



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

MATH

FAKULTÄT FÜR
MATHEMATIK

Forschungsbericht 2022

Institut für Analysis und Numerik

INSTITUT FÜR ANALYSIS UND NUMERIK

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg
Tel. 49 (0)391 67 58649 / 58586, Fax 49 (0)391 67 48073
ian@uni-magdeburg.de

1. LEITUNG

Prof. Dr. Peter Benner (MPI Magdeburg)
Prof. Dr. Klaus Deckelnick
Prof. Dr. Hans-Christoph Grunau
Jun. Prof. Dr. Jan Heiland
Prof. Dr. Thomas Richter (Geschäftsführender Leiter)
Prof. Dr. Miles Simon
Prof. Dr. Gerald Warnecke nur bis 31.03.2022
Priv.-Doz. Dr. Bernd Rummler nur bis 31.03.2022

2. HOCHSCHULLEHRER/INNEN

Prof. Dr. Peter Benner (MPI Magdeburg)
Prof. Dr. Klaus Deckelnick
Prof. Dr. Hans-Christoph Grunau
Jun. Prof. Dr. Jan Heiland
apl. Prof. Dr. Matthias Kunik
Prof. Dr. Thomas Richter
Priv.-Doz. Dr. Bernd Rummler nur bis 31.03.2022
apl. Prof. Dr. Friedhelm Schieweck
Prof. Dr. Miles Simon
Prof. Dr. Gerald Warnecke nur bis 31.03.2022
Prof. Dr. Alexander Zujev (MPI)
im Ruhestand:
Prof. em. Dr. Herbert Goering
Prof. Dr. Lutz Tobiska

3. FORSCHUNGSPROFIL

AG Nichtlineare partielle Differentialgleichungen und geometrische Analysis: (Deckelnick, Grunau, Rummler, Simon)

Elliptische Randwertprobleme höherer Ordnung (Grunau)

- Fast-Positivität und Abschätzungen für Greensche Funktionen
- Semilineare Gleichungen mit (super-) kritischem Wachstum, Bezüge zur Differentialgeometrie

Hydrodynamik (Rummler)

- Eigenfunktionen des Stokes-Operators
- Laminar-turbulentes Umschlagsverhalten, Bifurkationen

- Regularität von Zerlegungsfeldern
- Konvektionsströmungen

Nichtlineare Evolutionsgleichungen

- Existenz, qualitative Eigenschaften & numerische Approximation für geometrische Evolutionsgleichungen (Deckelnick)
- Stabilität und Abschätzungen, Fastpositivität (Grunau / Simon)
- Existenz & Regularität bei nichtglatten Anfangsdaten (Simon)

Optimalsteuerungsprobleme mit partiellen Differentialgleichungen (Deckelnick)

- Entwicklung & Analyse numerischer Näherungsverfahren
- Parameteridentifikationsprobleme

Randwertprobleme für Willmoreflächen

- Abschätzungen, qualitative Eigenschaften & Existenz (Deckelnick, Grunau)
- Entwicklung und Analyse numerischer Näherungsverfahren (Deckelnick)

Ricci-Fluss (Simon)

- Verhalten von Singularitäten
- Existenz und Regularität im Falle nichtglatter Anfangsdaten

AG Numerische Mathematik in Anwendungen (Richter)

- Analyse von Fluid-Struktur-Interaktionsproblemen mit Anwendung in der Medizin auf Höchstleistungsrechnern zur schnellen Simulation
- Scientific Machine Learning, Beschleunigung numerische Simulation mit neuronalen Netzen
- Einsatz adaptiver Finite Elemente Methoden zur Diskretisierung von partiellen Differentialgleichungen. Analyse dualitätsbasierter Fehlerschätzer in Ort und Zeit
- Entwurf und Analyse von effizienten numerischen Methoden zur Simulation von Multiphysik-Problemen
- Anwendungen im Bereich der Medizin, Biologie, Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften und Klimawissenschaften

AG Numerische Analysis: (Tobiska, Schieweck)

- A posteriori Fehlerschätzung und adaptive FEM
- Eigenschaften der Lösung singular gestörter Probleme
- Entwicklung effektiver Algorithmen zur Lösung hochdimensionaler Gleichungssysteme auf modernen Rechnerarchitekturen
- Finite Elemente Methoden zur Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen in Gebieten mit freiem Rand und Entwicklung geeigneter Mehrgitterlöser
- Galerkin Methoden zur Lösung instationärer partieller Differentialgleichungen
- Konvergenz, Stabilität und Genauigkeit von Finite Elemente Methoden für nichtlineare partielle Differentialgleichungssysteme, insbesondere in der numerischen Strömungssimulation
- Numerische Behandlung mathematischer Modelle zur Strömungssimulation in porösen Medien

AG Numerische Mathematik (Warnecke, Kunik)

