).

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

Köln und Essen im Januar 2017

Jörg Schröder und Axel Klawonn

# ROBUST HIGH-ORDER DISCONTINUOUS GALERKIN METHODS FOR COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

BY GREGOR GASSNER & ANDREW WINTERS

Nature is non-linear. Fundamental physical principles such as the conservation of mass, momentum, and energy are mathematically modeled by non-linear time dependent partial differential equations (PDE) of the form

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot F(U, \nabla U) = 0.$$

Here  $U=U(x,t)$  denotes the conserved quantity and  $F$  denotes the flux function. In case of mass conservation,  $U=\rho$  (density), and  $F = \rho v$  (mass flux with velocity  $v$ ). The part of  $F$  which depends only on the conserved quantity  $U$  models advection and is typically of hyperbolic nature. The part of  $F$  which depends additionally on the spatial derivatives  $\nabla U$  models diffusion effects and has a parabolic character. Such non-linear conservation laws describe a wide range of problems in science and engineering, e.g. the prediction of noise and drag of modern aircrafts, the behaviour of gas clouds, the build up and propagation of tsunamis in oceans, the impact of the solar wind on Earth, propagation of non-linear acoustic waves in different materials and predictions of instabilities in plasma.

Solutions of non-linear conservation laws feature a wide range of phenomena such as discontinuities, singularities, and turbulence. These phenomena are all time dependent and feature multiple scales in space and time. This multi-scale nature is one reason why, even after hundreds of years, no general framework for analytical solutions and in most cases, no rigorous mathematical theory on existence and uniqueness is available. Furthermore, in many cases experimental studies of such problems are too costly, too time consuming, too dangerous, and are sometimes even impossible to perform. However, as knowledge of solutions of these problems is of utmost importance for modern industry, science, medicine, and society, the numerical simulation of time dependent non-linear conservation laws has emerged as a key technology.

As a concrete example of these non-linear conservation laws we consider the compressible Euler equations in three spatial dimensions. They describe the motion of compressible fluid with five independent conserved variables  $U=[\rho, \rho u, \rho v, \rho w, \rho e]^T$ , mass, momentum in each spatial direction, and total energy. Thermodynamics suggests that a fluid governed by the compressible Euler equations has two reversible work modes: If work is expanded to increase the fluid's kinetic energy at constant

pressure and temperature, it can be completely recovered by decelerating the flow. This is called an isentropic acceleration and deceleration. Conversely, the work can apply expansion to compress the fluid isentropically at constant velocity, thus raising the temperature. Through such processes the kinetic energy and internal energy (temperature) can be independently and reversibly varied. Other reversible state changes are a combination of these two processes. For example, the work required for an isentropic compression can be provided by an isentropic deceleration. Mathematically, solutions of such processes are smooth and differentiable. In addition to these reversible state changes there are irreversible ones. For example, heat transfer across a finite temperature difference is irreversible as is viscous momentum transfer. Although not explicitly included in the compressible Euler equations, these mechanisms are significant within shocks (discontinuous solutions), which are the main source of irreversibility in the compressible Euler equations. Irreversibility implies that certain state changes (like transferring heat against a temperature gradient) are unphysical, as they are never observed in the laboratory on macroscopic scales. For example, a "mathematical" fluid governed solely by the compressible Euler equations could potentially transfer all of the internal energy into kinetic energy: This would result in a very fast, cold jet of air. Such a behavior has never been observed in nature.

The second law of thermodynamics provides a mechanism to distinguish between possible state changes and the impossible ones. The fundamental concept of the entropy of a system is introduced to characterise such processes. For reversible processes the time derivative of the total system entropy is zero. For irreversible processes the entropy increases; flow dynamics where the total system entropy shrinks in time are never observed.

For numerical methods it is straightforward to satisfy the first law of thermodynamics, that is the conservation of total energy. However, it is tricky for numerical schemes to accurately model the second law of thermodynamics because the mechanism that governs irreversible processes (entropy) is not explicitly built into the PDE, e.g., into the compressible Euler equations. This leads us to one of the primary goals of our research: To construct numerical approximations that satisfy the primary conservation law and, in addition, the auxiliary conservation law of entropy

for reversible processes and guarantee that entropy increases for irreversible processes. Whereas entropy is important to construct numerical approximations that are consistent with the second law of thermodynamics, there are additional secondary quantities of a PDE that might be interesting. In the case of compressible fluid dynamics, the total kinetic energy plays an important role for solutions with turbulent behaviour. Similar to entropy, it is possible to derive a governing evolution equation for the total kinetic energy from the Euler equations assuming smooth solutions. However, in this article, we focus on numerical schemes that are guaranteed consistent with the second law of thermodynamics, i.e., that guarantee that the entropy evolution has the correct sign, and refer to such methods as *entropy stable* methods.

The development of numerical methods that account for the entropy of a system has been a subject of active research for over 30 years. Here we clarify an important difference between the physics and mathematics communities. Entropy, in physics, is defined as an increasing quantity. However, as mathematicians are concerned with bounding the solution, we adopt the notation that the entropy is modeled by a strongly convex function,  $S$ , that decreases in time. From such an entropy function it is possible to define a new set of entropy variables

$$V := \frac{\partial S}{\partial U}.$$

This definition provides an important link between the PDE in the space of conservative variables,  $U$ , and the entropy conservation law (or inequality) in the space of entropy variables,  $V$ . If we contract the PDE with the entropy variables, i.e., take the inner product of the entropy variables and the non-linear conservation law we generate the entropy conservation law for reversible process (or inequality for irreversible processes)

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \nabla \cdot G \leq 0,$$

provided certain constraints hold on the entropy flux  $G$  [6]. This auxiliary PDE is the mathematical description of the second law of thermodynamics for solutions of the compressible Euler equations. Note, that in case of compressible Navier-Stokes equations, the dissipation terms in momentum and energy conservation cause a decrease of total entropy, whereas in the case of the compressible Euler equations only non-smooth solutions (shocks) introduce entropy dissipation.

This so-called continuous entropy analysis can be discretely mimicked. For a finite volume approximation, the discrete contraction of the PDE into entropy space is used to produce conditions on the numerical surface flux function such that the finite volume approximation will recover the correct entropic behaviour of the second law of thermodynamics. Unfortunately, this condition is only applicable for low-order finite volume methods. However, as solutions of non-linear conservation laws typically feature a wide range of spatial and temporal scales (e.g. turbulence), a desire in the computational fluid dynamics community is to construct numerical methods with low

dispersion and dissipation errors, necessary to capture the complicated interaction of the different scales. Therefore, our research seeks to construct high-order numerical approximations for the system of non-linear conservation laws that are entropy stable.

## Discontinuous Galerkin methods

There are a wide variety of available high-order methods to model the solution of non-linear hyperbolic problems, such as WENO finite volume methods, compact finite difference methods, or the discontinuous Galerkin (DG) collocation spectral element method (DGSEM) [5]. From the wide variety of available high-order methods for non-linear problems, DG type methods are considered in our research. The reasons for this choice are many, among the most important ones are the very accurate propagation of non-linear waves (low dispersion and dissipation errors) and the extremely high parallel efficiency one can achieve with discontinuous Galerkin based codes. Access to raw computing power is another necessary ingredient to tackle the challenge of simulating non-linear conservation laws. Due to the inherent algorithmic data locality of DG schemes, it is possible to achieve strong scaling on one hundred thousand (or more) cores with over 90% efficiency with less than 5 thousands degrees of freedom per core.

The DGSEM, like finite element methods, is derived from the variational form of the PDE. The approximation space consists of three steps: (i) subdivision of the domain into hexahedral elements, (ii) polynomial mapping of each hexahedra into a unit reference space, and (iii) local polynomial ansatz with degree  $N$  for each conserved quantity in this reference space. In contrast to classic finite element methods, this approximation space is discontinuous across element interfaces and hence the discrete solution at the element interfaces is not uniquely defined. To account for this discontinuous ansatz space, the variational form of the PDE is integrated by parts to generate element surface integral terms. The discontinuity at the element interfaces are resolved by borrowing ideas from finite volume methods. Namely, numerical surface flux functions, which depend on both values at an element interface, are used to obtain a unique formulation. To construct a spectral element DG method, we approximate every integral in the variational form with high-order accurate Legendre-Gauss-Lobatto (LGL) quadrature. The conserved variables, the non-linear fluxes, and the test functions are approximated by polynomials built from Lagrange basis functions of degree  $N$  and constructed with  $(N+1)$  LGL integration points. Thus, each nodal value directly corresponds to the value of the approximate solution at an integration point. To increase the computational efficiency of the discretisation, the integration nodes used to approximate the inner products are *collocated* with the interpolation nodes of the Lagrange basis. This collocation drastically reduces the computational effort in higher spatial dimensions. In fact, the computational complexity in three spatial dimensions is reduced from  $(N+1)^6$  to  $(N+1)^4$  for each hexahedral element.

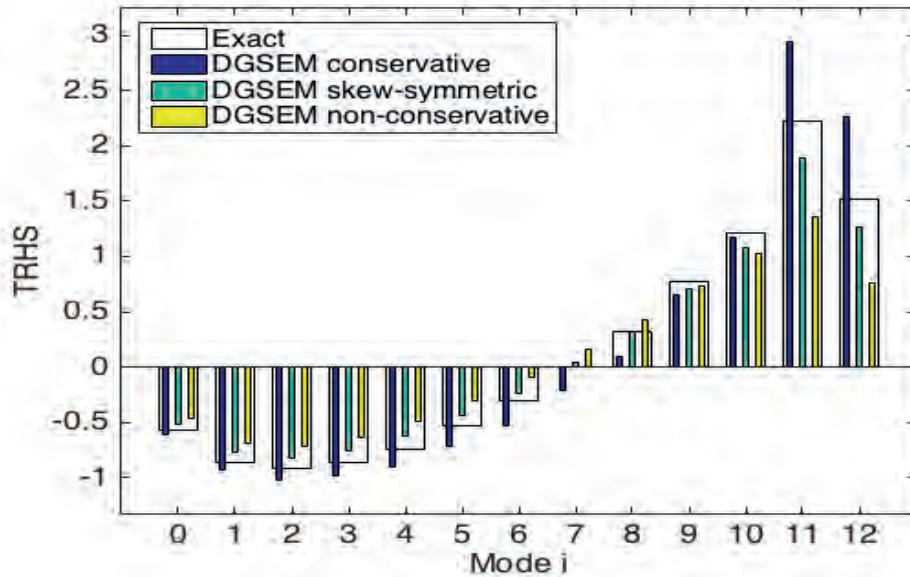


Fig. 1: Comparison of the modal coefficient values for the one dimensional Burgers' equation. The transformed (modal space) right-hand side is shown vs. the polynomial mode for  $N=12$ . Conservative, skew-symmetric, and non-conservative DGSEM forms are compared against reference values obtained with exact projection.

Whereas collocation is desirable from a pure *minimum number of operations* perspective, this approach does not take the possible non-linearity of the flux functions  $F$  with respect to  $U$  into account. If  $U$  is a polynomial of degree  $N$ , the flux function is not. Unfortunately, collocation causes the standard DGSEM to *under-integrate* the non-linear terms, thus introducing aliasing errors into the approximation. Under-integration has a dramatic impact on the robustness of the DGSEM. For example, in under-resolved turbulence, aliasing errors introduced from the inexact integration of inner products in the variational form degrades the accuracy of the simulation and may even drive an instability related to unphysical energy transfers in the approximate solution, i.e., a violation of the second law of thermodynamics. For low-order approximations, this non-linear instability is hidden by large dissipation errors (excessive artificial viscosity). However, for high-order discretisations, like the DGSEM, that naturally have lower numerical dissipation, this non-linear instability mechanism is exacerbated and is a crucial area of investigation for improving the robustness of spectral element methods without deteriorating their favourable dissipation, dispersion, and accuracy properties. To address the issue of non-linear stability, we focus our research on entropy stable DGSEM. The key is to accept that aliasing errors are introduced by the under-integration of the non-linear terms and seek for an alternative formulation of the DGSEM. There is an important equivalence in this context between entropy stable schemes and “skew-symmetric formulations” [6], which offers powerful mathematical tools for the analysis and construction of entropy stable DGSEM without assuming exact integration of the inner products.

### Skew-symmetric formulations and summation-by-parts

The idea of using alternative skew-symmetric forms of the non-linear advective terms to reduce aliasing errors has been used in other high-order communities such as finite differences and spectral methods. Due to the non-linear character of the advective terms of the compressible Euler equations, there are many ways to re-write the equations. To simplify the discussion, we consider the inviscid Burgers' equation for the conserved quantity  $u$ , given in conservative form

$$u_t + (u^2/2)_x = 0,$$

where a subscript denotes a derivative with respect to time  $t$  or space  $x$ , respectively. Assuming smooth solutions this is identical to the non-conservative form

$$u_t + uu_x = 0,$$

and to the skew-symmetric form, found from 2/3 of the conservative form plus 1/3 of the advective form

$$u_t + \frac{1}{3}((u^2)_x + uu_x) = 0.$$

The spatial differential operator is skew-symmetric with respect to the standard  $L_2$  inner product. All three forms describe the same problem. However, discretisations of these three forms are quite different with respect to accuracy and stability. The standard approach in DG is to use the conservative form of the equation, as this yields a DG scheme that satisfies the primary conservation properties, such as e.g. conservation of mass, momentum and energy. In contrast to this, the properties of a DG scheme based on the skew-symmetric form are unclear and it was believed in the community that such a discretisation fails to conserve the primary quantities. Postponing the discussion of conservation for the moment,

we provide an assessment of how inexact quadratures can affect the energy of different solution coefficients for the Burgers' equations. This provides a visual demonstration of how the skew-symmetric form tends to keep the modal solution energy "under control" in contrast to the standard DGSEM based on the conservative form of the PDE.

DG discretisations based on the three forms are compared for polynomial order  $N=12$  in Fig. 1, which shows the transformed (modal space) values of the right-hand side (TRHS) of the discrete operator. The exact values of TRHS for each modal coefficient have been computed via exact projection and are also shown in the plot for reference. The most relevant trend in Fig. 1 is that the DGSEM based on the conservative form (dark blue) tends to over-predict the coefficients' variation rate. This is problematic, as this over-prediction causes false behaviour of energy transfer and consequently unphysical solutions. The DGSEM based on the non-conservative form (yellow) under-predicts the modal values, this being especially significant at higher modes. The DGSEM based on the skew-symmetric form (green) tends to predict energy variations more accurately due to the combination of opposite conservative and non-conservative tendencies. This can be regarded as a built-in dealiasing mechanism in the sense that errors in the conservative and non-conservative form cancel each other out. In fact, we can prove that the combination with  $1/3$  and  $2/3$  is precise in the sense that all the aliasing errors in the associated discrete entropy evolution cancel out. With this, it can be shown that the resulting skew-symmetric DGSEM is entropy stable [2].

As noted, the skew-symmetric form has provable beneficial stability properties for high-order DGSEM. However, because it is constructed from a combination of the conservative and non-conservative forms of the PDE we must guarantee that the resulting DG discretisation remains conservative. Discrete conservation of the primary conserved variables is essential to capture problems with shocks. Only fully conservative discretisations are able to accurately track shocks with the correct speed. The essential mathematical tool to prove conservation of the skew-symmetric DGSEM (and to prove entropy stability) is a concept which we borrow from the high-order finite difference community, the idea of summation-by-parts (SBP) operators.

The idea of SBP operators is to discretely mimic the integration-by-parts property. This discrete integration-by-parts property, or summation-by-parts, is extremely useful as the steps of the continuous entropy analysis can be mimicked at the discrete level to prove stability of the approximation. The discrete SBP operator is represented by a diagonal norm matrix  $M$  (the mass matrix in the context of DGSEM) with positive entries and a derivative matrix  $D$ . The two matrices satisfy the important SBP relation

$$(MD) + (MD)^T = B, B = \text{diag}([-1, 0, \dots, 0, 1]),$$

where  $B$  is the boundary evaluation operator. The diagonal norm matrix basically represents the numerical integration and the derivative matrix is used to replace the continuous derivative operator.

We construct the DGSEM based on collocation of interpolation and integration with LGL nodes. Fortunately, this variant of the DG methodology is special because one can prove that the SBP property holds for all polynomial degrees  $N$  [2]. Remarkably, high-order diagonal norm SBP operators share an astounding equivalence to a subcell based high-order finite volume formulation. In fact, it is possible to rewrite the discretisation equivalently in either Galerkin form, finite difference form (based on SBP operators), or into subcell finite volume form [1]. This astounding reformulation into a subcell finite volume method is essential, as it directly gives the desired discrete conservation of the skew-symmetric DGSEM discretisation via the Lax-Wendroff theorem. The essence of the Lax-Wendroff theorem is the possibility to rewrite a conservative numerical discretisation into a (subcell) finite volume type discretisation. Moreover, this equivalence of the discretisations is key to construct an entropy stable DGSEM for general systems and to construct split form DGSEM, that allow the preservation of, e.g., the total kinetic energy in the case of compressible Euler equations [4].

## Application to under-resolved turbulence

The Taylor-Green vortex (TGV) problem is a flow model for the analysis of transition and turbulence decay. The flow

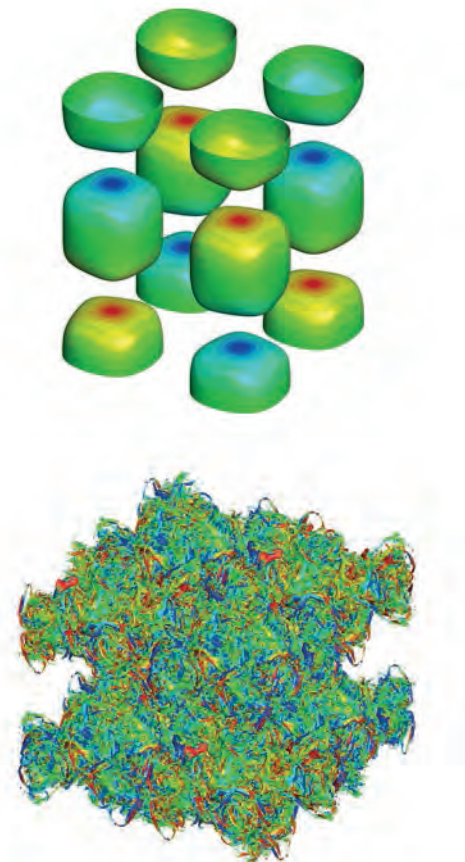


Fig. 2: Evolution of the TGV with  $Re=800$  at two time snapshots  $t=0$  (top) and  $t=9$  (bottom). Isocontour of vorticity colored by helicity.

begins from smooth initial conditions on a fully periodic three dimensional domain. The evolution of the simple initial flow conditions is quite challenging due to the non-linear interaction of scales, shown in Fig. 2 at  $t=0$  and  $t=9$  (close to the peak of kinetic energy dissipation). Here we consider the evolution of the TGV flow with Reynolds number  $Re=800$ , which can be characterized into three distinct phases: During the first phase dissipative effects can be neglected and vortex lines begin to fold and stretch first by pressure gradients and then via three dimensional vortex interactions, but still through a well-organized (non-chaotic) process. In the second phase transition takes place, whereby non-linear effects intensify and small scale energy grows rapidly through the cascade mechanism leading to a peak in kinetic energy dissipation. Finally, the third phase of the TGV flow tends to a more homogeneous state of decaying turbulence, where kinetic energy decays monotonically towards zero.