- Analytische Zahlentheorie
- Konvergenz, Stabilität und Genauigkeit von Diskretisierungsverfahren (FEM, FVM, FDM, kinetische Verfahren) für partielle Differentialgleichungssysteme, Entwicklung numerischer Verfahren
- Riemann-Probleme für Systeme hyperbolischer Erhaltungsgleichungen, resonante Wellen, Phasenübergänge
- Theoretische und numerische Untersuchung von Systemen von Erhaltungsgleichungen, insbesondere in der Gasdynamik, Mehrphasengemische

AG Numerische Methoden in der System- und Regelungstheorie (Benner, Heiland)

- Modellierung und Simulationen dynamischer Systeme mit Ein- und Ausgängen
- Modellordnungsreduktion
- Wissenschaftliches Maschinelles Lernen
- robuste Regelung komplexer Systeme; insbesondere Strömungen

4. KOOPERATIONEN

- Prof. Dr. A. Deruelle, Sorbonne (Paris, Frankreich) mit Prof. Simon
- Prof. Dr. Boris Vexler, TU München
- Prof. Dr. Charles M. Elliott, University of Warwick mit Prof. Deckelnick
- Prof. Dr. Dr. h.c. Rolf Rannacher, Universität Heidelberg
- Prof. Dr. E. Burman (University College London)
- Prof. Dr. F. Schulze, UCL London (London, Vereinigtes Königreich) mit Prof. Simon
- Prof. Dr. Guido Sweers, Universität zu Köln mit Prof. Grunau
- Prof. Dr. Hailiang Liu (Ames, Iowa, USA) mit Prof. Kunik, Prof. Warnecke
- Prof. Dr. Jiegman Li mit Prof. Warnecke
- Prof. Dr. Shinya Okabe, Tohoku University Japan mit Prof. Grunau
- Prof. Dr. Stefan Turek, TU Dortmund
- Prof. Dr. T. Lamm, KIT Universität (Karlsruhe) mit Prof. Simon
- Prof. Dr. V. Polevikov (Minsk, Belarus) mit Prof. Tobiska
- Prof. Giovanni Paolo Galdi, University of Pittsburgh
- Prof. Josef Malek, Karls-Universität Prag
- Siemens AG
- Univ. Grenoble, Pierre Rampal

5. FORSCHUNGSPROJEKTE

Projektleitung: Prof. Dr. Thomas Richter, Prof. Dr. Peter Benner, Prof. Dr. Sebastian Sager
Förderer: Deutscher Akademischer Austauschdienst e.V. (DAAD) - 01.01.2019 - 31.12.2022

Peruvian Competence Center of Scientific Computing Stärkung des wissenschaftlichen Rechnens in der Lehre in Peru

Die Angewandte Mathematik und das Wissenschaftliche Rechnen mit dem Fokus Modellbildung, Simulation und Optimierung nimmt weltweit einen zentralen und größer werdenden Stellenwert ein. Die numerische Simulation und Optimierung sind - neben dem Experiment - in vielen wissenschaftlichen Anwendungen zunehmend etabliert. Diese Entwicklung wurde in den letzten Jahrzehnten durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger Computer und die damit verbundene mathematische Grundlagenforschung beschleunigt. Obwohl die technischen Voraussetzungen auch in Ländern wie Peru gegeben sind, ist die Disziplin Wissenschaftliches Rechnen hier noch nicht vertreten. Dies liegt an einem streng theoretischem Fokus der Mathematik in Peru, der fehlenden Ausbildung von DozentInnen in Bereichen der Angewandten Mathematik und einem resultierenden Mangel an entsprechenden Studienprogrammen.

In diesem Projekt verfolgen wir mehrere, eng verwandte Ziele: an der Universidad Nacional Agraria La Molina unterstützen wir die derzeit geplante Einrichtung eines Studiengangs Angewandte Mathematik, an der Universidad Nacional de Trujillo und der Pontificia Universidad Católica del Perú unterstützen wir die Weiterentwicklung der vorhandenen Studiengänge und die Entwicklung neuer Forschungslinien zur Stärkung des wissenschaftlichen Rechnens und etablieren Austauschprogramme mit deutschen Hochschulen. Begleitend initiieren wir mit diesen und weiteren Partnern die Einrichtung eines transregionalen Kompetenzzentrums Scientific Computing mit dem Arbeitstitel Peruvian Competence Center of Scientific Computing (PeC3), um eine Vernetzung der Player zum Schaffen von Synergien und eine nachhaltige Verstärkung der Maßnahmen zu erreichen.

Die Einrichtung und Weiterentwicklung von Studiengängen erfordert eine Schulung der DozentInnen in modernen Methoden des wissenschaftlichen Rechnens. Wesentliches Instrument hierzu sind Kurse und Workshops in Peru. Eine besondere Bedeutung kommt dem Einzug von praktischen Elementen in Lehr- und Lernformen zu. Weiter erarbeiten wir Kataloge aktueller und bewährter Literatur für die Lehre, aber werden auch geeignete Skripten, Übungsmaterialien und insbesondere gut dokumentierte wissenschaftliche Software bereitstellen. Schließlich ist die Co-Betreuung peruanischer Abschlussarbeiten von deutscher Seite vorgesehen, um eine Internationalisierung und einen gegenseitigen Erfahrungsaustausch zu erreichen. Darüber hinaus planen wir ein Austauschprogramm, um ein gegenseitiges Begleiten und Kennenlernen von Lehrveranstaltungen sowie Verwaltungs- und Forschungsstrukturen zu ermöglichen.

Die Maßnahmen werden unter die Schirmherrschaft eines neu zu gründenden Kompetenzverbunds PeC3 gestellt, um so eine Institutionalisierung und eine Identifikation mit den Maßnahmen zu erzeugen. Dabei denken wir an einen ideellen Verbund im Sinne des WIR - Wissenschaftlichen Rechnen in Baden-Württemberg oder des NoKo - Northern German Colloquium on Applied Analysis and Numerical Mathematics, welches identitätsstiftend für das gesamte Projekt wirkt. Dieser Verbund wird weiteren interessierten Partnern in Südamerika, aber auch kooperierenden Partnern in Europa und Nordamerika offen stehen und soll langfristig als Plattform die Aktivitäten im Bereich Wissenschaftliches Rechnen bündeln und vertreten.

Durch bisher vier vom DAAD finanzierte Sommerschulen sowie der Mitarbeit bei der Etablierung von Promotionsprogrammen sind wir in Südamerika, insbesondere in Peru, bestens vernetzt und kennen die Stärken und Schwächen im Universitätssystem. Von diesem Projekt erhoffen wir uns eine strukturelle Stärkung der Lehre auf dem Gebiet des wissenschaftlichen Rechnens in Peru, die langfristig auch auf die Forschung wirkt. Wir profitieren von einer Institutionalisierung des Kontakts, welche auch zu einer Internationalisierung unserer Hochschulen und zu Austauschmöglichkeiten mit entsprechenden Studiengängen in Deutschland führt.

Projektleitung: Prof. Dr. Peter Benner, Prof. Dr. Thomas Richter
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.10.2021 - 31.03.2026

Mathematical Complexity Reduction (DFG GRK 2297/2)

Im Kontext des vorgeschlagenen Graduiertenkollegs (GK) verstehen wir Komplexität als eine intrinsische Eigenschaft, die einen mathematischen Zugang zu einem Problem auf drei Ebenen erschwert. Diese Ebenen sind eine angemessene mathematische Darstellung eines realen Problems, die Erkenntnis fundamentaler Eigenschaften und Strukturen mathematischer Objekte und das algorithmische Lösen einer mathematischen Problemstellung. Wir bezeichnen alle Ansätze, die systematisch auf einer dieser drei Ebenen zu einer zumindest partiellen Verbesserung führen, als mathematische Komplexitätsreduktion. Für viele mathematische Fragestellungen sind Approximation und Dimensionsreduktion die wichtigsten Werkzeuge auf dem Weg zu einer vereinfachten Darstellung und Rechenzeitgewinnen. Wir sehen die Komplexitätsreduktion in einem allgemeineren Sinne und werden zusätzlich auch Liftings in höherdimensionale Räume und den Einfluss der Kosten von Datenerhebungen systematisch untersuchen. Unsere Forschungsziele sind die Entwicklung von mathematischer Theorie und Algorithmen sowie die Identifikation relevanter Problemklassen und möglicher Strukturausnutzung im Fokus der oben beschriebenen Komplexitätsreduktion. Unser umfassendes Lehr- und Forschungsprogramm beruht auf geometrischen, algebraischen, stochastischen und analytischen Ansätzen und wird durch effiziente numerische Implementierungen komplementiert. Die Doktorandinnen nehmen an einem maßgeschneiderten Ausbildungsprogramm teil. Dieses enthält unter anderem Kompaktkurse, ein wöchentliches Seminar und ermutigt zu einer frühzeitigen Integration in die wissenschaftliche Community. Das GK dient als ein Katalysator zur Etablierung dieser erfolgreichen DFG Ausbildungskonzepte an der Fakultät für Mathematik und hilft, die Gleichstellungssituation zu verbessern. Die Komplexitätsreduktion ist ein elementarer Aspekt der wissenschaftlichen Hintergründe der beteiligten Wissenschaftler. Die Kombination von Expertisen unterschiedlicher mathematischer Bereiche gibt dem GK ein Alleinstellungsmerkmal mit großen Chancen für wissenschaftliche Durchbrüche. Das GK hat Anknüpfungspunkte an zwei Fakultäten der OVGU, an ein Max-Planck-Institut und an mehrere nationale und internationale Forschungsaktivitäten in verschiedenen wissenschaftlichen Communities. Die Studierenden im GK werden in einer Fülle von mathematischen Methoden und Konzepten ausgebildet und erlangen dadurch die Fähigkeit, herausfordernde Aufgaben zu lösen. Wir erwarten weiterhin Erfolge in der Forschung und in der Ausbildung der nächsten Generation führender Wissenschaftler in Akademia und Industrie.