In Fig. 3 we present a qualitative evaluation of the approximation properties of low- and high- order robust DG schemes for the TGV with  $Re=800$  [3]. It is worth pointing out that the standard DGSEM scheme crashes due to aliasing instabilities for this test case. The figure shows an isocontour visualization of the vortex structure ( $\lambda_2$ -criterion) of a second order ( $N=1$ ) and a sixteenth order ( $N=15$ ) DGSEM computation with the same total number of spatial degrees of freedom (DOFs) along with a direct numerical simulation (DNS) reference solution. As already noted, the inherent numerical dissipation of the low-order scheme smoothes all but the largest features of the flow field, while the resolution capabilities of the high-order scheme provide a discrete solution with much higher physical fidelity. These results support the premise that DGSEM with high values of  $N$  greatly improve the solution quality in under-resolved flow situations versus low-order simulations.

We note that, in general, the solution quality of an under-resolved computation is bounded by the available number of degrees of freedom, i.e., the theoretically smallest resolvable scale (Nyquist theorem). The properties of the numerical discretisation determine the quality of these degrees of freedom, i.e., the fraction of the complete information represented on a mesh. The results of Fig. 3 show that a stable high-order DGSEM allows us to recover a significant part of the theoretically available physical information.

## Summary

We outlined the important concept of numerical discretisations that are consistent with the second law of thermodynamics. The path of so called entropy stable methods leads to numerical robustness for highly non-linear problems, e.g., the simulation of turbulence.

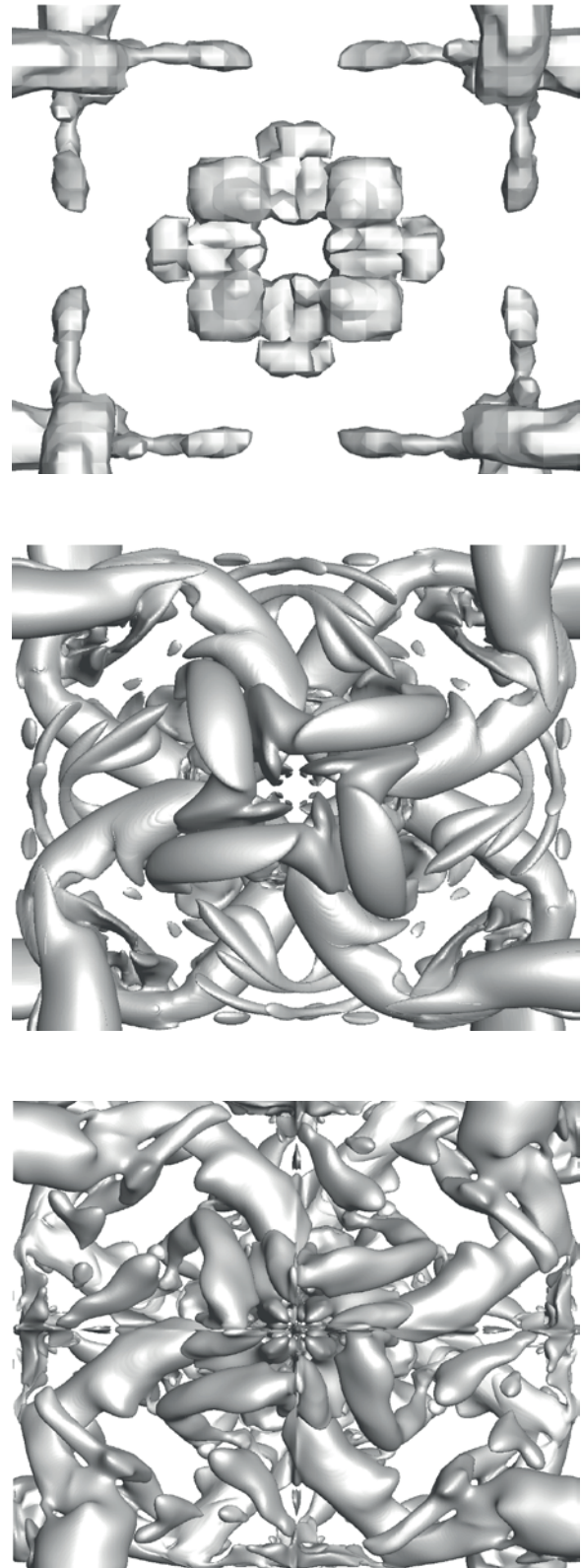


Fig. 3: Taylor-Green Vortex with  $Re = 800$ . Isocontours at  $t = 8.5$ . Plot of a second order ( $N=1$ ) calculation with  $64^3$  DOFs (top). Plot of a sixteenth order ( $N=15$ ) computation with  $64^3$  DOFs (middle). Plot of a DNS reference solution (bottom). From [3].



Astoundingly, the construction of a robust high-order DG type discretisation requires the application of ideas from the three largest numerics communities, i.e., the geometric flexibility of finite element methods, skew-symmetric forms and the summation-by-parts property from finite difference methods, and the entropy stability theory of finite volume methods.

### References

- [1] T. Fisher, and M. H. Carpenter. "High-Order Entropy Stable Finite Difference Schemes for Non-Linear Conservation Laws: Finite domains," *Journal of Computational Physics*, 252:518-557, 2013.
- [2] G. Gassner. "A Skew-Symmetric Discontinuous Galerkin Spectral Element Discretisation and its Relation to SBP-SAT Finite Difference Methods," *SIAM Journal on Scientific Computing*, 35:A1233-A1253, 2013.
- [3] G. J. Gassner, A. D. Beck. "On the Accuracy of High Order Discretizations for Underresolved Turbulence Simulations." *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 27:221-237, 2013.
- [4] G. J. Gassner, A. R. Winters, and D. A. Kopriva. "Split Form Nodal Discontinuous Galerkin Schemes with Summation-By-Parts Property for the Compressible Euler Equations," *Journal of Computational Physics*, 327:39-66, 2016.
- [5] D. A. Kopriva. *Implementing Spectral Methods for Partial Differential Equations: Algorithms for Scientists and Engineers*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2009.
- [6] E. Tadmor. "Entropy Stability Theory for Difference Approximations of Nonlinear Conservation Laws and Related Time-Dependent Problems," *Acta Numerica*, 12:451-512, 5 2003.



**Gregor Gassner** is a professor in numerical analysis/scientific computing at the Mathematical Institute at the University of Cologne. Gregor obtained a diploma degree in aerospace engineering (2004) and a diploma degree in mathematics (2005) from the University of Stuttgart. In 2009 he received his doctoral degree at the Institute of Aerodynamics and Gasdynamics, Stuttgart. He got an offer for a Juniorprofessorship at TU Braunschweig in computational fluid dynamics, an offer for scientific computing at the TU Hamburg-Harburg and an offer from University of Cologne, where he joined in 2013. In 2016 he received an ERC starting grant on the topic of adaptive, robust and highly efficient numerical methods for the simulation of non-linear conservation laws.



**Andrew Winters** is a postdoctoral researcher in the Mathematical Institute at the University of Cologne. Andrew obtained a Bachelors degree (2009) and a Ph.D. (2014) in applied mathematics from Washington State University and Florida State University, respectively. Andrew joined the research group of Prof. Gassner immediately after completing his Ph.D. Also, during Summer semester 2016, he served as a Vertretungsprofessor at the Mathematical Institute, where he lectured a Master course in advanced topics for numerical analysis.

# GEFÜHRTE WELLEN ZUR DETEKTION VON SCHÄDEN IN FASER-VERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

VON ROLF LAMMERING, ARTEM EREMIN, BIANCA HENNINGS,  
NATALIE RAUTER & MIRKO NEUMANN

In den 60er Jahren hat die Einführung der faserverstärkten Kunststoffe, insbesondere in der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Entwicklung des Leichtbaus einen starken Impuls verliehen. Es wurde jedoch schon bald offensichtlich, dass die Verbundbauweise und der damit einhergehende Aufbau aus zwei Einzelkomponenten in den Bauteilen zu Schadensbildern führen, die man von metallischen Strukturen nicht kennt. Um diese werkstoffspezifischen Schadensbilder zuverlässig detektieren zu können, werden bis heute zerstörungsfreie Prüfverfahren angepasst und neu entwickelt. In den vergangenen Jahren befassen sich Forschungsarbeiten intensiv mit der Frage, in welchem Maße geführte Wellen geeignet sind, Schäden zu detektieren, lokalisieren, quantifizieren und klassifizieren [1]. Diese Arbeiten erfolgen auch mit der Zielsetzung, Methoden zur Strukturüberwachung (Structural Health Monitoring) zu entwickeln, um die Sicherheit und Verfügbarkeit von Ingenieurkonstruktionen zu erhöhen.

## Wellen in isotropen elastischen Festkörpern

Nähert man sich Wellen in elastischen Strukturen von der mathematischen Seite, so führt die Verknüpfung von Impulsbilanz, Hookeschem Gesetz und linearer Verzerrungs-Verschiebungs-Beziehung zu den Navier-Laméschen Differentialgleichungen. Für den unendlich ausgedehnten Festkörper, d. h. ohne Randbedingungen, erhält man unter Verwendung des Helmholtz Theorems zwei Wellengleichungen. Sie beschreiben zum einen die Longitudinalwelle (Kompressionswelle), zum anderen die Transversalwelle (Scherwelle). Berücksichtigt man bei der Lösung der Differentialgleichung durch eine entsprechende Randbedingung einen spannungsfreien Rand, wie er bei der Betrachtung eines elastischen Halbraums auftritt, so erhält man mit der Rayleigh-Welle (Oberflächenwelle) eine neue Wellenart [2,3].

Löst man die Differentialgleichung für zwei parallele spannungsfreie Ränder und beschreibt dadurch eine unendlich ausgedehnte Platte, so wird man auf die Lösung von Horace Lamb aus dem Jahr 1917 geführt [4,5]. Diese Wellen werden als Lamb-Wellen bezeichnet, verallgemeinert auch als geführte Wellen. Abb. 1 zeigt Lamb-Wellen in einer Aluminiumplatte. Sie entstehen durch Anregung mit einem piezoelektrischen Aktor im Zentrum, in diesem Fall mit einem gefensterten Sinussignal bei 100 kHz, und wurden mit einem Scanning Laser Vibrometer aufgezeichnet [6]. Zu erkennen sind zwei Wellenpakete: Im äußeren Bereich mit größerer Wellenlänge die fundamentale symmetrische  $S_0$ -Welle, im inneren Bereich mit kürzerer Wellenlänge die antisymmetrische  $A_0$ -Welle. Da die  $S_0$ -Welle eine höhere Gruppengeschwindigkeit als die  $A_0$ -Welle hat, haben sich beide Wellenpakete voneinander getrennt.

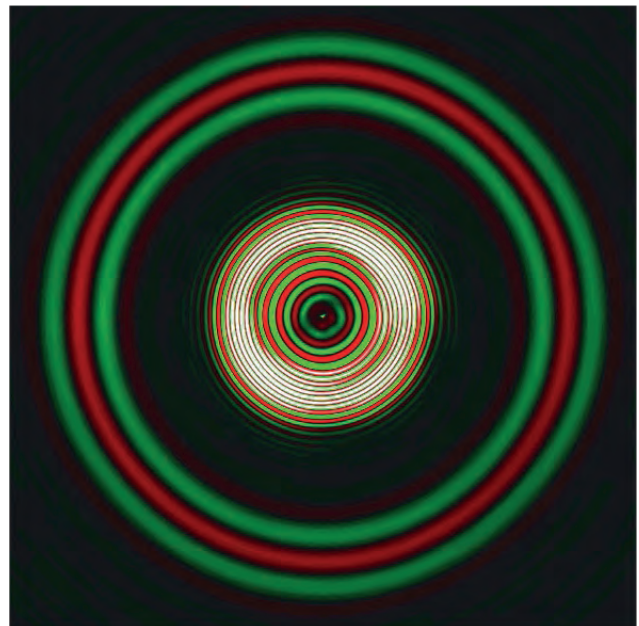


Abb. 1: Lamb-Wellen in Aluminiumplatte nach Anregung bei 100 kHz.

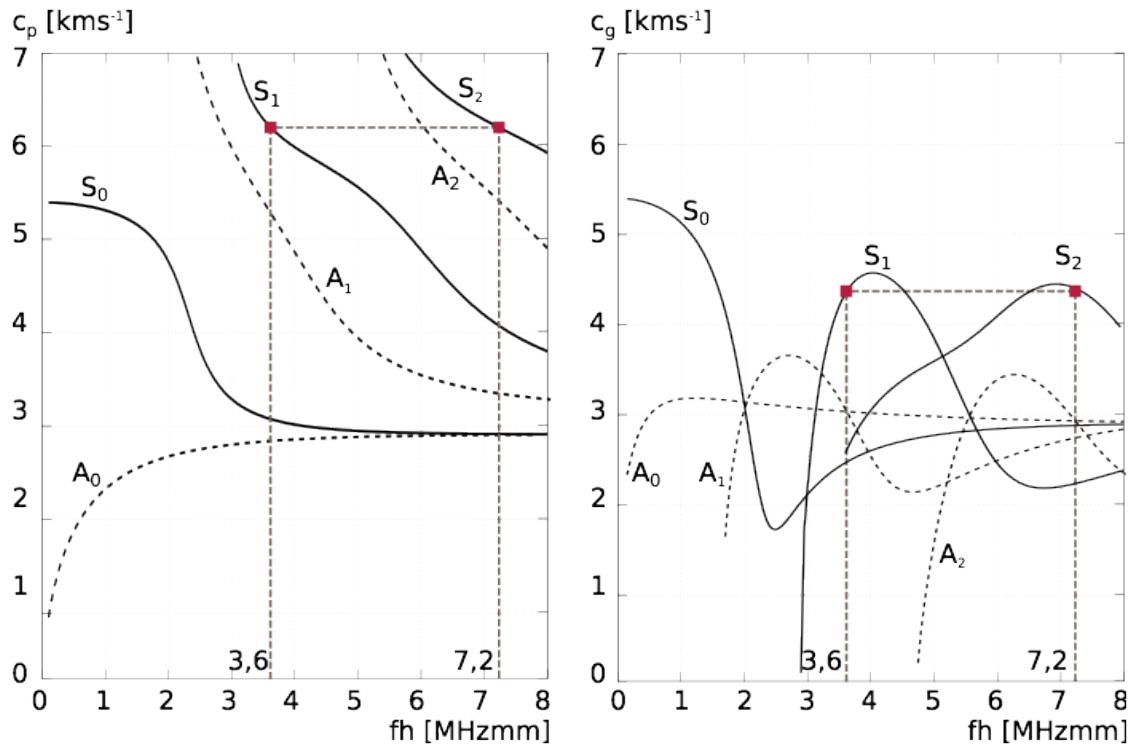


Abb. 2: Dispersionsdiagramme für die Phasen- und Gruppengeschwindigkeit von Lamb-Wellen in einer Aluminiumplatte.

Ein Blick auf die Dispersionsdiagramme in Abb. 2 erläutert die Zusammenhänge. Hier sind die Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Produkt aus Anregungsfrequenz und Dicke dargestellt. Die Abhängigkeit der Wellengeschwindigkeit von der Frequenz zeigt den dispersiven Charakter der Lamb-Wellen. Weiterhin wird deutlich, dass neben den fundamentalen symmetrischen und antisymmetrischen Moden auch höherharmonische existieren, die als  $S_i$ - sowie als  $A_i$ -Moden ( $i=1,2,\dots$ ) bezeichnet werden. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass mit jeder Frequenz mindestens zwei Wellenmoden angeregt werden. Die unterschiedlichen Gruppengeschwindigkeiten der  $S_0$ - und  $A_0$ -Welle, die die Trennung der Wellenpakete in Abb. 1 erklärt, sind unmittelbar ablesbar.

Wurde das Dispersionsdiagramm in Abb. 2 bei bekannten Werkstoffparametern semianalytisch berechnet, so besteht umgekehrt die Möglichkeit, die Werkstoffparameter aus einem experimentell ermittelten Dispersionsdiagramm zu bestimmen [7,8]. Gerade bei faserverstärkten Kunststoffen, bei denen häufig die mechanischen Eigenschaften der Konstituenten, nicht aber die des Verbundwerkstoffs hinreichend genau bekannt sind, kann diese Methode zur Parameteridentifikation vorteilhaft angewendet werden.

Die Ausbreitung von Wellen wird durch Ränder, Steifigkeitsänderungen oder auch Schäden der wellenführenden Struktur gestört. Es kommt zur Reflexion, Refraktion und Modenkonversion, d.h. zu einer Umwandlung der einfallenden Welle in andere Wellentypen. Diese Eigenschaft macht man sich bei der Strukturüberwachung zunutze,

um Schäden in der Struktur zu detektieren. In Abb. 3 ist die Konversion der einfallenden  $S_0$ -Mode in eine  $A_0$ -Mode an einer Störung beispielhaft präsentiert [6]. Die Störung wird zur Quelle einer neuen Welle und lässt sich auf diese Weise identifizieren.

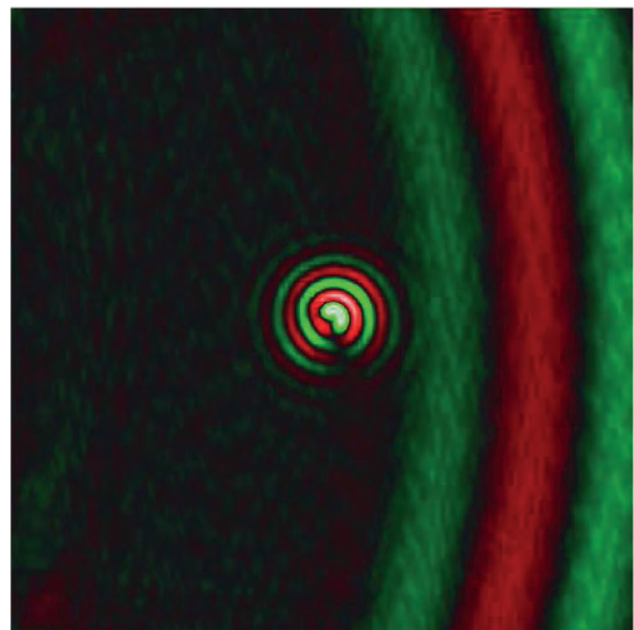


Abb. 3: Konversion vom  $S_0$ -Mode in den  $A_0$ -Mode an einer Störstelle in einer Aluminiumplatte.