Projektleitung: apl. Prof. Dr. habil. Matthias Kunik, Prof. Dr. Gerald Warnecke
Projektbearbeitung: Dr. rer. nat. Ferdinand Thein
Kooperationen: Prof. Dr. Hailiang Liu (Ames, Iowa, USA) mit Prof. Kunik, Prof. Warnecke
Förderer: Haushalt - 01.10.2020 - 30.09.2022

Radialsymmetrische Lösungen der ultrarelativistischen Euler-Gleichungen als Benchmark-Tests zu numerischen Verfahren für hyperbolische Erhaltungsgleichungen in höheren Raumdimensionen

Mit Hilfe von Systemen hyperbolischer Erhaltungsgleichungen lassen sich Wellenausbreitungen von strömenden Flüssigkeiten und Gasen unter Vernachlässigung von Reibungseffekten beschreiben. Solche nichtlinearen Systeme ermöglichen insbesondere die Vorhersage von Stosswellen, die sich im allgemeinen selbst für glatte Anfangsvorgaben der Felder (z.B. für die Massendichte, die Strömungsgeschwindigkeit und den Druck) zu späteren Zeitpunkten ausbilden können. Dabei treten dann sprunghafte Änderungen der Felder beim Durchqueren der Stossfronten auf. Im Preprint 02/2020 "Radially symmetric solutions of the ultra-relativistic Euler equations" (erscheint in "Methods and Applications of Analysis") haben wir für die ultrarelativistischen Euler-Gleichungen in drei Raumdimensionen ein spezielles numerisches Verfahren zur Berechnung der radialsymmetrischen Lösungen entwickelt, das sich mit Hilfe von bestimmten koordinatenabhängigen Kurvenintegralen auf nur eine Raumdimension (für den Radius) reduzieren lässt. Dieses System hyperbolischer Erhaltungsgleichungen zeigt viele Ähnlichkeiten mit den klassischen Euler-Gleichungen, ist aber mathematisch einfacher, da eine Gleichung für die Teilchenzahldichte vom Rest des Systems entkoppelt. Mit Hilfe dieses Verfahrens konnten wir erstmals die Entwicklung und den Kollaps einer implodierenden Stosswelle für geeignete Anfangsdaten (Start mit einer Überdruckblase symmetrisch zum Nullpunkt) numerisch simulieren. Die voll dreidimensionalen numerischen Methoden waren bisher nicht in Lage den dabei resultierenden Blow-up der Felder zu approximieren, da dieser in einem sehr kleinen Bereich der Raum-Zeit stattfindet. Deshalb haben wir nun das Verfahren auch für den zylindersymmetrischen Fall entwickelt, um es direkt mit den numerischen Lösungen zweidimensionaler Anfangswertprobleme vergleichen zu können. Da es bisher vergleichsweise wenig Literatur zu der numerischen Simulation dieses Systems gibt, wird so aus zwei Gründen ein wichtiger Beitrag geleistet. Zum einen werden so erstmals echt mehrdimensionale Probleme numerisch gelöst und mit verfügbaren Lösungen verglichen, welche qualitativ nahezu exakten Lösungen entsprechen. Zum anderen können dann mit den so verifizierten Methoden komplexere Probleme simuliert werden, welche dann auch als Vergleich für weitere Verfahren dienen. Es ist auch davon auszugehen, dass für Verfahren höherer Ordnung geeignete Limiter konstruiert werden müssen um die Stabilität der Verfahren zu gewährleisten.

Projektleitung: Dr. Carolin Mehlmann
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.01.2022 - 31.12.2024

A hybrid sea ice model to estimate the impact of floe scale sea ice-ocean-atmosphere coupling on the Antarctic sea ice evolution

A number of mechanisms have been proposed to explain the decrease and increase of the Antarctic sea ice extent in the recent years. But the processes that drive this evolution are not well understood. The simulation of Antarctic sea ice in current climate models remains a fundamental problem and the reason for this shortcoming is a current research question. But there is some evidence that this stems, in addition to the formulation of atmospheric and oceanic processes, also from the description of the sea ice physics in the Southern Ocean. Even though much of the current sea ice cover in the Southern Ocean resembles a marginal ice zone, continuum sea ice models usually do not resolve sea ice floes nor parameterize this regime and neglect important feedbacks on climate and weather. Furthermore, the application of continuum sea ice models at or below the resolution of individual floes is questionable as the underlying continuum assumption of those sea ice models likely breaks down. In this proposal we will address these shortcomings of current continuum sea ice models used in climate models by developing a hybrid sea ice model, that explicitly describes atmosphere, sea ice and ocean interactions up to the floe scale. The hybrid approach provides a seamless model framework to predict the sea ice state, ranging from interacting sea ice floes in the marginal ice zone up to pack ice. The development of new numerical models and their validation to improve the understanding of Polar Processes and Mechanisms is a central aspect of the current call. Our hybrid model, which combines particle with continuum methods, will contribute to a better understanding and prediction of the Antarctic climate system by explicitly including coupling and feedbacks between atmosphere, sea ice and ocean at the floe scale. Small scale processes related to individual floes are important to the polar climate, but their parameterization in continuum sea ice models

remains a research question. To understand the impact of floe scale interactions on the evolution of the sea ice cover in the Southern Ocean, we will develop a Discrete Element sea ice model, based on the description of DESIGN and the Princeton DEM, and nest it into the continuum sea ice formulation in the climate model ICON. Our goal is to explicitly simulate discrete sea ice floes in a subdomain of interest such as the marginal ice zone. In regions where a high spatial resolution is not required, the simulation is based on the continuum model, which is a suitable, computational efficient, approach to describe the sea ice evolution at large scales and low resolutions. Using the hybrid approach, we will explicitly take the floe size distribution into account, which significantly impacts the simulated sea ice volume. Finally, owing to the particle approach used in the hybrid sea ice model, this project opens a pathway towards exascale sea ice modeling, including the possible use of GPUs.

Projektleitung: Dr. Piotr Minakowski
Förderer: Stiftungen - Sonstige - 01.08.2021 - 31.07.2023

SASIP: The Scale-Aware Sea Ice Project

The Scale-Aware Sea Ice Project aims to develop a truly innovative, scale-aware continuum sea ice model for climate research; one that faithfully represents sea ice dynamics and thermodynamics and that is physically sound, data-adaptive, highly parallelized and computationally efficient. SASIP will use machine learning and data assimilation to exploit large datasets obtained from both simulations and remote sensing.

Through the further development of existing important state-of-the-art simulators created by some of the investigators, SASIP will build a data-constrained sea ice model that is based on solid-like physics. This model will allow improved high resolution and large scale predictions of Arctic and Antarctic sea ice, and the propagation of sea ice related climate feedback. Employing hybrid data assimilation and machine learning approaches as a native part of the model architecture will allow for objective combinations of models and data. Ultimately, SASIP will give a better understanding of the impact of amplified warming in polar regions through the development of a model that reduces uncertainties related to global earth systems.

Projektleitung: Prof. Dr. Thomas Richter
Kooperationen: Ping Lin, University of Science and Technology Beijing
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.01.2019 - 31.12.2023

Simulation und Analysis für zeitliche Mehrskalenprobleme mit partiellen Differentialgleichungen

In diesem Projekt untersuchen wir zeitliche Mehrskalenprobleme mit partiellen Differentialgleichungen. Viele Anwendungen beschreiben Langzeiteffekte, etwa die Materialalterung, Materialschädigung durch Risse, biologische Musterbildungsprozess oder biologische Wachstumsprozesse. Diese Phänomene sind oft durch wichtige Kurzzeiteinflüsse bestimmt.

Eine detaillierte numerische Simulation solcher Vorgänge mit etablierten Verfahren ist nicht möglich. Als Beispiel betrachten wir das Wachstum von artherosklerotischem Plaque, welches im Zeitraum von mehreren Monaten abspielt, jedoch erheblich durch die mechanische Belastung der pulsierenden Blutströmung bestimmt ist, welche eine Auflösung von weniger als einer Sekunde bedarf. Eine direkte Simulation über lange Zeiträume mit sehr feiner Auflösung ist jenseits der Möglichkeiten.

Wir werden zeitliche Mehrskalenverfahren zur Approximation dieser Probleme entwickeln, untersuchen und implementieren. Diese Methoden basieren auf einer Mittelung der schnellen Prozesse, um so eine effektive Gleichung zur Beschreibung des Langzeitverhaltens zu gewinnen.

Ein Teil des Projekts widmet sich der mathematischen Analyse von zeitlichen Mehrskalenproblemen mit partiellen Differentialgleichungen. Üblicherweise kann ein Skalenparameter eingeführt werden, der das Verhältnis zwischen langsamer und schneller Skala beschreibt. Wir werden die Konvergenz der Mehrskalenlösung gegen die gemittelte Lösung in Hinblick auf diesen Skalenparameter untersuchen.