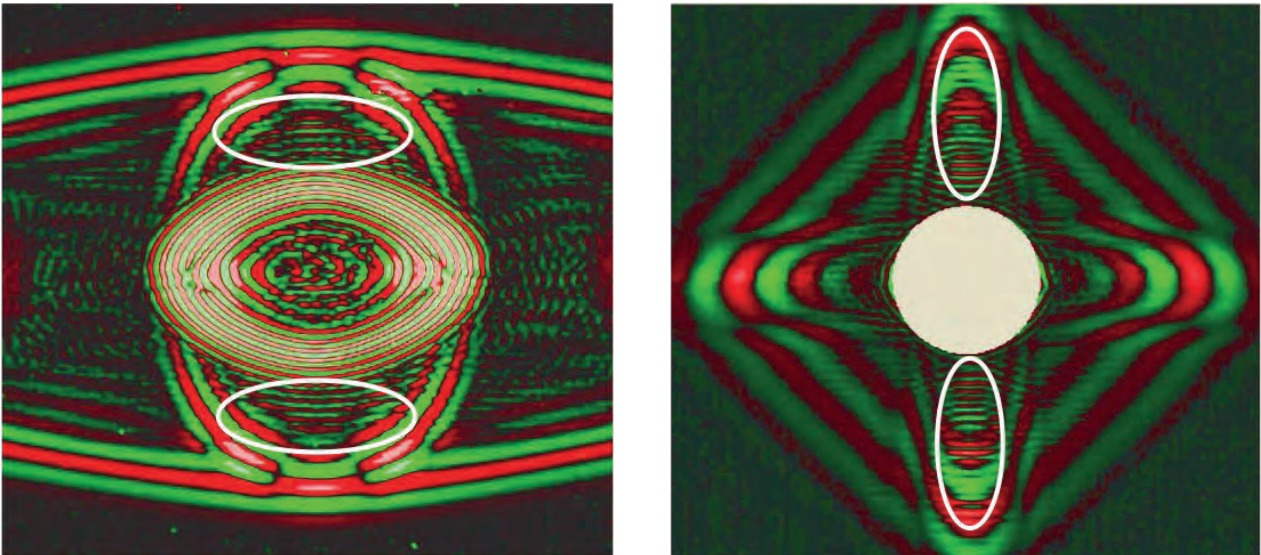


Abb. 4: Wellenausbreitung in faserverstärkten Kunststoffen (links: unidirektional, rechts: Kreuzverbund) mit kontinuierlicher Modenkonvertierung.

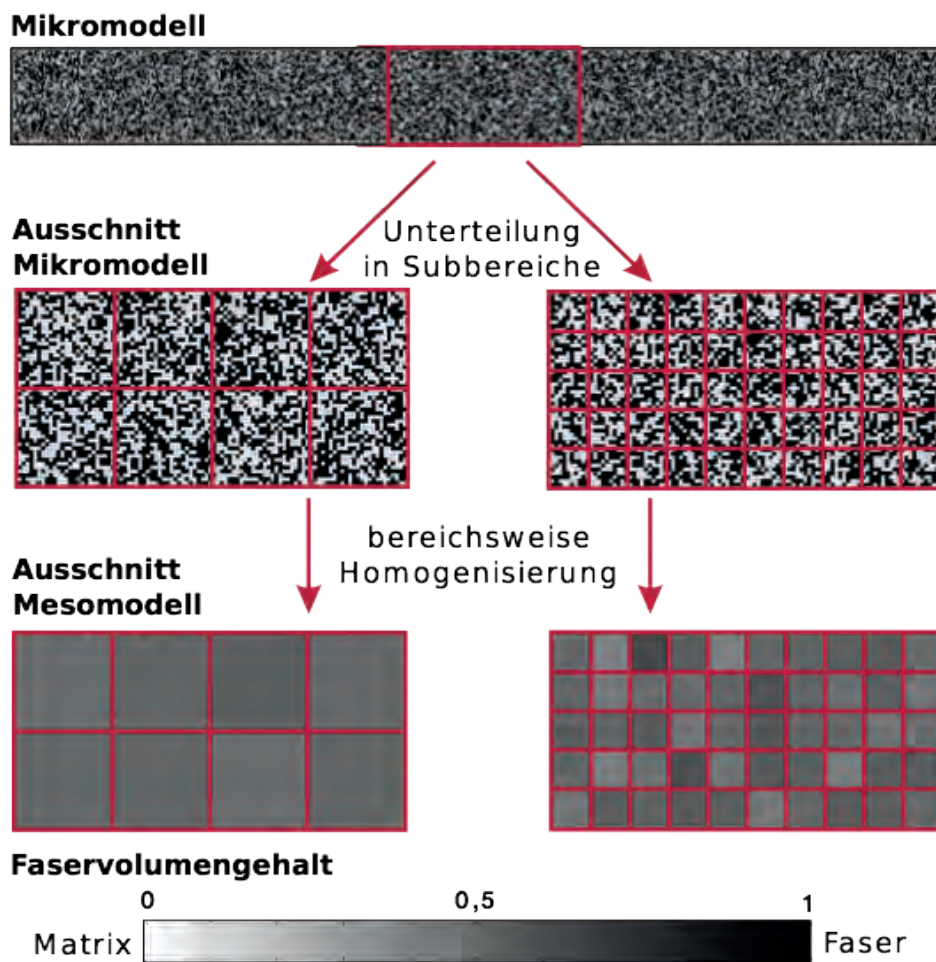


Abb. 5: Modellierung von faserverstärkten Kunststoffen zur Erfassung der kontinuierlichen Modenkonvertierung.

## Faserverstärkte Kunststoffe

Betrachtet man geführte Wellen in Platten aus anisotropem Werkstoff, so wird die Lösung der beschreibenden mathematischen Gleichungen aufwändiger und die Interpretation der experimentell aufgezeichneten Wellenausbreitung schwieriger. In Abb. 3 sind Lamb-Wellen in Platten aus faserverstärkten Kunststoffen mit unterschiedlichen Lagenaufbauten dargestellt [6]. Für den Fall des unidirektionalen Faserverbundes mit horizontal liegenden Fasern sind wiederum die  $S_0$ - und die  $A_0$ -Welle leicht zu identifizieren. Es wird deutlich, dass die Gruppengeschwindigkeit in Faserrichtung deutlich höher ist als quer dazu. Für den Kreuzverbund ist die  $A_0$ -Welle nicht dargestellt, um die kleineren Amplituden der  $S_0$ -Welle deutlicher darstellen zu können. Die Symmetrie des Lagenaufbaus spiegelt sich in der Symmetrie des dargestellten Wellenbildes wider.

Abb. 3 zeigt in beiden Bildern eine Besonderheit, die Abb. 1 nicht enthält. Während beim Werkstoff Aluminium die Amplituden zwischen der  $A_0$ - und  $S_0$ -Welle nahezu verschwinden, sind sie beim Faserverbundwerkstoff in den durch weiße Ellipsen hervorgehobenen Bereichen deutlich sichtbar. Die Wellenlänge in diesen Bereichen entspricht der der antisymmetrischen Wellen, so dass die Schlussfolgerung nahe liegt, dass hier eine Modenkonzersion von der schnelleren  $S_0$ -Welle in die langsamere  $A_0$ -Welle stattfindet. Im Gegensatz zu Defekten, die eine örtlich begrenzte Modenkonzersion hervorrufen, erfolgt die Konversion hier kontinuierlich. Der Effekt tritt verstärkt auf, wenn der Laminataufbau Gewebe enthält.

Die Ursache für die kontinuierliche Modenkonzersion liegt in der Inhomogenität des Verbundwerkstoffs, wie numerische Simulationen gezeigt haben. Es konnte nachgewiesen werden, dass der auslösende Effekt nicht das Vorhandensein von Fasern und Matrix allein ist. Modelliert man Fasern und Matrix separat und erzeugt bei der Diskretisierung eine regelmäßige Verteilung der Fasern bei einem vorgegebenen Faservolumengehalt, so wird keine kontinuierliche Modenkonzersion sichtbar. Verteilt man hingegen die Fasern bei gleichem globalen Faservolumengehalt zufällig, so dass lokal unterschiedliche Faservolumenanteile vorliegen, und passt damit das numerische Modell den tatsächlichen Gegebenheiten an, so zeigen die Berechnungsergebnisse die experimentell beobachtete kontinuierliche Modenkonzersion [9].

Es hat sich jedoch herausgestellt, dass es nicht notwendig ist, die Inhomogenität des Werkstoffs auf der Faser-Matrix-Ebene abzubilden. Vielmehr ist es ausreichend, die lokal unterschiedlichen Faservolumenanteile auf einer Mesoskala zu erfassen und auf diese Weise die Inhomogenität zu modellieren. Abb. 4 zeigt dieses Vorgehen mit zwei unterschiedlichen Diskretisierungen auf der Mesoskala.

## Numerische Berechnung

Numerische Berechnungen zur Ausbreitung von Wellen in elastischen Strukturen werden u.a. durchgeführt, um Methoden zur Strukturüberwachung (Structural Health

Monitoring) zu entwickeln. Wie im Fall der kontinuierlichen Modenkonzersion ergänzen sie experimentelle Untersuchungen, geben Einblick in experimentell nicht zugängliche Bereiche und helfen somit, die physikalischen Vorgänge zu verstehen.

Die Detektion von Schäden in dünnwandigen Strukturen mit Hilfe von Lamb-Wellen erfolgt im Ultraschallbereich bei Frequenzen von bis zu ca. 250 kHz, aber auch darüber hinaus. Im Bereich höherer Frequenzen können Wellenlängen von weniger als einem Zentimeter auftreten. Aus diesen Angaben wird deutlich, dass die numerische Simulation der Wellenausbreitung in dünnwandigen Strukturen eine örtliche und zeitliche Diskretisierung mit hoher Auflösung erforderlich macht, so dass der Bedarf an Rechenzeit und Speicherplatz sehr groß ist. Angepasste Finite Elemente Methoden haben sich daher als sehr vorteilhaft erwiesen. Weiterhin spielen semi-analytische Verfahren und deren Kombination mit numerischen Methoden eine Rolle [1].

Für numerische Berechnungen bieten sich die p-Version der Finite Elemente Methode ebenso wie die spektrale Finite Elemente Methode an. Insbesondere letztere kommt zur Berechnung von elastischen Wellen häufig zum Einsatz, auch im Bereich der Geophysik. Es werden zumeist Lagrange-Polynome hoher Ordnung als Ansatzfunktionen verwendet und die Quadraturregel nach Gauß-Lobatto, die zu einer diagonalen Massenmatrix führt [9,10]. Diese wiederum bietet in Zusammenhang mit der expliziten Zeitintegration den Vorteil, dass die rechenzeitintensive Matrixinversion entfällt. Darüber hinaus hat sich die Verwendung isogeometrischer finiter Elemente als besonders geeignet herausgestellt.

## Nichtlineare Wellenausbreitung

Die bisherigen Arbeiten zeigen deutlich, dass geführte Wellen zur Detektion von Delaminationen in Faserverbunden geeignet sind. Mikroschädigungen, z.B. Faser-Matrix-Ablösungen oder Zwischenfaserbrüche, werden hingegen durch die fundamentalen  $S_0$ - und  $A_0$ -Moden nicht erfasst, so dass zur deren Detektion andere Methoden angewandt werden müssen. In diesem Fall macht man sich zunutze, dass Wellen beim Auftreffen auf Mikroschädigungen Reibungs- und Kontaktvorgänge („Rissuferklappern“) auslösen und somit nichtlineares Strukturverhalten hervorrufen. Bei einer im wesentlichen monofrequenten Anregung treten daher nicht nur die primär angeregten Moden auf, sondern auch höherharmonische. Diese sind aufgrund der Dämpfung experimentell jedoch schwer zu erfassen.

Für Abhilfe sorgen hier kumulativ höherharmonische Moden, deren Amplitude mit der Ausbreitungsstrecke linear zunimmt. Voraussetzung für deren Existenz ist das Vorhandensein eines Leistungsflusses zwischen der primär angeregten Mode und der sekundären (höherharmonischen). Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit, dass die Phasengeschwindigkeit des betrachteten Modenpaares gleich ist, anderenfalls oszilliert die Amplitude der sekundären

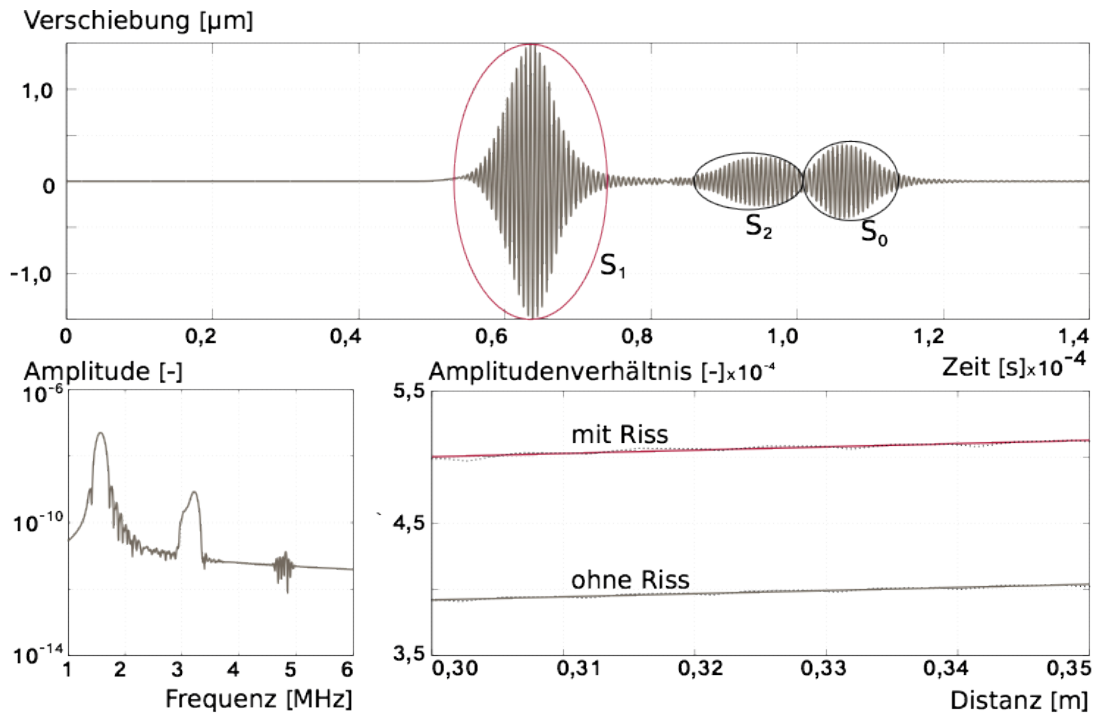


Abb. 6: Anregung von sekundären Moden in einer Aluminiumplatte. Oben: Unterschiedliche Wellenmoden über der der Zeit; unten links: Frequenzanalyse des  $S_1$ -Wellenpakets; unten rechts: wachsende Amplitude der sekundären Mode mit der Distanz.

Mode. Die experimentelle Detektierbarkeit wird erleichtert, wenn zusätzlich die Gruppengeschwindigkeit übereinstimmt [11].

Die Vorgehensweise ist in Abb. 2 und 6 für den Fall einer Aluminiumplatte (Dicke  $h = 2,3$  mm) mit Riss dargestellt. Bei 1,571 MHz werden unmittelbar die symmetrischen Moden  $S_0$ ,  $S_1$  und  $S_2$  angeregt. Diese Moden sind in Abb. 6a, in der die Amplituden an einem festen Ort über die Zeit aufgetragen sind, zu erkennen. Durch die unterschiedlichen Gruppengeschwindigkeiten haben sich die Moden separiert. Aufgrund der im Modell enthaltenen Nichtlinearität ruft die Anregung der primären Mode bei 1,57 MHz zusätzlich eine sekundäre Mode bei 3,14 MHz hervor. Dies wird durch eine FFT-Analyse des entsprechenden Zeitsignals bestätigt, s. Abb. 6b. Schließlich ist die mit der Ausbreitungsstrecke anwachsende Amplitude der sekundären Mode in Abb. 6c zu sehen.

### Time-Reversal-Verfahren zur Schadensdetektion

Zur Detektion von Schäden existieren eine Reihe von Verfahren, die einen Istzustand mit einem sog. Gutzustand (baseline) vergleichen und auf diese Weise Veränderungen feststellen. Werden Veränderungen in den Messsignalen wahrgenommen, muss jedoch geprüft werden, ob sie aus Schäden resultieren oder veränderten Umgebungsbedingungen, z. B. einer Temperaturänderung, zuzuschreiben sind. Das Time-Reversal-Verfahren [12] kann

hingegen ohne eine solche Baseline auskommen und ist in einem Aktor-Sensor-Netzwerk eine vielversprechende Methode, um Schäden zu lokalisieren und um deren Größe zu bestimmen.

Das Verfahren sieht vor, mit einem piezoelektrischen Wandler Lamb-Wellen anzuregen und diese nach der Transmission durch die Struktur mit einem zweiten zu empfangen. Das empfangene Signal wird zeitlich invertiert und danach vom zweiten Wandler zum ersten emittiert und dort erneut empfangen. Im Fall von ungeschädigten Strukturen liegt ein linearer Wellenleiter vor, so dass am ersten Wandler wiederum das Ausgangssignal empfangen wird. Dies ist jedoch bei geschädigten Strukturen z.B. infolge Reibung nicht der Fall. Die praktische Realisierung erfordert die Kenntnis von Übertragungsfunktionen (Greensche Funktionen) der Struktur, die experimentell, durch Finite Elemente Methoden [10], finite Differenzen [13] oder semianalytisch [14] ermittelt werden können.

Abb. 7 zeigt ein Beispiel zur Anwendung des Time-Reversal-Verfahrens am Beispiel einer Platte aus faserverstärktem Kunststoff mit Kreuzverbund. Der Aktor  $\Omega$  links unten in Abb. 7a erzeugt Lamb-Wellen, die an den rot markierten Sensorpunkten mit Hilfe eines Laservibrometers berührungslos aufgezeichnet werden. Zeitlich invertierte Signale dienen dann an den Sensorpunkten eines Strukturmodells als Eingangsdaten für das semianalytische Time-Reversal-Verfahren [15]. Die in Abb. 7b und 7c dargestellten Richtcharakteristiken zeigen den Ort des Schadens und lassen eine grobe Aussage über dessen Größe zu.

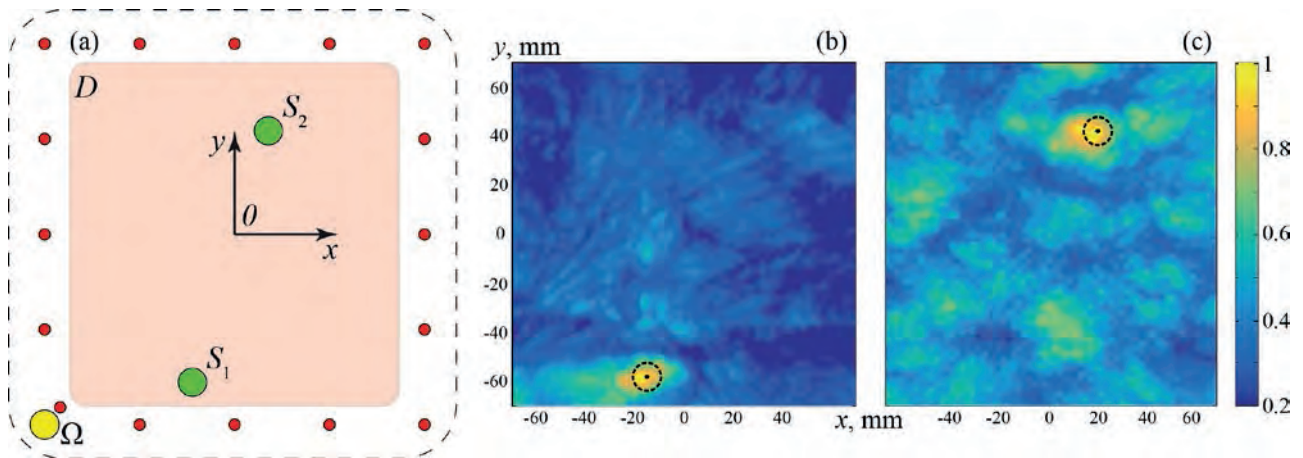


Abb. 7: (a) Darstellung des Probekörpers für die Validierung des Time-Reversal-Verfahrens; (b) und (c) Richtcharakteristiken für Schäden an den Positionen  $S_1$  und  $S_2$ . Der reale Schaden ist hinsichtlich Ort und Größe durch einen gestrichelt dargestellten Kreis gekennzeichnet.

## Ausblick

Die hier aufgezeigten Methoden der Strukturüberwachung können zukünftig dazu beitragen, faserverstärkte Kunststoffe im Betrieb sicherer zu machen, die Verfügbarkeit dieser Strukturen zu erhöhen und damit den Anforderungen des Leichtbaus weiter Rechnung zu tragen. Weitere Forschungsarbeit wird zu leisten sein, um die Nutzung einer Struktur dem diagnostizierten Schaden anzupassen. Die Entscheidung über das Ausmaß der schadensbedingten Einschränkung erfolgt heute intuitiv und sollte zukünftig wissenschaftlich basiert sein.

## Danksagung

Die Autoren danken den Arbeitsgruppen um U. Gabbert und G. Mook (Magdeburg), T. Schuster (Saarbrücken) und M. Sinapius (Braunschweig) für zahlreiche Diskussionen während der gemeinsamen Forschungsarbeit sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung (PAK357). Sie danken weiterhin der Alexander von Humboldt-Stiftung, dem Deutschen Akademischen Auslandsdienst sowie dem German-Russian Interdisciplinary Science Center für die finanzielle Unterstützung von A. Eremin.

## Literatur

- [1] R. Lammering, U. Gabbert, T. Schuster, M. Sinapius: Lamb-wave based structural health monitoring of polymer composites. Springer, 2017.
- [2] Lord Rayleigh: On waves propagating along the plane surface of an elastic solid. Proc. Lond. Math. Soc., 17, 4–11, 1885.
- [3] K. F. Graff: Wave motion in elastic solids. Oxford University Press, 1975.
- [4] H. Lamb: On waves in an elastic plate. Proc. Royal Soc. London A, 93, 114–128, 1917.
- [5] B. A. Auld: Acoustic fields and waves in solids. John Wiley & Sons, 1973.
- [6] M. N. Neumann, B. Hennings, R. Lammering: Quasi-continuous mode conversion of Lamb waves in CFRP plates due to inhomogeneity on micro- and mesoscale. Proc. 7th Europ. Works. Struct. Health Monit., 8–11 July 2014, Nantes, France, 2220–2227, 2014.
- [7] A. Eremin, E. Glushkov, N. Glushkova, R. Lammering: Evaluation of effective elastic properties of layered composite fiber-reinforced plastic plates by piezoelectrically induced guided waves and laser Doppler vibrometry. Comp. Struct., 125, 449–458, 2015.
- [8] J. Zhao, J. Qiu, H. Ji, Reconstruction of the nine stiffness coefficients of composites using a laser generation based imaging method. Comp. Sc. Techn., 126, 27–34, 2016.
- [9] B. Hennings, R. Lammering: Material modeling for the simulation of quasi-continuous mode conversion during Lamb wave propagation in CFRP-layers. Composite Structures, 151, 142–148, 2016.
- [10] B. Hennings, R. Lammering, U. Gabbert: Numerical simulation of wave propagation using spectral finite elements. CEAS Aeronaut. J., 4, 3–10, 2013.
- [11] N. Rauter, R. Lammering, T. Kühnrich: On the detection of fatigue damage in composites by use of second harmonic guided waves. Composite Structures, 152, 247–258, 2016.
- [12] C.H. Wang, J.T. Rose, F.-K. Chang: A synthetic time reversal imaging method for structural health monitoring. Smart Mater. Struct., 13, 415–423, 2004.
- [13] Y. Shen, C.E.S. Cesnik: Hybrid local FEM/global LISA modeling of damped guided wave propagation in complex composite structures. Smart Mater. Struct., 25, 095021, 2016.
- [14] E. Glushkov, N. Glushkova, A. Eremin: Forced wave propagation and energy distribution in anisotropic laminate composites. J. Acoust. Soc. Am., 129, 2923–2934, 2011.
- [15] A. Eremin, E. Glushkov, N. Glushkova, R. Lammering: Analytically based time reversal technique for damage localization and characterization in laminate composite structures. Proc. 8th Europ. Works. Struct. Health Monit., 5–8 July 2016, Bilbao, Spain, 8 pp.



**Rolf Lammering**, Prof. Dr.-Ing., studierte von 1975 bis 1982 Bauingenieurwesen an der Universität (jetzt Leibniz Universität) Hannover. Anschließend war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik der Universität Hannover und promovierte mit einer Arbeit in den Bereichen Plastizitätstheorie und numerische Mechanik. Im Jahr 1988 wechselte er an das Institut für Aeroelastik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen und im Jahr 1993 von dort an das DLR-Institut für Strukturmechanik in Braunschweig, wo er Leiter der Abteilung für Adaptive Struktursysteme war. Seit 1996 ist er Professor für Mechanik an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg. Seine Forschungsinteressen liegen auf den Gebieten numerische und experimentelle Mechanik, adaptive Struktursysteme, Structural Health Monitoring, Werkstoffe mit Wandlercharakteristik und Faserverbundwerkstoffe.



**Artem Eremin**, Dr. rer. nat., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mathematik, Mechanik und Informatik der Staatlichen Universität Kuban, Krasnodar, Russland. Er studierte von 2003 bis 2007 Angewandte Mathematik an der gleichen Universität und wurde dort 2011 mit einer Arbeit zur Wellenausbreitung in geschichteten Platten mit Störstellen promoviert. Seit Mitte 2016 ist er als Stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung am Institut für Mechanik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg tätig.



**Bianca Hennings**, Dr.-Ing., absolvierte von 2002 bis 2008 ihr Diplom- und Masterstudium im Bauingenieurwesen an der Hochschule Wismar. Im Anschluss daran war sie am Institut für Mechanik an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig und promovierte 2014 zum Thema der numerischen Simulation des Wellenausbreitungsverhaltens in faserverstärkten Kunststoffplatten unter der Verwendung von spektralen finiten Elementen im Zeitbereich. Sie ist jetzt in einem Industrieunternehmen tätig.



**Natalie Rauter**, MSc., studierte von 2007 bis 2012 Flugzeugbau mit dem Schwerpunkt Entwurf und Leichtbau an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg. Im Anschluss war Sie von 2012 bis 2016 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Mechanik an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg tätig. Sie befasste sich schwerpunktmäßig mit der Detektion von mikrostrukturellen Schädigungen in unidirektionalen Faserverbundstrukturen mittels der nichtlinearen Ausbreitung von Lamb-Wellen. Nach dem Einreichen Ihrer Dissertation ist sie jetzt in einem Industrieunternehmen tätig.



**Mirko Neumann**, Dipl.-Ing. (FH), studierte von 2004 bis 2009 Maschinenbau an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg. Von 2009 bis 2014 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechanik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, wo er sich experimentell und numerisch mit Lamb-Wellen in heterogenen Plattenstrukturen beschäftigte.



**Dr.-Ing. Stefanie Elgeti** ist Oberingenieurin am Lehrstuhl für computergestützte Analyse technischer Systeme (CATS) der RWTH Aachen. Ihr Weg zur Simulationstechnik führte über ein Studium des Maschinenbaus mit der Vertiefung „Produktionstechnik für Mikrosysteme“. Seit ihrer Promotion im Jahr 2011 im Bereich der numerischen Auslegung von Formwerkzeugen leitet sie eine Arbeitsgruppe zum Thema Produktionstechnik am CATS, die aktuell sechs Mitarbeiter umfasst. Weiterhin fungiert sie als stellvertretende Leiterin des CATS, als Nachwuchsgruppenleiterin in der ExIni-Graduiertenschule Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES), und leitet auch den Arbeitskreis Modellierung und Simulation des Sonderforschungsbereichs 1120 Präzision aus der Schmelze. Die Hauptforschungsthemen der Gruppe sind Modellierung, Simulation und Optimierung im Bereich der urformenden Fertigungsverfahren, mit besonderem Fokus auf Spline-basierten Finite-Elemente-Methoden. Seit 2016 ist Stefanie Elgeti Co-Chairperson der ECCOMAS Young Investigators' Committee (EYIC).

Arbeitsgebiet von Frau Elgeti ist die numerische Auslegung und Simulation von werkzeuggebundenen Fertigungsverfahren, hierbei insbesondere die Formwerkzeug- und Prozessoptimierung. Konkretisiert man dies für den Bereich der Kunststoffverarbeitung, so geht es um die strömungstechnische Gestaltung von Fließkanälen komplexer Kunststoffprofilwerkzeuge, wie z. B. solcher zur Herstellung von Fensterprofilen mit äußerst komplizierten Querschnitten. Die auslegungstechnische Herausforderung liegt hierbei darin, dass ein Plastifizierextruder eine Kunststoffschmelze bereitstellt in Form eines meist runden Kunststoffstranges (Rohrströmung), welcher nun in einem nachfolgenden Fließkanal umgeformt und umgelenkt werden muss, um letztlich mit möglichst gleicher lokaler Austrittsgeschwindigkeit an allen Stellen aus dem komplexgeformten Austrittsquerschnitt des Werkzeugs auszutreten. Dies kann letztendlich nur erreicht werden, wenn jedes den Extruder verlassende Kunststoffteilchen

den gleichen Fließwiderstand auf jedem beliebigen Weg durch das Werkzeug vor sich sieht, egal ob es durch enge oder weite Spalte letztlich ausgeformt wird. Um dies zu erreichen ist die Erfahrung eines gestandenen Werkzeugbauers notwendig; dies soll heißen, dass solche Werkzeugauslegung noch bis heute oft händisch, d.h. im Sinne von „trial-and-error“ erfolgt, verbunden mit hohem Zeit- und Materialaufwand.

Ziel von Frau Dr. Elgeti ist es nun, diesen erfahrungsbasierten Auslegungsprozess als computergestützten Prozess zu automatisieren und so, in Einklang mit Industrie 4.0, einen Paradigmenwechseln in der Fertigungstechnik herbeizuführen [2, 6, 8]. Eine automatisierte Auslegung minimiert die Auslegungskosten, was, insbesondere in einem Hochlohnland wie Deutschland, als entscheidender Punkt erachtet wird, da dort die Lohnstruktur einen erhöhten Innovationsdruck ausübt, ohne den sich manche Industrie nicht im Land halten ließe. Das Forschungsgebiet von Frau Dr. Elgeti

beschränkt sich dabei nicht auf computergestützte Auslegung im Sinne bloßer Parameterstudien. Vielmehr steht die automatische Identifikation der Werkzeug- und Prozessparameter, welche ein gewünschtes Ergebnis – hier die Produkteigenschaften wie Abmessungen, Wanddickenverteilungen, lokales Schwellen – erzielen, im Vordergrund. Dieses Themengebiet der inversen Probleme, welche schon länger ein Feld der numerischen Mathematik darstellen, hält nun langsam Einzug in die Produktionstechnik. Dies liegt nicht zuletzt darin begründet, dass die Skepsis, mit der die industriellen Anwender diesen neuen Technologien gegenüberstehen, immer noch hoch ist. Hier konnte Frau Dr. Elgeti als Fertigungstechnikerin ansetzen und im Rahmen von gemeinsam mit Industriepartnern durchgeführten Validierungsexperimenten Vertrauen schaffen. Als Vorteil erwies sich dabei, dass die von ihr entwickelten und verwendeten numerischen Methoden alle CAD-nah arbeiten [1, 7], was eine unmittelbare Eingliederung der Ergebnisse in den Fertigungsprozess z.B. solcher Extrusionswerkzeuge gewährleistet. Die entwickelten Methoden haben aufgrund ihrer allgemeinen Formulierung ein breites Anwendungsfeld innerhalb der Produktionstechnik, aber auch darüber hinaus. Experimentell nachgewiesen wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Methoden bisher in der Kunststoffprofilextrusion; eine Validierung im Alu-Druckguss wird aktuell bearbeitet. Betrachtet man das wissenschaftliche Umfeld zu den Arbeiten von Frau Dr. Elgeti, so befinden sich zurzeit diverse kommerzielle Softwaresysteme auf dem Markt (beispielsweise Fluent oder Polyflow), welche die Berechnung der Strömung durch Kunststoffprofilextrusionswerkzeuge ermöglichen. Diese Programme, welche über sehr robuste numerische Lösungsverfahren und eine umfassende Auswahl an Materialmodellen verfügen, werden sowohl in der industriellen Anwendung als auch teilweise in der Forschung verwendet, um die händische Werkzeugauslegung zu unterstützen

## STECKBRIEF



– letztendlich als Ersatz der Experimente am Extruder, aber weiterhin mit manueller Auswertung der Ergebnisse. Einige Forschergruppen beschäftigen sich seit ca. fünfzehn Jahren darüberhinausgehend aber auch mit der automatisierten Werkzeugauslegung. Federführende Arbeiten wurden hier insbesondere von den Gruppen um Prof. Sienz (Swansea University), Prof. Nóbrega (Minho University), Prof. Toretelli gemeinsam mit Prof. Tucker (beide University of Illinois), Prof. Wortberg (Universität Duisburg), Prof. Hopmann

und Prof. Michaeli (IKV Aachen), sowie Prof. Keunings gemeinsam mit Prof. Crochet (Ecole Polytechnique de Louvain) publiziert.

Die Arbeiten zur automatisierten Auslegung von Extrusionswerkzeugen lassen sich in fünf Schwerpunkte unterteilen: (1) Materialmodellierung, (2) numerische Lösung des gewählten Materialmodells, (3) Geometriebeschreibung, (4) Zielfunktional, (5) Optimierungsalgorithmen. Die Expertise von Frau Dr. Elgeti liegt in den Schritten (2) – (4) [3 – 5].

## Literatur

- [1] A. Stavrev, P. Knechtges, S. Elgeti und A. Huerta, Space-Time NURBS-Enhanced Finite Elements for Free-Surface Flows in 2D, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 81:426–450, 2016.
- [2] R. Siegbert, N. Yesildag, M. Frings, F. Schmidt, S. Elgeti, H. Sauerland, M. Behr, C. Windeck, Ch. Hopmann, Y. Queudeville, U. Vroomen, und A. Bührig-Polaczek, Individualized Production in Die-Based Manufacturing Processes Using Numerical Optimization, *International Journal of Advanced Manufacturing*, 80:851–858, 2015.
- [3] S. Elgeti und H. Sauerland, Deforming Fluid Domains Within the Finite Element Method – Five Mesh-Based Tracking Methods in Comparison eingeladener Artikel zu *Archives of Computational Methods in Engineering*, 23:323–361, arXiv: 1501.05878, 2016.
- [4] P. Knechtges, M. Behr und S. Elgeti, Fully-Implicit Log-Conformation Formulation of Constitutive Laws, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 214:78–87, arXiv:1406.6988, 2014.
- [5] L. Pauli, M. Behr und S. Elgeti, Towards Shape Optimization of Profile Extrusion Dies with Respect to Homogeneous Die Swell, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 200:79–87, 2013.
- [6] S. Elgeti, M. Probst, C. Windeck, M. Behr, W. Michaeli und Ch. Hopmann, Numerical Shape Optimization as an Approach to Extrusion Die Design, *Finite Elements in Analysis & Design*, 48:35–43, 2012.
- [7] S. Elgeti, H. Sauerland, L. Pauli und M. Behr, On the Usage of NURBS as Interface Representation in Free-Surface Flows, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 69:73–87, 2012.
- [8] W. Michaeli, C. Windeck, M. Behr, S. Elgeti, M. Probst und M. Nicolai, Automatische Optimierung in der Profilextrusion, *atp edition*, 3:54–61, 2011.

## Kontakt:

Dr. Stefanie Elgeti

Lehrstuhl für computergestützte Analyse technischer Systeme (CATS)

RWTH Aachen University

Schinkelstr. 2

52062 Aachen

Deutschland

elgeti@cats.rwth-aachen.de

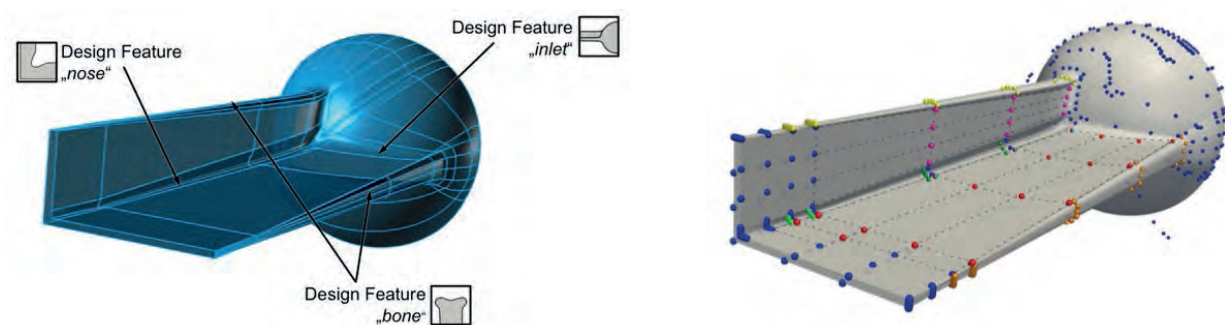


Abb. 1: Extrusionswerkzeug zur Herstellung eines L-Profiles. Das gesamte Werkzeug wird als NURBS-Fläche dargestellt (links). Die Kontrollpunkte werden zu Design Features zusammengefasst um den Designraum einzuschränken und die Fertigbarkeit des optimierten Werkzeugs zu garantieren.