Im zweiten Teil werden effiziente numerische Verfahren zur schnellen Approximieren von zeitlichen Mehrskalproblemen entwickelt und implementiert. Diese Verfahren basieren auf einer effizienten Approximation der gemittelten Langzeitprobleme. Zur örtlichen Diskretisierung verwenden wir die Finite Elemente Methode, zeitliche Diskretisierung erfolgt auf Basis von Galerkin-Verfahren. Zum Erlangen effizienter Algorithmen werden wir konsequent auf adaptive Verfahren in Ort und Zeit setzen.

Die mathematische Analyse von zeitlicher Mehrskaligkeit im Zusammenhang mit partiellen Differentialgleichungen ist ein herausforderndes Problem, welches bisher kaum systematisch untersucht wurde.

Projektleitung: Prof. Dr. Thomas Richter

Förderer: Deutscher Akademischer Austauschdienst e.V. (DAAD) - 01.01.2019 - 31.12.2022

Peruvian Competence Center of Scientific Computing Stärkung des wissenschaftlichen Rechnens in der Lehre in Peru

Die Angewandte Mathematik und das Wissenschaftliche Rechnen mit dem Fokus Modellbildung, Simulation und Optimierung nimmt weltweit einen zentralen und größer werdenden Stellenwert ein. Die numerische Simulation und Optimierung sind - neben dem Experiment - in vielen wissenschaftlichen Anwendungen zunehmend etabliert. Diese Entwicklung wurde in den letzten Jahrzehnten durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger Computer und die damit verbundene mathematische Grundlagenforschung beschleunigt. Obwohl die technischen Voraussetzungen auch in Ländern wie Peru gegeben sind, ist die Disziplin Wissenschaftliches Rechnen hier noch nicht vertreten. Dies liegt an einem streng theoretischem Fokus der Mathematik in Peru, der fehlenden Ausbildung von DozentInnen in Bereichen der Angewandten Mathematik und einem resultierenden Mangel an entsprechenden Studienprogrammen.

In diesem Projekt verfolgen wir mehrere, eng verwandte Ziele: an der Universidad Nacional Agraria La Molina unterstützen wir die derzeit geplante Einrichtung eines Studiengangs Angewandte Mathematik, an der Universidad Nacional de Trujillo und der Pontificia Universidad Católica del Perú unterstützen wir die Weiterentwicklung der vorhandenen Studiengänge und die Entwicklung neuer Forschungslinien zur Stärkung des wissenschaftlichen Rechnens und etablieren Austauschprogramme mit deutschen Hochschulen. Begleitend initiieren wir mit diesen und weiteren Partnern die Einrichtung eines transregionalen Kompetenzzentrums Scientific Computing mit dem Arbeitstitel Peruvian Competence Center of Scientific Computing (PeC3), um eine Vernetzung der Player zum Schaffen von Synergien und eine nachhaltige Verstetigung der Maßnahmen zu erreichen.

Die Einrichtung und Weiterentwicklung von Studiengängen erfordert eine Schulung der DozentInnen in modernen Methoden des wissenschaftlichen Rechnens. Wesentliches Instrument hierzu sind Kurse und Workshops in Peru. Eine besondere Bedeutung kommt dem Einzug von praktischen Elementen in Lehr- und Lernformen zu. Weiter erarbeiten wir Kataloge aktueller und bewährter Literatur für die Lehre, aber werden auch geeignete Skripten, Übungsmaterialien und insbesondere gut-dokumentierte wissenschaftliche Software bereitstellen. Schließlich ist die Co-Betreuung peruanischer Abschlussarbeiten von deutscher Seite vorgesehen, um eine Internationalisierung und einen gegenseitigen Erfahrungsaustausch zu erreichen. Darüber hinaus planen wir ein Austauschprogramm, um ein gegenseitiges Begleiten und Kennenlernen von Lehrveranstaltungen sowie Verwaltungs- und Forschungsstrukturen zu ermöglichen.

Die Maßnahmen werden unter die Schirmherrschaft eines neu zu gründenden Kompetenzverbunds PeC3 gestellt, um so eine Institutionalisierung und eine Identifikation mit den Maßnahmen zu erzeugen. Dabei denken wir an einen ideellen Verbund im Sinne des WIR - Wissenschaftlichen Rechnen in Baden-Württemberg oder des NoKo - Northern German Colloquium on Applied Analysis and Numerical Mathematics, welches identitätsstiftend für das gesamte Projekt wirkt. Dieser Verbund wird weiteren interessierten Partnern in Südamerika, aber auch kooperierenden Partnern in Europa und Nordamerika offen stehen und soll langfristig als Plattform die Aktivitäten im Bereich Wissenschaftliches Rechnen bündeln und vertreten.

Durch bisher vier vom DAAD finanzierte Sommerschulen sowie der Mitarbeit bei der Etablierung von Promotionsprogrammen sind wir in Südamerika, insbesondere in Peru, bestens vernetzt und kennen die Stärken und Schwächen im Universitätssystem. Von diesem Projekt erhoffen wir uns eine strukturelle Stärkung der Lehre auf dem Gebiet des wissenschaftlichen Rechnens in Peru, die langfristig auch auf die Forschung wirkt.