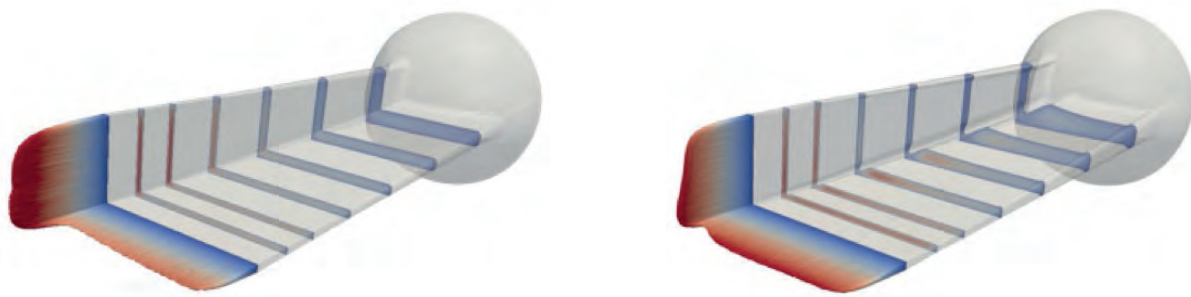


Abb. 2: Die Bilder zeigen die Geschwindigkeitsverteilung am Werkzeugaustritt. Links ist der Anfangszustand, rechts der optimierte Zustand dargestellt.

**Dr. Martin Stoll** studierte Mathematik an der Technischen Universität Chemnitz. Das Diplomstudium beendete er im Jahre 2005 und wechselte anschließend an die University of Oxford, wo er von 2005–2009 promovierte. Im Anschluss wechselte er auf eine Postdoc-Position im Oxford Centre for Collaborative Applied Mathematics. Im Jahre 2010 trat er eine Postdoktorandenstelle am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg an. Seit 2013 leitet er eine MPG W2 Forschungsgruppe. Im Jahr 2016 habilitierte er sich an der Otto-von-Guericke Universität, Magdeburg. Seine Arbeiten befassen sich mit der schnellen und robusten Lösung von Gleichungssystemen aus der Diskretisierung von partiellen Differentialgleichungen.

Bereits in seiner Diplomarbeit an der TU Chemnitz, welche er unter Anleitung von Prof. Peter Benner anfertigte, entdeckte Martin Stoll seine Leidenschaft für numerische lineare Algebra. Er beschäftigte sich darin mit der Entwicklung von Algorithmen zur Berechnung von Eigenwerten von Hamiltonischen Matrizen, welche eine enorme Bedeutung in der Kontrolltheorie haben. Große, schwachbesetzte Matrizen sollten auch während seiner Doktorarbeit in der Numerical Analysis Group an der University of Oxford eine wichtige Rolle spielen. Diese Matrizen stammen dabei aus der Diskretisierung von partiellen Differentialgleichungen mittels Finiter Elemente, wie zum Beispiel den Taylor-Hood Elementen für die Stokes Gleichungen. Die daraus resultierenden schwachbesetzten und typischerweise sehr großen linearen Gleichungssysteme müssen iterativ gelöst werden. Dabei befasste Martin Stoll sich mit der Konstruktion von Vorkonditionierern, welche die Konvergenz iterativer Lösungsverfahren, wie den bekannten CG- oder MINRES-Verfahren beschleunigen und eine gitterunabhängige Konvergenz garantieren. Er erweiterte den von Bramble und Pasciak entwickelten CG Vorkonditionierer, da dieser die Anwendung des CG Verfahrens für nichtsymmetrische Matrizen erlaubte [1]. Ein Privileg der Promotionszeit war die gemeinsame Arbeit mit Prof. Gene Golub von der Stanford University mit welchem er eine gemeinsame Arbeit zur Lösung von adjungierten Gleichungen verfasste [2].

Die Faszination für große Systeme aus der Behandlung von Differentialgleichungen blieb erhalten als Martin Stoll im Oktober 2008 eine Postdoktorandenstelle am neugegründeten Oxford Centre for Collaborative Applied Mathematics finanziert durch die KAUST Universität antrat. Die bereits vorher betrachteten Sattelpunktprobleme, welche aus der Diskretisierung der Stokes-Gleichungen resultierten, entstammten fortan Optimierungsproblemen mit Nebenbedingungen gegeben durch partielle Differentialgleichungen. Dabei entwickelte Martin Stoll zuerst Vorkonditionierer für Systeme mit zusätzlichen Kontrollschranken, welche im

Allgemeinen durch nichtglatte Newtonverfahren behandelt werden. Das Herzstück des Newtonverfahrens liegt im Lösen des linearen Gleichungssystems mittels eines vorkonditionierten Krylovverfahrens.

Es wurde schnell klar, dass die eigentliche Herausforderung im Lösen von Systemen, die aus der Optimierung von zeitabhängigen partiellen Differentialgleichungen (PDE) entstammen, lag. Ein Problem ist die Kopplung von PDE und adjungierter PDE durch die Optimalitätsbedingungen.

Das Entwickeln von optimalen Vorkonditionierern stand dabei im Vordergrund und verfolgte den Ansatz, den dominanten Block der Sattelpunktmatrix zu approximieren und gleichzeitig eine robuste Approximation an das Schurkomplement zu finden [3]. Die von Martin Stoll und seinen Koautoren verfolgte Strategie basierte dabei auf einer Matching-Strategie, die es erlaubte, parameter-robuste Vorkonditionierer zu konstruieren. Dieser „all-at-once“ Ansatz zeigte sich sehr erfolgreich, unterlag aber immer noch dem Fluch der Dimensionalität, denn alle Variablen waren auf dem gesamten Raum-Zeit-Zylinder konstruiert. Mittels eines neu entwickelten low-rank in time Ansatzes gelang es Martin Stoll und Tobias Breiten, die Komplexität des

Raum-Zeit Problems drastisch zu reduzieren [4]. Diese Fortschritte ermöglichten weitere Arbeiten, denn das Überwinden des Fluches der Dimensionalität spielt eine noch größere Rolle, wenn die Dimensionalität der Gleichungssysteme weiter steigt. Dies ist von großer Bedeutung in vielen Bereichen des wissenschaftlichen Rechnens, wie zum Beispiel in der Quantifizierung von Unsicherheiten mittels der stochastischen Galerkinmethode (SGFEM), die auf hochdimensionale Systeme in strukturierter Tensorform führt. Hier gelang es Martin Stoll und seinen Koautoren sowohl Simulations- als auch Optimierungsprobleme zu lösen. Es kommen nicht nur neu entwickelte Tensorformate, wie das extrem erfolgreiche Tensor Train Format zum Einsatz, sondern ein Zusammenspiel von Diskretisierung der PDE mittels geeigneter FEM Ansätze, Diskretisierung der zeitlichen Komponente und der stochastischen Variablen. Bekannte Verfahren,

## STECKBRIEF



wie Krylovunterraumverfahren werden kombiniert mit Multilevelalgorithmen vom geometrischen oder algebraischen Typ [5]. Die Kombination all dieser Komponenten und die praktische Relevanz strahlen eine große Faszination aus.

Weitere Interessengebiete Martin Stolls sind im Bereich des Computational Science and Engineering zu finden, beispielsweise das schnelle Lösen von Problemen aus der Diskretisierung von Phasenfeldmodellen, wie den Allen-Cahn oder Cahn-Hilliard Gleichungen. Hierbei gilt es eine geeignete Diskretisierung in Kombination mit robusten Vorkonditionierern zu entwickeln [6,7]. Außerdem interessiert sich Herr Stoll für die numerische Behandlung von fraktionalen Differentialgleichungen und für das Lösen von Eigenwertproblemen aus der Betrachtung von statistisch inversen Problemen.

Weitere Informationen:

[www.mpi-magdeburg.mpg.de/nds](http://www.mpi-magdeburg.mpg.de/nds)

## Literatur

- [1] Stoll M, Wathen A. Combination preconditioning and the Bramble-Pasciak  $\hat{+}$  preconditioner. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*. 2008;30(2):582-608.
- [2] Golub GH, Stoll M, Wathen A. Approximation of the scattering amplitude and linear systems. *Electronic Transactions on Numerical Analysis*. 2008;31:178-203.
- [3] Pearson JW, Stoll M, Wathen AJ. Regularization-robust preconditioners for time-dependent PDE constrained optimization problems. *SIAM J Matrix Anal Appl*. 2013;33:1126-52.
- [4] Stoll M, Breiten T. A low-rank in time approach to PDE-constrained optimization. *SIAM J Sci Comput*. 2015;37(1):1--29.
- [5] Benner P, Dolgov S, Onwunta A, Stoll M. Low-rank solvers for unsteady Stokes-Brinkman optimal control problem with random data. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2016;304:26-54.
- [6] Bosch J, Stoll M. Preconditioning for vector-valued Cahn-Hilliard equations. *SIAM J Sci Comput* 2015;37(5):216-43.
- [7] Bosch J, Stoll M, Benner P. Fast solution of Cahn-Hilliard Variational Inequalities using Implicit Time Discretization and Finite Elements. *Journal of Computational Physics*. 2014;262:38-57.



Abb. 1: Simulation einer aufsteigenden Blase mittels eines gekoppelten Navier-Stokes-Cahn-Hilliard Modells.

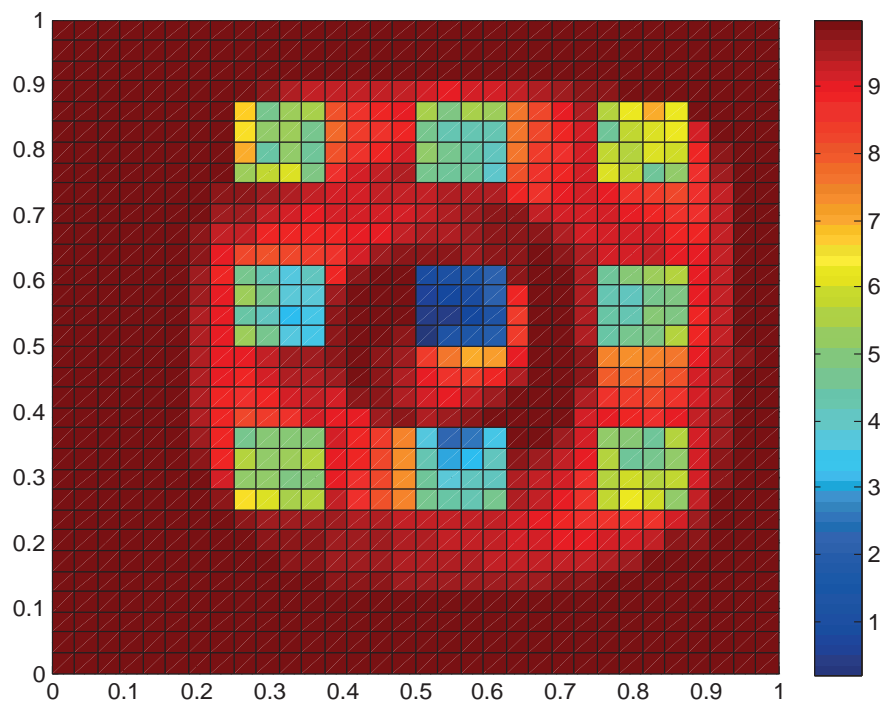


Abb. 2: Fortpflanzung von Unsicherheiten mittels Bayes'scher Inferenz für die Konvektions-Diffusions-Gleichung.

# RUNDBRIEF READERS

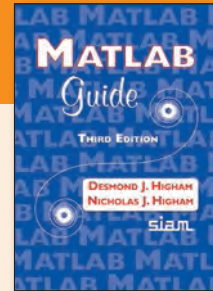
## Save 30% on these SIAM titles:

### MATLAB Guide, Third Edition

Desmond J. Higham and Nicholas J. Higham

This third edition of *MATLAB Guide* completely revises and updates the best-selling second edition and is more than 25 percent longer. The book remains a lively, concise introduction to the most popular and important features of MATLAB® and the Symbolic Math Toolbox. Key features are a tutorial in Chapter 1 that gives a hands-on overview of MATLAB, a thorough treatment of MATLAB mathematics, including the linear algebra and numerical analysis functions and the differential equation solvers, and a web page that provides example program files, updates, and links to MATLAB resources.

2016 • Approx. xxvi + 476 pages • Hardcover • 978-1-611974-65-2 • List \$62.00 • RUNDBRIEF Readers \$43.40 • Order Code OT150



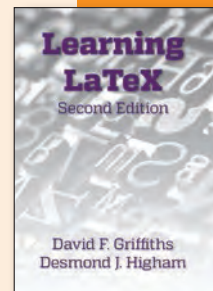
### Learning LaTeX, Second Edition

David F. Griffiths and Desmond J. Higham

*“For years, my only system for training students to LaTeX has been to hand them a copy of Learning LaTeX and to tell them to start writing. This has worked without fail for dozens of students. I never would have thought it possible, but the new edition is a substantial improvement with the additional coverage of BiBTeX, Beamer, and posters. Learning LaTeX should be handed to new graduate students in mathematical sciences along with their office key and ID card.”*

— Don Estep, Colorado State University

2016 • x + 103 pages • Softcover • 978-1-611974-41-6 • List \$29.00 • RUNDBRIEF Readers \$20.30 • OT148



### Inverse Scattering Theory and Transmission Eigenvalues

Fioralba Cakoni, David Colton, Houssein Haddar

*CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 88*

Inverse scattering theory is a major theme of applied mathematics, and it has applications to such diverse areas as medical imaging, geophysical exploration, and nondestructive testing. The inverse scattering problem is both nonlinear and ill-posed, thus presenting particular problems in the development of efficient inversion algorithms. The authors begin with a basic introduction to the theory, then proceed to more recent developments, including a detailed discussion of the transmission eigenvalue problem.

2016 • x + 193 pages • Softcover • 978-1-611974-45-4 • List \$59.00 • RUNDBRIEF Readers \$41.30 • CB88



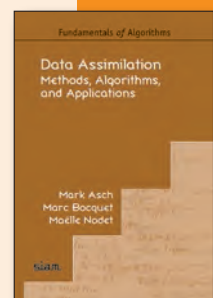
### Data Assimilation: Methods, Algorithms, and Applications

Mark Asch, Marc Bocquet, Maëlle Nodet

*Fundamentals of Algorithms 11*

This book places data assimilation into the broader context of inverse problems and the theory, methods, and algorithms that are used for their solution. Readers will find a comprehensive guide that is accessible to nonexperts and the latest methods for advanced data assimilation, combining variational and statistical approaches.

2016 • xviii + 306 pages • Softcover • 978-1-611974-53-9 • List \$84.00 • RUNDBRIEF Readers \$58.80 • FA11



Be sure to enter code “BKGM17” to get special discount price.

**siam** SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS

TO ORDER, SHOP ONLINE AT [bookstore.siam.org](http://bookstore.siam.org).

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

Or send check or money order in US dollars to: SIAM, Dept. BKGM17 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA.

Members and customers outside North America can order SIAM books through Cambridge University Press at [www.cambridge.org/siam](http://www.cambridge.org/siam).

1/17

# ORDER ONLINE: BOOKSTORE.SIAM.ORG

JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

# ANALYSIS PARTIELLER DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Helmut Abels

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: Helmut Abels (Vorsitzender), Robert Denk, Joachim Escher, Harald Garcke, Dorothee Knees (stellvertretende Vorsitzende), Matthias Röger, Guido Schneider (stellvertretender Vorsitzender), Christian Schmeiser und Marita Thomas.

Anträge auf Aufnahme in den Fachausschuss können jederzeit an den Vorsitzenden (Helmut Abels, e-mail: Analysis.PDG@ur.de) gestellt werden. Genauere Informationen findet man auf der WWW-Seite des Fachausschusses.

Im vergangenen akademischen Jahr waren unsere Mitglieder an der Organisation folgender Konferenzen, Workshops und Schulen beteiligt:

- Am 26. - 28. September 2016 fand an der Technischen Universität Dortmund das vierte Jahrestreffen des Fachausschusses mit 44 Teilnehmern statt (Organisation: Matthias Röger). Die Vortragsthemen reichten von (stochastischer) Homogenisierung über Modelle für komplexe Fluide bis hin zu dispersiven Gleichungen. Des Weiteren organisierte Guido Schneider zusammen mit Hannes Uecker die Sektion „Applied Analysis“ auf der gemeinsamen Jahrestagung der DMV und GAMM.
- Vom 30. November - 4. Dezember 2015 fand am WIAS in Berlin die Konferenz „PDE 2015 – Theory and Applications of Partial Differential Equations“ statt (Organisation: H.C. Kaiser, D. Knees, A. Mielke, J. Rehberg, E. Rocca, M. Thomas, E. Valdinoci).
- In der Woche vom 14. - 19. Februar 2016 gab es zwei Winterschulen zu den Themen „Calculus of Variations in Physics and Materials Science“ (Würzburg, Organisation: A. Schlömerkemper, B. Benesova) und „Geometric Evolution Equations“ (Regensburg, Organisation: H. Abels, G. Dolzmann, H. Garcke).

- Vom 22. - 26. Februar 2016 wurde ein ERC Workshop „Modeling materials and fluids using variational methods“ am WIAS Berlin veranstaltet (Organisation: A. Mielke und E. Rocca).
- Außerdem war an der RWTH Aachen am 9./ 10. Mai das Abschlusskolloquium des SPP 1506 „Transport Processes at Fluidic Interfaces“.
- In Prag wurden die Schule über Evolutionsgleichungen „EVEQ 2016“ vom 11. - 15. Juli von M. Bulíček, E. Feireisl, P. Krejčí, J. Málek und O. Kreund sowie der Workshop mit Sommerschule „Fluids under Pressure“ vom 29. August - 2. September von Š. Nečasová, T. Bodnár und G.P. Galdi organisiert.
- In Telc, Tschechische Republik, fand vom 27. - 30. April der Workshop „Regularity theory for elliptic and parabolic systems and problems in continuum mechanics“ statt (Organisation: E. Acerbi, M. Bulíček, N. Fusco, J. Málek).

Für das nächste Jahr sind folgende Aktivitäten, an denen Mitglieder unseres Fachausschusses beteiligt sind, geplant:

- Das fünfte Jahrestreffen ist für den 27. - 29. September 2017 an der Technischen Universität Eindhoven, Niederlande, geplant (Organisation: Mark Peletier). Die Organisation der Sektion „Applied Analysis“ auf der GAMM-Jahrestagung 2017 hat unser Mitglied Marita Thomas zusammen mit Maria Neuss-Radu übernommen.
- Am 25. November 2016 wird in Kassel ein eintägiger Workshop „FerroDay 2016 - Modelling and Analysis of Ferrofluids“ stattfinden (Organisation: Mark Groves und Athanasios Stylianou).
- Für den 04. - 06. Oktober 2017 ist ein Workshop über „Homogenization Theory and Applications“ am WIAS in Berlin geplant (Organisation: S. Reichelt, M. Heida, A. Caiazzo, B. Schweizer).

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

## ANALYSIS VON MIKROSTRUKTUREN



Georg Dolzmann

Die Mitglieder des GAMM-Fachausschusses trauern um ihren Vorsitzenden, Kollegen, Mitstreiter und Freund Prof. Dr.-Ing. Christian Miehe. Er verstarb am 14. August 2016 an einer Krebserkrankung.



Christian Miehe

Christian Miehes Wirken war geprägt durch grundlegende Beiträge im Bereich der computerorientierten Mechanik. Er entwickelte effiziente und elegante numerische Verfahren für die konsistente Beschreibung komplexen Materialverhaltens und lieferte wegweisende Beiträge zum Grundverständnis physikalischer Phänomene. Er war ein begnadeter Autor zahlreicher Publikationen und ein brillanter sowie international anerkannter Wissenschaftler. Als passionierter Entwickler innovativer und flexibler Grundstrukturen trug er substantiell zur Weiterentwicklung der nichtlinearen Kontinuumsthermodynamik mit Anwendungen in der Materialtheorie bei. Charakteristisch für seine Arbeiten ist eine anspruchsvolle Kombination aus physikalischer Exaktheit und mathematischer Strenge, welche die computerorientierte Mechanik die letzten Jahrzehnte mit gestaltet und vorangetrieben hat.

Wir werden Christian Miehe als engagierten Kollegen, Freund und Wissenschaftler in würdiger Erinnerung behalten.

Die Mitglieder des Fachausschusses Mikrostrukturen

Der Fachausschuss „Analyse von Mikrostrukturen“ fördert die mathematische Modellierung mikromechanischer Phänomene sowie deren Analyse und numerische Simulation. Die Wechselwirkung von Mechanismen auf unterschiedlichen Skalen erfordert eine tiefere Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den Disziplinen der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie der Mathematik, da einerseits viele Fragen der Modellierung nicht geklärt sind und andererseits das Potential moderner mathematischer Methoden wie Homogenisierung und Relaxierung noch nicht angemessen in Anwendungen eingeht. Die Kommunikation, Weiterentwicklung und Verfeinerung dieser Methoden werden im Fachausschuss durch koordinierte Forschungsplanung sowie durch Seminare, Tagungen und Vorträge vorangetrieben. Im Jahr 2016 haben wir dieses Ziel beispielhaft durch die folgenden Aktivitäten verfolgt:

- 15th GAMM-Seminar on Microstructures in Paris, Organizers: Gilles Francfort and Christian Miehe
- ERC-Workshop „Modeling Materials and Fluids using Variational Methods“, Organizers: Alexander Mielke and Elisabette Rocca, WIAS Berlin
- Hauptvortrag von Ben Schweizer auf der gemeinsamen Tagung der DMV und der GAMM an der TU Braunschweig mit dem Titel „Resonance phenomena of small objects and the construction of meta-materials with astonishing properties“
- CENTRAL Summerschool „Analysis and Numerics for Partial Differential Equations“ Organizer: Carsten Carstensen, HU Berlin; keynote presentations by Carsten Carstensen, Elisa Davoli, Alexander Mielke and Tomáš Roubiček.

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES COMPUTATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING (CSE)



Andrea Walther



Oliver Röhrle



Matthias Bolten

Der Fachausschuss „Computational Science and Engineering“ wurde 2012 gegründet und widmet sich der immer stärker werdenden Verknüpfung von Mathematik, Ingenieur- bzw. Naturwissenschaften und Informatik bei der Simulation von anwendungsrelevanten Problemen. Die Aktivitäten zielen daher vor allem auf gemeinsame Diskussionen und Kooperationen der beteiligten Fachdisziplinen ab.

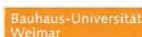
Im Rahmen der 87. GAMM-Jahrestagung, die dieses Jahr gemeinsam mit der DMV in Braunschweig ausgerichtet wurde, trafen sich die Mitglieder des FA CSE am 09. März 2016 zu einem Mitgliedertreffen. Es wurde über zukünftige Aktivitäten des Fachausschusses diskutiert. Als Resultat der Diskussionen fand am 08. und 09. September ein Workshop des Fachausschusses an der Universität Kassel statt, der von Matthias Bolten organisiert wurde. Das Thema des Workshops wurde bewusst offengehalten, sodass 20 Teilnehmer zwei Tage lang die Herausforderungen an CSE in verschiedensten Anwendungs- und Methodengebieten diskutierten. Dies umfasst z.B. mathematische Ansätze zur Lösung von chemo-elektromechanischen Modellen, neue Herausforderungen im Gebiet der Fluid-Struktur-Interaktion oder die neuesten Entwicklungen in der parallelen Zeitintegration.

Nach dem Kick-off Workshop an der TU München im Jahr 2012 und dem Workshop „Education in CSE“, der 2014 in Rostock stattfand, sowie dem diesjährigen Workshop, hat sich Robert Speck vom Institute for Advanced

Simulation am Forschungszentrum Jülich bereiterklärt, nächstes Jahr den nächsten FA CSE Workshop in Jülich zu organisieren (voraussichtlich 23. – 24. Oktober 2017). Als übergeordnetes Thema des nächsten Workshops, welches viele Wissenschaftler innerhalb dieses Fachausschusses verbindet, wurde der Bereich „Kopplung“ identifiziert und ausgewählt. Eine Einladung mit näheren Details erfolgt noch zeitnah über den Emailverteiler des FA CSE.

Außerdem findet vom 27. Februar bis zum 3. März 2017 die SIAM CSE in Atlanta, Georgia in den USA statt. Traditionell sind auf dieser Tagung auch immer wieder viele Wissenschaftler aus dem deutschsprachigen Raum, sodass wir wie in den letzten Jahren wieder ein gemeinsames Abendessen planen. Nähere Details werden noch bekannt gegeben. Darüber hinaus gab es noch weitere mit SIAM verbundene Aktivitäten. Zum einen wurde auch unter Beteiligung von Mitglieder des FA CSE der SIAM EESI-2 CSE REPORT: „Research and Education in Computational Science and Engineering“ verfasst und veröffentlicht. Zum anderen kandidiert Andrea Walther für das Amt des Program Direktors der SIAM Activity Group CSE, sodass bei einer Wahl eine noch stärkere Zusammenarbeit mit den Mitgliedern dieser Activity Group möglich ist.

Weitere News und Informationen zu Aktivitäten aus dem Bereich CSE gibt es jederzeit auf der FA CSE Homepage unter [www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse](http://www.uni-stuttgart.de/gamm/fa-cse).



**88<sup>th</sup> Annual Meeting**  
of GAMM

March 6-10, 2017  
Ilmenau@Weimar, Germany

**2017**



## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES DATA-DRIVEN MODELING AND NUMERICAL SIMULATION OF MICRO- STRUCTURED MATERIALS (AG DATA)



Stefan Diebels



Felix Fritzen

Der Gründung des neuen Fachausschusses „Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials“ (AG Data) wurde auf der GAMM-Jahrestagung in Braunschweig beschlossen. Die konstituierende Sitzung erfolgte im Rahmen eines ersten Workshops, der am 26./27. September an der Universität Stuttgart stattfand und an dem etwa 30 Personen teilnahmen (15 Vorträge).

Der Fachausschuss verfolgt das Ziel, die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen mikrostrukturierter Werkstoffe auf Basis von Mikrostrukturdaten zu ermitteln. Dazu ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Mathematikern, Mechanikern und Materialwissenschaftlern erforderlich. Der Fachausschuss sucht daher explizit die Kooperation mit anderen Verbänden, beispielsweise der DGM, um auch den Austausch mit Kollegen aus den Materialwissenschaften zu stärken.

Basis der Untersuchungen sind einerseits Mikrostrukturdaten aus dreidimensionalen bildgebenden Verfahren, wie etwa Röntgentomographie oder Serienschnittverfahren, und andererseits Materialparameter, die lokal für die Einzelphasen der jeweiligen Mikrostrukturen ermittelt werden. Zur Bestimmung der makroskopischen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen müssen entsprechende mechanische Modelle für die Einzelphasen und deren Interaktion hinterlegt werden, die dann numerisch gelöst werden. Dies kann sowohl auf der Geometrie der real bestimmten Mikrostruk-

tur erfolgen als auch auf Basis stochastischer Modelle, die es gestatten, die wesentlichen geometrischen Merkmale der Mikrostruktur künstlich zu generieren. Nach einer Validierung der Einzelmodelle wird auf dieser Basis auch eine virtuelle Materialentwicklung möglich, bei der die optimale Mikrostruktur eines Werkstoffs ermittelt wird, um bestimmte makroskopische Eigenschaften zu erhalten. Auch andere Aspekte der datenorientierten Mehrskalen- und Materialmodellierung sind Bestandteil der Aktivitäten im Fachausschuss. So können etwa durch die systematische Erfassung und Auswertung von Daten wertvolle Informationen für die Modellierung und Simulation gewonnen werden. Dabei werden zur Planung gezielter Messreihen auch mechanische Systemkenntnisse und spezielle Simulationsergebnisse verwendet, was die Verflechtung der verschiedenen Disziplinen unterstreicht.

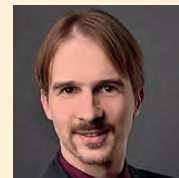
Der nächste Workshop des Fachausschusses ist für den 18./19. Mai 2017 in Karlsruhe geplant (Organisation: Thomas Böhlke). Weitere mittelfristig geplante Aktivitäten sind die Organisation einer Sommerschule zum Schwerpunktthema sowie die Beantragung eines Minisymposiums auf der GAMM-Jahrestagung 2018.

Weitere Informationen zum Fachausschuss und zu aktuellen Aktivitäten gibt es unter [www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data](http://www.mechbau.uni-stuttgart.de/EMMA/ag-data).

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES OPTIMIERUNG MIT PARTIELLEN DIFFERENTIALGLEICHUNGEN



Roland Herzog



Winnifried Wollner

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

Mitglieder des Fachausschusses waren maßgeblich an der erfolgreichen Einwerbung des DFG-Schwerpunktprogramms 1962 „Non-smooth and Complementarity-based Distributed Parameter Systems: Simulation and Hierarchical Optimization“ beteiligt.

Das Treffen des FA fand 2016 im Rahmen des Workshops „Optimal Control meets Inverse Problems“ im September an der Universität Duisburg-Essen statt. Mitglieder des FA haben an zahlreichen Konferenzen und Workshops teilgenommen und ebensolche Veranstaltungen mitorganisiert. Zu nennen sind hier insbesondere:

- der Workshop „Optimal Control and Inverse Problems“ (OCIP) an der TU München,
- der Workshop „Optimal Control meets Inverse Problems“ an der Universität Duisburg-Essen,
- das Finite-Elemente-Symposium an der TU Chemnitz,
- die Organisation von Minisymposien und Sektionen auf der Jahrestagung der GAMM in Braunschweig sowie
- auf der Mafelap in Uxbridge,
- auf der ICCOPT in Tokio und
- auf der European Conference on Computational Optimization (EUCCO) in Leuven.

Eine erweiterte Liste von Veranstaltungen sowie bevorstehende Tagungsaktivitäten für 2017 werden über die Homepage des Fachausschusses <http://www.gamm.optpde.net> bekanntgegeben.

JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE OPERATORTHEORIE



Birgit Jacob



Carsten Trunk

Der Fachausschuss Angewandte Operatortheorie fördert die Kommunikation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, deren Arbeitsgebiet in der Anwendung und Theorie von operatortheoretischen Methoden liegt. Ein Hauptanliegen ist die Weiterentwicklung und Vertiefung operatortheoretischer Methoden in Hinblick auf ihre effiziente Umsetzung und Anwendbarkeit in konkreten physikalischen und ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen. Am 25. Januar 2016 verlieh die TU Dresden auf Beschluss des Senats und der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften an Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. Heinz Langer die Ehrendoktorwürde der TU Dresden in Anerkennung seiner herausragenden Leistungen in der Mathematik, insbesondere für die Forschung in der Operatortheorie in Räumen mit indefiniten Metriken und deren Anwendungen, sowie für seine großen Verdienste um die Entwicklung der Mathematik an der Technischen Universität Dresden.

**Aktivitäten des Fachausschusses 2016:**

- Festkolloquium: 60 Jahre Achim Ilchmann, Elgersburg, 11. – 12. Februar 2016. Organisation: Stephan Trenn (Kaiserslautern) und (lokal) Carsten Trunk, Karl Worthmann (Ilmenau)
- Conference in memory of Boris Pavlov (1936 – 2016), Stockholm University, Sweden, 13 – 15 März 2016. Organisation: Pavel Kurasov, Annemarie Luger (Stockholm)

- Special Session „Spectral Theory and Applications“ at the Nordic Congress of Mathematicians, Stockholm University, Sweden, 17. – 19. März 2016. Organisation: Pavel Kurasov, Annemarie Luger (Stockholm)
- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Joint Annual Meeting Jahrestagung of DMV and GAMM 2016. Organisation: Birgit Jacob (Wuppertal) und Carsten Trunk (Ilmenau)
- Conference on „Analytic and algebraic methods in physics“, Prague, Czech Republic, 06. – 09. Juni 2016. Organisation: David Krejcirik (Prague), Petr Siegl (Bern)
- Workshop on Stability and Control of Infinite-Dimensional Systems, 12. – 14. Oktober 2016, Passau. Organisation: Sergey Dashkovskiy (Würzburg), Birgit Jacob (Wuppertal), Fabian Wirth (Passau).
- Konferenz Operator Theory and Indefinite Inner Product Spaces, Wien, 17. – 20. Dezember 2016. Organisation: Jussi Behrndt (TU Graz), Raphael Pruckner (TU Wien) und Harald Woracek (TU Wien)

**Geplante Aktivitäten des Fachausschusses 2017:**

- Sektion „Angewandte Operatortheorie“, Jahrestagung der GAMM 2017. Organisation: Rainer Picard (TU Dresden) und Sascha Trostorff (TU Dresden).
- WORKSHOP of the GAMM Activity Group Applied Operator Theory, 19. – 20. Mai 2017, TU Hamburg. Organisation: Christian Seifert (TU Hamburg) and Marcus Waurick (Bath).



**GAM MITGLIED WERDEN!**

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

## DYNAMIK UND REGELUNGSTHEORIE



Rolf Findeisen



Stephan Trenn

Dynamik und Regelungstheorie ist ein interdisziplinäres Gebiet, in dem Kollegen verschiedenster Disziplinen, unter anderem der Mathematischen Systemtheorie, der Regelungstechnik, der Nichtlinearen Dynamik und Schwingungen, der Mehrkörperdynamik und verschiedenster Anwendungsfelder aktiv sind. Im Vordergrund des Fachausschusses steht das mathematische Verständnis der Dynamik bei Steuerungen und Regelungen, die sowohl in Grundlagenuntersuchungen als auch in der Praxis zur Anwendung kommen.

Das Hauptanliegen des Ausschusses ist es, die Kommunikation und Zusammenarbeit von WissenschaftlerInnen aus der Mathematik und den Ingenieurwissenschaften zu fördern. Dieses Ziel wird unter Anderem durch halbjährlich stattfindende Workshops, an denen typischerweise 25 Kollegen der Ingenieurwissenschaften und der Mathematik, von Doktoranden bis hin zu emeritierten Kollegen, teilnehmen und aktuellen Forschungsergebnisse und Ergebnisse, sowie auch Trends vorstellen und lebhaft diskutieren. Hierbei ist uns insbesondere die Einbindung und Integration jüngerer Kollegen und Wissenschaftler wichtig.

Weitere Informationen:

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

### Aktivitäten des Fachausschusses

#### ■ Evaluierung des Fachausschusses

Der FA wurde Anfang 2016 positiv evaluiert und die Fortführung durch den GAMM-Vorstand beschlossen. Die nächste Evaluierung findet turnusgemäß 2019 statt.

#### ■ Workshops des Fachausschusses

12. – 13. Mai 2016 an der TUB Freiberg mit 13 Vorträgen und 19 Teilnehmern. Organisatoren: A. Ams (TUB Freiberg), R. Findeisen (OvGU Magdeburg), S. Trenn (TU Kaiserslautern).

21. September im Rahmen des GMA 1.30/1.40 Workshop vom 19. – 23. September 2016, Anif, Österreich; es nahmen zahlreiche Kollegen teil, die sowohl im GAMM-Fachausschuss, als auch bei der GMA aktiv sind.

#### ■ GAMM-Jahrestagung 2016 in Braunschweig

Im Rahmen der Jahrestagung war Brian D. O. Anderson (ANU Canberra, HDU Hangzhou) Hauptvortragender. Er wurde durch den GAMM-Fachausschuss vorgeschlagen. Die Sektion S1 Multi-body dynamics wurde durch Sina Ober-Blöbaum (U Oxford), Robert Seifried (TU Hamburg-Harburg) organisiert und geleitet. Für die Sektion S5 Nonlinear oscillations übernahmen Alexander Fidlin (KIT Karlsruhe) und Dietrich Flokerzi (MPI Magdeburg) die Organisation. Die Sektion Dynamics and control (S20) wurde durch Tobias Breiten (U Graz) und Stefan Streif (TU Chemnitz) organisiert.

Der Fachausschuss war daneben federführend in der Organisation der nachfolgenden Minisymposia beteiligt:

■ Minisymposium MS2: Robust Simulation for Mechanical Systems with Uncertainties

Organisatoren: Michael Hanss, Jörg Fehr (U Stuttgart)

■ Minisymposium MS4: Mechanics and Model Based Control. Organisatoren: Hans Irschik, (JKU Linz), Michael Krommer (U Wien), Kurt Schlacher (JKU Linz)

■ Minisymposium MS7 Control of partial differential equations. Organisatoren: Thomas Meurer (U Kiel), Frank Woittennek (UMIT Hall)

■ Minisymposium YR4: Variational integrators in simulation and control. Organisatoren: Dominik Kern (TU Chemnitz), Thomas Leitz (U Erlangen-Nürnberg)

Daneben organisierten die Mitglieder des Fachausschusses die nachfolgenden Veranstaltungen oder waren bei deren Organisation beteiligt:

■ 10th Elgersburg Workshop 2016, 07. – 11. Februar 2016 in Elgersburg (Thüringen) mit 48 Teilnehmern; Organisatoren: Fritz Colonius (U Augsburg), Achim Ilchmann (TU Ilmenau), Eva Zerz (RWTH Aachen)

■ 8th Elgersburg School 2016, 28. Februar – 05. März 2016 in Elgersburg (Thüringen) mit 23 Teilnehmern aus 5 Ländern; Vortragende: Pierre Rouchon, Alain Salette (Mines ParisTech): Quantum Control; Thomas Meurer, Alexander Schaum (U Kiel): Control of PDEs; Organisatoren: Achim Ilchmann (TU Ilmenau), Timo Reis (U Hamburg), Fabian Wirth (U Passau)

■ 3rd GAMM Juniors' Summer School SMMM: „Geometric Methods in Multi-Body and Structural Dynamics – Modeling, Simulation and Control“ 05. – 09. September 2016 in Grimma mit 15 Teilnehmern.

Vortragende: Kathrin Flaßkamp (U Bremen), Dominik Kern (TU Chemnitz), Martin Arnold (U Halle-Wittenberg), Sina Ober-Blöbaum (U Oxford); Organisatoren: Dominik Kern (TU Chemnitz), Karl Worthmann (TU Ilmenau).