Wir profitieren von einer Institutionalisierung des Kontakts, welche auch zu einer Internationalisierung unserer Hochschulen und zu Austauschmöglichkeiten mit entsprechenden Studiengängen in Deutschland führt.

Projektleitung: Prof. Dr. Thomas Richter
Projektbearbeitung: Dr. Piotr Minakowski
Kooperationen: Univ. Grenoble, Pierre Rampal; Einar Örn Ólason, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen
Förderer: Stiftungen - Sonstige - 01.08.2021 - 31.07.2023

The Scale-Aware Sea Ice Project

The Scale-Aware Sea Ice Project aims to develop a truly innovative, scale-aware continuum sea ice model for climate research; one that faithfully represents sea ice dynamics and thermodynamics and that is physically sound, data-adaptive, highly parallelized and computationally efficient. SASIP will use machine learning and data assimilation to exploit large datasets obtained from both simulations and remote sensing.

Through the further development of existing important state-of-the-art simulators created by some of the investigators, SASIP will build a data-constrained sea ice model that is based on solid-like physics. This model will allow improved high resolution and large scale predictions of Arctic and Antarctic sea ice, and the propagation of sea ice related climate feedback. Employing hybrid data assimilation and machine learning approaches as a native part of the model architecture will allow for objective combinations of models and data. Ultimately, SASIP will give a better understanding of the impact of amplified warming in polar regions through the development of a model that reduces uncertainties related to global earth systems.

Projektleitung: Prof. Dr. Miles Simon
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.01.2020 - 31.12.2023

'Solutions to Ricci flow whose Scalar curvature is bounded in L^p (II)

Ziele: The aim of this project is to further investigate the types of finite time singularities that occur for the Ricci flow in four dimensions in the real case, and higher dimensions in the Kaehler case, when the scalar curvature is bounded in the L^p norm

Projektleitung: Prof. Dr. Gerald Warnecke
Projektbearbeitung: Dr. rer. nat. Ferdinand Thein, Prof. Dr. Evgeniy Romenski
Kooperationen: Prof. Michael Dumbser (U (Trento))
Förderer: Stiftungen - Sonstige - 01.01.2019 - 31.12.2022

The SHTC-Model and Multiphase Flows

The modeling, analysis and numerical treatment of multiphase fluid dynamics provide several challenging problems treated in the past as well as in very recent literature. Recently interest in the works by Godunov, Müller, Ruggeri, Romenski and their co-authors is growing. In particular Godunov and Romenski suggest an approach which leads to symmetric hyperbolic systems which are derived from physical principles, i.e. symmetric hyperbolic and thermodynamic consistent models (SHTC). These hyperbolic models are capable of describing multiphase fluid dynamics including heat conduction and viscosity which are typically second order effects. In this project we want to combine the expertise on these models provided by Prof. Romenski and Prof. Dumbser with our expertise on sharp interface models. This project includes different goals related to the diverse aspects of the topic. One main problem is to discuss the Riemann problem for a barotropic submodel of the main model provided by Romenski. With this we obtain further analytical insight and additionally can verify numerical

methods.

A further aim is to reveal the connection between the diffuse and the sharp interface two-phase flows considered in this context.

Projektleitung: Prof. Dr. Gerald Warnecke
Projektbearbeitung: Dr. rer. nat. Ferdinand Thein
Kooperationen: Dr. Maren Hantke (Universität Halle); Prof. Dr. Claus-Dieter Munz (U Stuttgart)
Förderer: Stiftungen - Sonstige - 01.01.2019 - 31.12.2022

Two-Phase Flows with Phase Transition - Modelling, Analysis and Numerics

Starting from existing work in this research group on this topic, our aim is to discuss several open questions in this context. Concerning the modelling it seems in the literature that there is a need to further investigate the derivation and formulation of balance laws in the presence of singularities, e.g. shocks and phase boundaries. Due to the general character of the underlying theory this will be also helpful for other models and problems. In the preceding work general analytical results for isothermal two-phase flows were obtained. A further objective is to discuss general flows where heat conduction is taken into account. In particular we want to use the hyperbolic formulation introduced by Romenski. For this work we will also collaborate with the group of Prof. Munz in Stuttgart. As in the isothermal case we first want to investigate the corresponding Riemann problem. The numerics of two-phase flows are still a major problem. In particular when multidimensional problems are considered. Effects like surface tension and phase creation have to be considered. In the context of sharp interface models we suggest to investigate algorithms used for combustion problems since we expect some analogies in the numerical treatment of these topics. Parallel to these questions we further seek to compare the obtained results to other diffuse interface models used in the group (Warnecke/Matern) and the literature. Thus this project is also strongly linked to the previous one.