### Geplante zukünftige Aktivitäten:

■ nächstes Treffen des Fachausschusses: voraussichtlich 08./ 09. Juni 2017 KIT Karlsruhe, lokale Organisation: Alexander Fidlin

■ 11. Elgersburg Workshop 2017, vom 19. – 23. Februar 2017, Organisatoren: Lars Grüne (U Bayreuth), Achim Ilchmann (TU Ilmenau), Eva Zerz (RWTH Aachen)

■ 9th Elgersburg School 2017, vom 26. März – 01 April 2017, Themen: Control theory of digitally networked dynamic systems (Jan Lunze, U Bochum), Optimal control techniques (Matthias Gerds, UBW München); Organisatoren: Achim Ilchmann (TU Ilmenau), Timo Reis (U Hamburg), Fabian Wirth (U Passau)

JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

# MATHEMATISCHE SIGNAL- UND BILDVERARBEITUNG (MSIP)



Gitta Kutyniok



Martin Burger

Der Fachausschuss MSIP wurde im April 2012 ins Leben gerufen und hat zurzeit bereits fast 200 Mitglieder aus ca. 25 verschiedenen Ländern. Zur Förderung des Gebietes der "Mathematischen Signal- und Bildverarbeitung", zur Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern/innen und zur Verbesserung von interdisziplinärer Forschung dient die Webseite [www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP](http://www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP) als zentrale Kommunikationsplattform, neben u.a. einem regelmäßigen Newsletter und einem Job-Forum.

Im Jahr 2016 wurden von den Mitgliedern des Fachausschusses folgende Veranstaltungen organisiert:

- Sektion „Mathematical signal and image processing“, Gemeinsame Jahrestagung der DMV-GAMM 2016. Organisation: M. Ehler (Wien) und D. Lorenz (Braunschweig).
- YR Minisymposium „Dedicated regularization for variational image processing“, Gemeinsame Jahrestagung der DMV-GAMM 2016. Organisation: M. Holler (Graz) und M. Möller (München).
- Annual GAMM-MSIP Workshop „Workshop on Mathematical Imaging and Emerging Modalities“, Osnabrück, 27. – 30. Juni 2016. Organisation: C. Brandt, W. Erb, S. Kunis und A. Weinmann (Osnabrück und München).
- Workshop on „Imaging with Modulated/ Incomplete Data“, Graz, Österreich, 22. – 24. September 2016. Organisation: K. Bredies, S. Keeling, R. Stollberger (Graz) und M. Hintermüller (Berlin).
- European Summer School in „Modelling, Analysis and Simulation Crime and Image Processing“, Oxford, UK, 04. – 08. Juli 2016. Organisation: A. Münch, J. Tanner (Oxford) und G. Kutyniok, B. Wagner (Berlin).
- BMS Summer School „Mathematics and Computation in Imaging Science“, Berlin, 25. Juli – 05. August 2016. Organisation: M. Hintermüller und G. Kutyniok (Berlin).
- Winter Retreat on „Compressed Sensing“, Berlin, 07. – 09. Dezember 2016. Organisation: H. Boche (München), G. Kutyniok, M. März (Berlin) und R. Mathar (Aachen).

Desweiteren wurde G. Plonka-Hoch (Göttingen) durch die Emmy-Noether Lecture auf der DMV-GAMM 2016 geehrt, sowie G. Kutyniok (Berlin) durch die Hans Schneider ILAS Lecture auf der IWOTA 2016, St. Louis, USA.

Mitglieder des Fachausschusses waren zusätzlich an der Organisation diverser weiterer Tagungen, Workshops und Minisymposien – zum Teil federführend – beteiligt, u.a. bei der int. Konferenz zu Mathematical Methods for Curves and Surfaces.

Es ist ferner zu berichten, dass drei unserer jungen Mitglieder, S. Keiper (Berlin), J. Nagler (Passau) und R. Reisenhofer (Bremen) im Jahr 2016 durch den Titel eines GAMM-Junior geehrt wurden; sowie dass G. Kutyniok als Vice-Chair der SIAM Activity Group on Imaging Science gewählt wurde.

Für das Jahr 2017 sind u.a. bereits folgende Aktivitäten geplant:

- Workshop on „Shape, Images and Optimization“ (3rd Applied Mathematics Symposium Münster), Münster, 28. Februar – 03. März 2017. Organisation: A. Chambolle (Paris), T. Pock (Graz) und B. Wirth (Münster).
- The 6th International Conference on Scale Space and Variational Methods in Computer Vision, Dänemark, 04. – 08. Juni 2017. Organisation: F. Lauze, Y. Dong, A. B. Dahl (Kopenhagen).
- Gene Golub Summer School 2017 zum Thema „Data Sparse Approximations & Algorithms“, Berlin, 29. Mai – 09. Juni 2017. Organisation: G. Kutyniok, J. Liesen, V. Mehrmann (Berlin).
- Sektion „Mathematical signal and image processing“, Jahrestagung der GAMM 2017. Organisation: J. Lellmann (Lübeck) und G. Steidl (Kaiserslautern).
- YR Minisymposium „Local and nonlocal methods for processing manifold and point cloud data“, Jahrestagung der GAMM 2017. Organisation: R. Bergmann (Kaiserslautern) und D. Tenbrinck (Münster).

Zusätzliche Informationen zu diesen und weiteren Aktivitäten des Fachausschusses sind auf der Seite [www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP](http://www.math.tu-berlin.de/GAMM-MSIP) zu finden. Bei Interesse laden wir Jeden herzlich dazu ein, Mitglied zu werden.

JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

UNCERTAINTY QUANTIFICATION (UQ)



Oliver Ernst



Alexey Chernov

Der FA UQ fördert den wissenschaftlichen Austausch zur Quantifizierung von Unsicherheiten in technisch-wissenschaftlichen Berechnungen und vertritt dieses Fachgebiet innerhalb der GAMM.

Im April 2016 fand in Lausanne die in der Kooperation mit FA UQ organisierte dritte SIAM Conference on Uncertainty Quantification statt. Die Mitglieder des FA UQ wirkten an entscheidenden Stellen mit, sowohl als Co-Chair des Organisationskommittees, lokaler Organisator (Fabio Nobile) und Hauptvortragender (Michael Griebel), als auch bei der Organisation zahlreicher Minisymposien. Im Laufe dieser Konferenz fand das dritte Treffen des FA statt.

Unter aktiven Beteiligung von FA UQ wurde in September 2016 eine Sommerschule Uncertainty Quantification am WIAS, Berlin organisiert, mit Fachvorträgen von Oliver Ernst (U Chemnitz), Howard Elman (U Maryland), Lars Grasedyck (RWTH Aachen), Claudia Schillings (U Warwick), Bruno Sudret (ETH Zürich), Raul Tempone (KAUST) und dem öffentlichen Vortrag von Gerd Gigerenzer (MPI für Bildungsvorschung, Berlin).

Mitglieder des FA UQ nahmen 2016 aktiv teil sowohl an den großen Tagungsreihen der angewandten Mathematik,

darunter die bereits erwähnte SIAM UQ-Tagung in Lausanne, die GAMM-DMV-Jahrestagung in Braunschweig, sowie an speziell auf UQ fokussiertem Workshop UQAW an der King Abdullah University of Science and Technology.

Schließlich fand im September 2016 unter Beteiligung mehrerer Mitglieder des FA UQ das Seminar „Uncertainty Quantification and High Performance Computing“ im Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik statt.

Termine des GAMM-FA UQ in 2017:

- GAMM-Jahrestagung, 06. – 10. März, Ilmenau/Weimar, insbesondere: S15 Uncertainty Quantification YR2 Computational techniques for Bayesian Inverse Problems
- ECCOMAS thematic Conference UNCECOMP 2017, 15. – 17. Juni, Rhodos
- Workshop Frontiers of Uncertainty Quantification in Engineering, 06. – 08. September 2017, München
- ENUMATH, 25. – 29. September 2017, Bergen

JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

ANGEWANDTE UND NUMERISCHE LINEARE ALGEBRA (ANLA)



Jörg Liesen



Stefan Güttel

Der Fachausschuss hat derzeit 103 Mitglieder aus 23 Ländern. Neben seiner Webseite, die mit dem Wechsel der Sprecher zum 01. Januar 2016 umgezogen ist ([www.maths.manchester.ac.uk/gamm-anla](http://www.maths.manchester.ac.uk/gamm-anla)), hat der Fachausschuss seit Anfang 2016 einen Twitter Account (@gamm\_anla) mit aktuell 126 „Followern“. Auf Twitter findet man zum Beispiel Fotos und Themen vieler Sprecher des diesjährigen Fachausschuss-Workshops, der am 15./ 16. September an der TU Hamburg-Harburg stattfand (Organisatoren: Sabine Le Borne und Jens Zemke). Ein spezieller Fokus lag auf Herausforderungen der Linearen Algebra im Bereich des Maschinellen Lernens, was von den Hauptvortragenden Bart de Moor (Leuven), Efstratios Gallopoulos (Patras) und Philipp Henning (MPI Tübingen) näher beleuchtet wurde. Die ANLA-Sektion auf der GAMM-Jahrestagung 2016 in Braunschweig verzeichnete eine hohe Beteiligung mit ins-

gesamt 34 Sprechern. Ebenfalls stark beteiligt waren Mitglieder des Fachausschusses am 7. European Congress of Mathematics, der im Juli 2016 an der TU Berlin stattfand. Tagungsleiter war Fachausschuss-Mitglied Volker Mehrmann.

Die 7. Auflage des von Fachausschuss-Mitgliedern mitorganisierten Workshops über Matrix-Gleichungen und Tensor-Techniken wird in Pisa stattfinden (13. – 14. Februar 2017). Die Fachausschuss-Mitglieder Gitta Kutyniok, Jörg Liesen und Volker Mehrmann organisieren die Gene Golub SIAM Summer School (29. Mai – 09. Juni 2017) zum Thema „Data Sparse Approximations and Algorithms“ ([www3.math.tu-berlin.de/numerik/G2S3/](http://www3.math.tu-berlin.de/numerik/G2S3/)). Der nächste Workshop des Fachausschusses wird von Axel Klawonn an der Universität Köln ausgerichtet (07. – 08. September 2017).

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES

# STOCHASTISCHE OPTIMIERUNG IN DER TECHNIK



Thomas Vietor

Der Antrag auf Durchführung des nächsten „World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization“ WCSMO-12 wurde vom Vorstand der ISSMO bewilligt und die Bewerbung zur Ausrichtung am Standort der TU Braunschweig war damit erfolgreich. Mit Prof. Schumacher (Uni Wuppertal) und Herrn Dipl.-Ing. Sierk Fiebig (TU Braunschweig und Volkswagen) haben die Planungen und Vorbereitungen in mehreren Sitzungen in Braunschweig und Wuppertal begonnen. Prof. Bletzinger (TU München) als Mitantragssteller für die Konferenz hat einen Zuschuss für die Kosten bei der DFG beantragt.

Die im vorherigen Jahr begonnenen Projekte im Rahmen der Open Hybrid Lab Factory (OHLF) wurden fortgeführt und ergänzt. Es wurde das BMBF geförderte Projekt MultiMaK2 durchgeführt, in dem Methoden für Multi-Material-Bauweisen erforscht werden. Ein wesentlicher Teil dieses Projekts ist die Erstellung von Vorgehensmodellen unter Berücksichtigung stochastischer Einflussgrößen. Dies wird weitergehend zur Weiterentwicklung stochastischer Optimierungsverfahren und deren Anwendung führen. Hier sind erste Lösungen erarbeitet und publiziert worden. Die Forschung in der OHLF ist auf 15 Jahre angelegt, im laufenden Jahr wurde die Beantragung der Hauptphase durchgeführt und bewilligt.

In weiteren Forschungsprojekten wird außerdem die Weiterentwicklung von Werkzeugen zur Multi-Material-Topologieoptimierung voran getrieben. Durch die Berücksichtigung der Füge-technik und weiterer Fertigungsrestriktion im Optimierungsmodell soll die Bauteilqualität gesteigert und somit die Entwicklung von Hybridbauteilen erleichtert werden.

Es wurden folgende Konferenzen 2016 organisiert und durchgeführt:

- Advanced Vehicle Energy Concepts and Structures for China (AVECS), 4th Joint Symposium an der TU Braunschweig, 22. – 23. September 2016, mit Be-

teiligung der Tongji Universität, Shanghai, China, der University of Ontario, Canada und Politecnico di Torino, Italy. Teilnahme von 10 Forschern aus den beteiligten Universitäten, Publikation geplant für Q1/Q2 2017.

- Faszination Leichtbau, 24. – 25. Mai 2016 in Wolfsburg. Organisation des Gebietes Konstruktion und Simulation. Teilnahme von ca. 200 Forschern aus Universität und Industrie.  
<http://www.faszination-leichtbau.de/>

Ausgewählte Publikationen im Jahr 2016:

- Falkenberg, Paul; Vietor, Thomas (2016): An extended cost estimation model for a multi-material topology optimization approach. In: Proc. Appl. Math. Mech. 16 (1), S. 685–686. DOI: 10.1002/pamm.201610331.
- Rothe, Sebastian; Ghaffari Mejlaj, Vahid; Langer, Sabine C.; Vietor, Thomas (2016): Optimal adaptation of acoustic black holes by evolutionary optimization algorithms. In: Proc. Appl. Math. Mech. 16 (1), S. 625–626. DOI: 10.1002/pamm.201610301.
- Kleemann, Sebastian; Türck Eiko, Vietor, Thomas (2016): Towards Knowledge Based Engineering for Multi-Material-Design. In: Proceedings of the DE-SIGN 2016 14th International Design Conference, S. 2027–2036. ISSN: 1847-9073.
- Franke, Thilo; Fiebig, Sierk; Sellschopp, Jürgen; Vietor, Thomas (2016): Neue Leichtbaupotentiale durch Integration der Herstellrestriktionen in die Topologieoptimierung am Beispiel Gießen. In: Faszination hybrider Leichtbau. Beiträge zur gleichnamigen Tagung vom 24. und 25. Mai 2016, Mobile-LifeCampus, S. 376–401. ISBN: 978-3-937655-40-6

## JAHRESBERICHT 2016 DES GAMM-FACHAUSSCHUSSES PHASENFELDMODELLIERUNG



Ralf Müller

Der Fachausschuss Phasenfeldmodellierung setzt sich interdisziplinär aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Bereiche Materialwissenschaft, Mathematik und Mechanik zusammen. Neben den klassischen Themen wie Festkörperphasentransformationen und Erstarrungsphänomen finden Phasenfeldformulierungen in neueren Gebieten wie Bruchmechanik und Topologieoptimierung Anwendung.

Diese Jahr fand das „3rd Seminar on Phase Field Models“ in Braunschweig an der Technischen Universität vom 04. – 05. Februar 2016 statt. Das Seminar wurde von Frau Prof. Laura De Lorenzis (TU Braunschweig) organisiert. Die Gruppe der Ausschussmitglieder hat nach einem Sonderband in „Continuum Mechanics and Thermodynamics“ einen Sonderband der GAMM-Mitteilungen (June/2016) gestaltet. Ein weiterer Sonderband der GAMM-Mitteilungen befindet sich aktuell in der Vorbereitung. Auf der GAMM-Jahrestagung in Braunschweig hielt Frau Prof. Britta Nestler (KIT Karlsruhe) auf Vorschlag des Fachausschusses einen

Hauptvortrag zum Thema „Pattern formation studies by large-scale phase-field simulations“. Auf der 15th European Mechanics of Materials Conference (EMMC) vom 07. – 09. September 2016 in Brüssel wurde von Prof. Ralf Müller (TU Kaiserslautern) und von Prof. Benoit Appolaire (ONERA, Frankreich) ein Symposium organisiert, welches über zwei Tage die große Breite und Internationalität des Themas Phasenfeldmodellierung zeigte. Aufgrund des guten Anklangs des Symposiums wurde vereinbart, dieses Symposium auf der nächsten EMMC erneut durchzuführen.

Auf der GAMM-Jahrestagung 2017 in Weimar wird von Frau Prof. Laura De Lorenzis (TU Braunschweig) und von Prof. Bernd Markert (RWTH Aachen) ein Minisymposium zum Thema „Recent Trends in Phase Field Modeling“ veranstaltet.

Aktuelle Informationen finden sich unter:  
<http://mv.uni-kl.de/itm/fa-pfm>

## WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN

### GAMM

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

### Tagungsjahr 2017

88th Annual Meeting  
06.-10.03.2017  
<http://jahrestagung.gamm-ev.de/index.php/2017/annual-meeting-2017>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Angewandte und Numerische Lineare Algebra  
<http://www.maths.manchester.ac.uk/gamm-anla/>

Phasenmodellierung  
[http://www.mv.uni-kl.de/itm/forschung/GAMM-FA\\_PFM](http://www.mv.uni-kl.de/itm/forschung/GAMM-FA_PFM)

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

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

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.

# GAMM Members: There are lots of reasons to **Join SIAM**

More than 14,000 mathematicians, computer scientists, engineers, physicists, and other scientists enjoy the many benefits of belonging to the Society for Industrial and Applied Mathematics. SIAM members are researchers, educators, practitioners, and students from more than 100 countries working in industry, laboratories, government, and academia.

“SIAM is the premier professional society for applied mathematics. Its greatest strengths are its members and the journals and books it publishes.”

– Juan C. Meza, Dean, School of Natural Sciences, University of California Merced, Chair SIAM SIAG on Optimization, Associate Editor *SIAM Review*

**GAMM members who live outside the United States can become members of SIAM at a special reciprocal rate that is 30% less than the regular member rate!**

**SAVE 30%**



## Members of SIAM have access to:

- *SIAM News* and *SIAM Review*
- Discounts on books, journals, and conferences
- SIAM Activity Groups
- Participation in SIAM elections, leadership opportunities, and the SIAM Fellows program
- Networking opportunities
- Career Resources
- Resources and support for student activities

**JOIN TODAY: [www.siam.org/joinsiam](http://www.siam.org/joinsiam)**

**SOCIETY for INDUSTRIAL and APPLIED MATHEMATICS**

3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA  
Phone: +1-215-382-9800 · Fax: +1-215-386-7999 · [membership@siam.org](mailto:membership@siam.org) · [www.siam.org](http://www.siam.org)

Please use promotion code **MBGA16** when you join.



# GAMM JUNIORS' SUMMERSCHOOL APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS

VON CLAUDIA SCHILLINGS & DOMINIK KERN

„Geometrische Methoden der Mehrkörper- und Strukturdynamik - Modellierung, Simulation und Regelung“ – so lautete das Motto der dritten Sommerschule für Angewandte Mathematik und Mechanik (SAMM).

Diese von den GAMM-Junioren organisierte Veranstaltung fand vom 05. – 09. September 2016 im Wilhelm-Ostwald-Park bei Leipzig statt.

An den Vormittagen wurden den Teilnehmern in Vorlesungen die umfangreichen theoretischen Grundlagen zum Thema vermittelt. Diese wurden am Nachmittag in Form von Rechen- und Programmieraufgaben praktisch verdeutlicht und vertieft.

Dominik Kern (TU Chemnitz) eröffnete die Sommerakademie mit einer Einführung in das Gebiet der variationellen Integratoren. Die Grundidee lässt sich wie folgt zusammenfassen: „Diskretisiere direkt das Wirkungsfunktional anstelle der Bewegungsgleichung“. Die Bewegung mechanischer Systeme ist stets durch das Wirkungsfunktional bestimmt (Hamiltonsches Prinzip), wohingegen Optimalsteuerungsaufgaben, je nach Wichtung der Kosten und Endbedingung, auf allgemeinere Funktionale führen.

Daran knüpfte Kathrin Flaßkamp (U Bremen) an, welche die Sommerschule mit Ausführungen zur Erweiterung dieser Methodik auf die Optimalsteuerung mechanischer Systeme fortsetzte. „Die zugrunde liegenden Systeme müssen nicht notwendigerweise mechanische sein, entscheidend ist das Vorliegen eines Variationsprinzips“. Diesen Ansatz präsentierte Sina Ober-Blöbaum (U Oxford) und tangierte dabei auch das Gebiet der nichtglatten Systeme.

Martin Arnold (U Halle-Wittenberg) erklärte anhand der generalized-alpha Zeitintegration den Teilnehmern, wie sich die Lie-Gruppen-Struktur der Starrkörperbewegung für Mehrkörpersimulationen ausnutzen lässt.

Am Ende der Veranstaltung gewährten Sina Ober-Blöbaum und Martin Arnold den Teilnehmern Einblicke zum aktuellen Stand ihrer Forschungsthemen.

Der ruhig gelegene Veranstaltungsort, die einstige Wohn- und Wirkungsstätte des Chemie-Nobelpreisträgers Wilhelm Ostwald (1909), verlieh der diesjährigen Sommerakademie eine besondere Atmosphäre. Die Führung durch das Wilhelm-Ostwald-Museum war eine interessante Abwechslung zum wissenschaftlichen Programm. Entspannung und Erholung bot außerdem eine Wanderung auf dem Muldentalweg, einem der schönsten Wanderwege im Herzen Sachsens. Hier sind eine faszinierende Natur und kulturhistorische Sehenswürdigkeiten zu bewundern.



Die Teilnehmer der SAMM2016 vor dem „Haus Energie“, der einstigen Wohn- und Wirkungsstätte Wilhelm Ostwalds.

Für die finanzielle Förderung bedanken sich die Organisatoren Dominik Kern und Karl Worthmann bei der Klaus-Körper-Stiftung, der IAV GmbH und dem Institut für Mechatronik Chemnitz.

Nach der positiven Resonanz der letzten Jahre ist die SAMM jährlich geplant. Die Vorbereitungen für das nächste Jahr laufen schon. Unter dem Thema „Bayesian inference: probabilistic way of inferring from data“ organisieren Bojana Rosic (TU Braunschweig) und Claudia Schillings (HU Berlin) die SAMM 2017. Die Sommerschule wird vom 10. – 14. Juli 2017 in Braunschweig stattfinden. Wir freuen uns sehr darüber, dass wir Hermann Matthies (TU Braunschweig) und Youssef Marzouk (MIT) neben den beiden Organisatorinnen Bojana Rosic und Claudia Schillings als Referenten gewinnen konnten.

Die Vorlesungs- und Übungsunterlagen der SAMM 2016 sind unter [www.samm2016.de](http://www.samm2016.de) erhältlich.

# REVIEW ON THE SECOND EDITION OF THE TWO VOLUMES „MAP PROJECTIONS“

BY ERIK W. GRAFEREND, REY-JER YOU AND RAINER SYFFUS, SPRINGER-VERLAG

BY WOLFGANG L. WENDLAND

This book in two volumes is a very interesting combination of a monograph, a text book, and a kind of catalogue of map projections and cartographic map representations of our earth surface on one hand and the mathematical and geodetic theoretical background on the other hand, which can be generalized to the cartography of any celestial object.

The book is very well organized: The mathematical relations are formulated as Theorems followed by proofs and presented in frames, explanations as well as examples are in between and some problems to be solved by the reader make the text interesting also for beginners. It starts with a differential geometric introduction to the mapping properties between two different Riemannian manifolds, in particular two-dimensional ones immersed into the three-dimensional Euclidian space. Since cartographic maps traditionally represented on two-dimensional plane sheets, the general approach in the first chapter is in Chapter two specialized to the case of mappings from Riemannian manifolds to Euclidian manifolds.

Chapter three is devoted to coordinates on manifolds and their local representations on the charts of the atlantes of the manifolds. In Chapter four surfaces of Gaussian curvature zero, in particular ruled and developable surfaces are considered since for this class plane representations are particularly straight forward.

Since the surface of the earth is almost a sphere, Chapters five to seven deal with the sphere and mappings of spherical charts to tangential planes, tangential at different points on the sphere. In particular, the equidistance, the conformal, the equiareal, the normal perspective mappings and various corresponding projections are presented.

The sphere is only a first approximation of the earth's surface, and the ellipsoid of revolution is a better global approximation which is considered in Chapter eight. With the use of spherical polar coordinates an explicit representation of the ellipsoid and the corresponding Riemann tensor, curvatures and Christoffel symbols are explicitly known. Then the equations of the mapping ellipsoid-of-revolution to tangential planes can be computed, and the equations for the equidistant mapping, conformal and equiareal and the perspective mappings are presented.

In Chapter nine, Gauss' composition of the mapping of the ellipsoid-of-revolution to the sphere with the mapping from sphere to plane is considered to find mapping equations for the ellipsoid-of-revolution as corrections of those for the sphere. Besides the plane target manifold, simplest ruled surfaces as the cylinder and the cone are considered in Chapters 10 to 19: In Chapters 10 to 13 the mappings sphere to cylinder and 14 to 16 ellipsoid of revolution to cylinder and in Chapters 17 to 18 sphere to cone and in Chapter 19 ellipse of revolution to cone.

For its world-wide cartographic application, the chapter 15 on the mapping of the ellipsoid-of-revolution to the cylinder, namely the Gauss-Krueger or the Universal Transverse Mercator (UTM) mapping of the International Reference Ellipsoid, is most important that the Korn-Lichtenstein equations of conformal mapping subject to integrability condition for UTM are solved. A fundamental solution in terms of a series expansion subject to the condition of an equidistant mapping of a chosen meridian of reference generates the celebrated Gauss-Krueger conformal mapping. The principal distortion analysis allows to determine an yet unknown dilatation parameter. In a strip  $[-3,5, +3,5] \times [80^{\circ}\text{S}, 84^{\circ}\text{N}]$  for a strip width of  $6^{\circ}$  with  $1^{\circ}$  overlap and between  $BS=-80^{\circ}$  of Southern and  $BN=+84^{\circ}$  of Northern Latitude, the dilatation parameter is fixed to 0,999,578 or scale factor 1:2370 (Russian system). In contrast, for a strip  $[-2^{\circ}, +2^{\circ}] \times [80^{\circ}\text{S}, 84^{\circ}\text{N}]$  and strip width of  $3^{\circ}$  with  $0,5^{\circ}$  overlap and between  $BS=-80^{\circ}$  of Southern and  $BN=+80^{\circ}$  Northern latitude the dilatation parameter amounts to 0.999,864 or scale factor 1:7353 (Rest of the World Application), see the detailed examples of the Gauss-Krueger/UTM maps.

Chapter 20 is devoted to geodetic mappings that map shortest geodesics onto straight lines in the plane. Due to Beltrami, such mappings exist if and only if the given surface has constant curvature which is true for the sphere but not for the ellipsoid of revolution. For the latter therefore Riemann coordinates are used which are length preserving with respect to the central point on the tangential plane.

Chapter 21, called Datum problems, deals with our rotating planet within the celestial frame in  $R^3$ , the rotating ellipsoid-of-revolution in space; i.e. curvilinear local

reference system and the global reference system. Since the Jacobi matrix of the curvilinear datum transformation has extremely bad conditioning, least squares methods and Tychonov regularisations are used in order to fit the map from local to global coordinates into observed satellite data. The inverse transformation of global conformal into local conformal coordinates is based on the approximation with bivariate polynomials. Stochastic errors are estimated.

In Chapter 22, the harmonic maps as optimal map projections on the sphere are generalized to the ellipsoid-of-revolution. As it turns out, the optimal map for the ellipsoid-of-revolution leads to the vector valued Laplace-Beltrami partial differential equation characterizing the minimal distortion energy. For properly chosen boundary conditions, the Laplace-Beltrami equations then are solved by the use of homogeneous polynomials. The chapter ends with a brief description of variational calculus. Chapter 23 is an application of the geodetic mappings between particular manifolds as torus, hyperboloid, paraboloid, onion shape, e.g. onto a circular cylinder and mapping of the clothoid for high speed train tracks.

In Chapter 24, the 10 parameter conformal group  $C_{10}$

(3) is determined by maximum likelihood estimates based on the Laplace distribution, the Gauss distribution and the rectangular distribution and three different optimization principles. The numerical results for 15 stations in Germany are presented in different tables.

Appendices 1 and 2 contain explicit calculations for specific conformal transformations and equivariance properties.

The Appendices A-J present mathematical and geodesic fundamental properties and derivations.

Special attention is paid to the ellipsoidal Mercator Projection as well as to the related Polycylindrical Projection in Appendix I developed by the authors. Here, the minimal Airy distortion energy leads to a latitude dependent dilatation factor. It is tabulated for  $\pm 2, \pm 4, \pm 6, \dots$  latitude intervals and has found remarkable application for the territory of Indonesia in the longitudinal range  $[95^\circ, 145^\circ]$ . The last pages are filled with 1408 references and a helpful long index.

This book is very valuable for students as well as for the geodesic specialists.

**Professor Emeritus Dr.-Ing Dr. h.c. Wolfgang L. Wendland** Born on September 20th 1936 in Poznan (Poland) and married with Gisela Wendland (born Born), 2 children.

He studied (1955-1961) Mathematics and Mechanical Engineering at the Technical University Berlin, got his doctorate 1965 and habilitated in 1969 in Mathematics at the TU Berlin.

From 1970 till 1986 he was a Professor at the TH Darmstadt and from 1986 till 2004 Professor at the University Stuttgart.

He was Speaker (Director) of the Priority Research Program „Boundary Element Methods“ of the German Research Foundation DFG (1988-1995), as well as Speaker (Director) of the Special Research Field 404 „Multifield Problems“ of the DFG at the University Stuttgart (1995-2002).

In 2005 and 2007 he worked as a Johann-Friedrich-Herder Docent at the Babes-Bolyai University at Cluj-Napoca, Romania.

Prof. Wendland's research areas: Partial Differential Equations, Integral Equations, Finite and Boundary Element Methods.

# RUNDBRIEF READERS

## Save 30% on these SIAM titles:

### Barriers and Transport in Unsteady Flows: A Melnikov Approach

Sanjeeva Balasuriya

*Mathematical Modeling and Computation 21*

How do coherent structures exchange fluid with their surroundings? What is the impact on global mixing? What is the “boundary” of the structure, and how does it move? Can these questions be answered from time-varying observational data? This book addresses these issues from the perspective of the differential equations that must be obeyed by fluid particles. The concepts are illustrated with an array of theoretical and applied examples that arise from oceanography and microfluidics.

2016 • Approx. xiv + 264 pages • Softcover • 978-1-611974-57-7 • List \$84.00 • RUNDBRIEF Readers \$58.80 • MM21

### Dynamic Mode Decomposition: Data-Driven Modeling of Complex Systems

J. Nathan Kutz, Steven L. Brunton, Bingni W. Brunton, Joshua L. Proctor

The recently developed dynamic mode decomposition (DMD) is an innovative tool for integrating data with dynamical systems theory. The DMD has deep connections with traditional dynamical systems theory and many recent innovations in compressed sensing and machine learning. This is the first book to address the DMD algorithm and it presents a pedagogical and comprehensive approach to all aspects of DMD currently developed or under development.

2016 • xvi + 234 pages • Softcover • 978-1-611974-49-2 • List: \$69.00 • RUNDBRIEF Readers \$48.30 • OT149

### Linear Stochastic Systems

Peter E. Caines

*Classics in Applied Mathematics 77*

*Linear Stochastic Systems*, originally published in 1988, is today as comprehensive a reference to the theory of linear discrete-time-parameter systems as ever. Its most outstanding feature is the unified presentation, including both input-output and state space representations of stochastic linear systems, together with their interrelationships. Written in a clear, concise manner and accessible to graduate students, researchers, and teachers, this classic volume also includes background material to make this book self-contained and has complete proofs for all the principal results of the book.

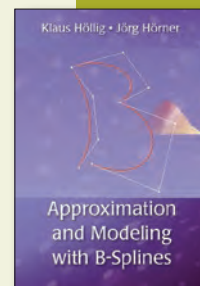
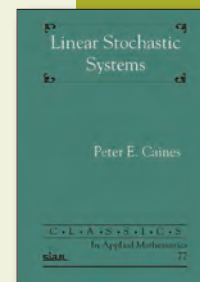
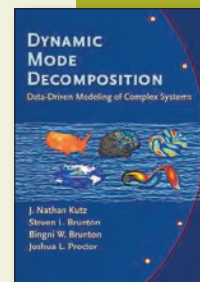
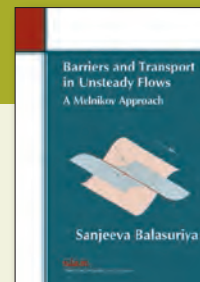
2016 • Approx. xvi + 874 pages • Softcover • 978-1-611974-70-6 • Please see <http://bookstore.siam.org/cl77> for pricing • CL77

### Approximation and Modeling with B-Splines

Klaus Höllig and Jörg Hörner

B-splines are fundamental to approximation and data fitting, geometric modeling, automated manufacturing, computer graphics, and numerical simulation. With an emphasis on key results and methods that are most widely used in practice, this textbook provides a unified introduction to the basic components of B-spline theory: approximation methods, modeling techniques, and geometric algorithms.

2013 • xiv + 214 pages • Softcover • 978-1-611972-94-8 • List \$85.00 • Rundbrief Readers \$59.50 • OT132



Be sure to enter code "BKGM17" to get special discount price.

**SIAM** SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS

TO ORDER, SHOP ONLINE AT [bookstore.siam.org](http://bookstore.siam.org).

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

Or send check or money order in US dollars to: SIAM, Dept. BKGM17 3600 Market Street, 6th Floor, Philadelphia, PA 19104-2688 USA.

Members and customers outside North America can order SIAM books through Cambridge University Press at [www.cambridge.org/siam](http://www.cambridge.org/siam).

1/17

## ORDER ONLINE: BOOKSTORE.SIAM.ORG

# AUSSCHREIBUNG DES RICHARD-VON-MISES-PREISES DER GAMM 2017

## CALL FOR NOMINATIONS FOR THE RICHARD VON MISES PRIZE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS (GAMM) 2017

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

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

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

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

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

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

Die Nominierungen sind an die Präsidentin Prof. Dr. Heike Faßbender, vorzugsweise in elektronischer Form, zu schicken.

Der Einreichungstermin ist der 30. September 2017.

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

H. C. Kuhlmann, Wien (2013 – 2018)  
 R. Lammering, Hamburg (2017 – 2022)  
 F. F. Otto, Leipzig (2017 – 2022)  
 C. Wieners, Karlsruhe (2017 – 2022)

Präsidentin der GAMM  
 Heike Faßbender, Braunschweig (Vorsitz) (2017-2019).

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

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

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

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

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

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

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

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

The deadline for nomination is September 30<sup>th</sup>, 2017.

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

Prof. Dr. Heike Faßbender  
 Institut Computational Mathematics, AG Numerik  
 Technische Universität Braunschweig  
 38092 Braunschweig

Telefon: +49-531-391-7535  
 Telefax: +49-531-391-8206  
 E-Mail: h.fassbender@tu-braunschweig.de

**Präsident:** **Prof. Heike Faßbender**  
Technische Universität Braunschweig,  
Institut Computational Mathematics,  
AG Numerik, Pockelsstr. 14,  
38106 Braunschweig

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

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

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

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

#### Weitere Mitglieder des Vorstandsrates

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

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

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

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

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

**Prof. Axel Klawonn**  
Universität zu Köln,  
Mathematisches Institut,  
Weyertal 86-90, 50931 Köln

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

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

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

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

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

**Prof. Christian Wieners**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fakultät für  
Mathematik, Institut für Angewandte und Numerische  
Mathematik, Arbeitsgruppe 3: Wissenschaftliches  
Rechnen,  
Kaiserstr. 89-93, 76133 Karlsruhe

#### Beratende Mitglieder des Vorstandsrates

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

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

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

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

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

#### Kassenprüfer

**Prof. Margareta Heilmann**  
Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich 7 - Mathematik

**Prof. Birgit Jacob**  
Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften

## EHRENMITGLIEDER DER GAMM

**Ehrenvorsitzender**

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

**Ehrenmitglieder**

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

Prof. Dr. Aurel Stodola  
† 25. Dezember 1942

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

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

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

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

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

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

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

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

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zierep (1999)

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

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

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

**PERSONALIA**

Todesfälle, wir gedenken:

em. Prof. Dr.-Ing. Helmut Stumpf, Bochum

Prof. Dr. Karl-Heinz Bachmann, Leipzig

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Miehe, Stuttgart

Prof. Dr. Walter Schumann, Zürich

Prof. Dott.-Ing., Ph.D., D.Sc. Bernhard Aribo Schrefler,  
Padua

# MSC2020

## Announcement of the plan to revise the Mathematics Subject Classification

Mathematical Reviews (MR) and zbMATH cooperate in maintaining the Mathematics Subject Classification (MSC), used by these reviewing services, publishers, and others to categorize items in the mathematical sciences literature. The current version, MSC2010, consists of 63 areas classified with two digits refined into over 5000 three- and five-digit classifications. Details of MSC2010 can be found at [www.msc2010.org](http://www.msc2010.org) or [www.ams.org/msc/msc2010.html](http://www.ams.org/msc/msc2010.html) and [zbmath.org/classification/](http://zbmath.org/classification/).

MSC2010 was a revision of the 2000 subject classification scheme developed through the collaborative efforts of the editors of zbMATH and MR with considerable input from the community. zbMATH and MR have initiated the process of revising MSC2010 with an expectation that the revision will be used beginning in 2020. From the perspective of MR and zbMATH, the five-digit subject classification scheme is an extremely important device that allows editors and reviewers to process the literature. Users of the publications of zbMATH and MR employ the MSC to search the literature by subject area. In the decade since the last revision, keyword searching has become increasingly prevalent, with remarkable improvements in searchable databases. Yet the classification scheme remains important. Many publishers use the subject classes at either the time of submission of an article as an aid to the editors or at the time of publication as an aid to readers. The arXiv uses author-supplied MSC codes to classify submissions and as an option in creating alerts for the daily listings. Browsing the MR or zbMATH database using a two- or three-digit classification search is an effective method of keeping up with research in specific areas.

Based in part on some thoughtful suggestions from members of the community, the editors of MR and zbMATH have given preliminary consideration to the scope of the revision of the MSC. We do not foresee any changes at the two-digit level; however, it is anticipated that there will be refinement of the three- and five-digit levels.

At this point, zbMATH and MR welcome additional community input into the process. Comments should be submitted through the Web at [msc2020.org](http://msc2020.org). You may also send email to [feedback@msc2020.org](mailto:feedback@msc2020.org). All information about the MSC revision is jointly shared by MR and zbMATH. This input will be of great value as the process moves forward.

**Edward Dunne**  
*Executive Editor*  
*Mathematical Reviews*

**Klaus Hulek**  
*Editor-in-Chief*  
*zbMATH*