Projektleitung: Prof. Alexander Zuyev
Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 01.07.2020 - 30.06.2023

Hierarchischer Reglerentwurf für nichtlineare Trajektorienplanung und Stabilisierung

Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung hierarchischer Methoden für im Wesentlichen nichtlineare Kontrollsysteme, deren Trajektorien wichtige Merkmale für die Analyse auf mehreren Zeitskalen besitzen. Als eine wichtige Unterklasse solcher Systeme werden wir dynamische und kinematische Modelle nichtholonomer mechanischer Systeme unter Kontrollierbarkeitsbedingungen mit iterierten Lie-Klammern untersuchen. Dreischichtige hierarchische Regelungsalgorithmen werden für den Fall entwickelt, dass die Dynamik der oberen Schicht durch den Gradientenfluss einer potenziellen Funktion erzeugt wird. Bei diesen Algorithmen wird die Zwischenschicht durch ein zeitdiskretes dynamisches System geregelt, und die Dynamik der unteren Schicht (physikalische Ebene) wird von einem nichtlinearen Kontrollsystem mit oszillierenden Eingangsfunktionen gesteuert. Der Allgemeinheit halber betrachten wir diskontinuierliche Regelungsfunktionen und folgen dem Konzept von Carathéodory-Lösungen. Diese Ideen werden auch für die Stabilisierung von Referenztrajektorien für nicht autonome Kontrollsysteme erweitert, indem die Trennung von schneller und langsamer Dynamik unter einer geeigneten Auswahl von Frequenzparametern verwendet wird. Es wird erwartet, dass neue Stabilitätsergebnisse generiert werden, indem Mittelungsverfahren für Teilsysteme mit schnellen Variablen verfeinert und Lyapunov-Funktionen für langsame Teilsysteme mit Störungen konstruiert werden. Diese theoretischen Ergebnisse werden auf nichtlineare mathematische Modelle in der Fluidodynamik und in der chemischen Verfahrenstechnik angewendet, wie beispielsweise endlich-dimensionale Approximationen der Euler- und Navier-Stokes-Gleichungen, bevorzugte Kristallisation von Enantiomeren und periodische nichtisotherme Reaktionen.

6. VERÖFFENTLICHUNGEN

BEGUTACHTETE ZEITSCHRIFTENAUFsätze

An, Xinghai; Hayat, Adnan; Lee, Ju Weon; Qamar, Shamsul; Warnecke, Gerald; Seidel-Morgenstern, Andreas

Analysis and experimental demonstration of temperature step gradients in preparative liquid chromatography
Journal of chromatography / A - New York, NY [u.a.]: Science Direct, Bd. 1665 (2022);
[Imp.fact.: 4.601]

Benner, Peter; Goyal, Pawan; Heiland, Jan; Duff, Igor Pontes

Operator inference and physics-informed learning of low-dimensional models for incompressible flows
Electronic transactions on numerical analysis - Kent, Ohio: Kent State Univ., Bd. 56 (2022), S. 28-51;

Benner, Peter; Heiland, Jan; Werner, Steffen W. R.

A low-rank solution method for Riccati equations with indefinite quadratic terms
Numerical algorithms - Bussum: Baltzer . - 2022;
[Imp.fact.: 2.37]

Benner, Peter; Heiland, Jan; Werner, Steffen W. R.

Robust output-feedback stabilization for incompressible flows using low-dimensional H_{∞} -controllers
Computational optimization and applications - New York, NY [u.a.]: Springer Science + Business Media B.V.,
Bd. 82 (2022), 1, S. 225-249;
[Imp.fact.: 2.005]

Cherifi, Karim; Goyal, Pawan; Benner, Peter

A non-intrusive method to inferring linear port-Hamiltonian realizations using time-domain data
Electronic transactions on numerical analysis - Kent, Ohio: Kent State Univ., Bd. 56 (2022), S. 102-116;

Danilov, S.; Mehlmann, Carolin; Fofonova, V.

On discretizing sea-ice dynamics on triangular meshes using vertex, cell or edge velocities
Ocean modelling online - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 170 (2022);
[Imp.fact.: 3.293]

Deckelnick, Klaus; Herbert, Philip; Hinze, Michael

A novel $W_{1,\infty}$ approach to shape optimisation with Lipschitz domains
Control, optimisation and calculus of variations - Les Ulis: EDP Sciences, Bd. 28 (2022), 2, insges. 29 S.;

Deckelnick, Klaus; Styles, Vanessa

Finite element error analysis for a system coupling surface evolution to diffusion on the surface
Interfaces and free boundaries - Zürich: European Mathematical Soc. Publ. House, Bd. 24 (2022), 1, S. 63-93;
[Imp.fact.: 1.389]

Frei, Stefan; Heinlein, Alexander; Richter, Thomas

On temporal homogenization in the numerical simulation of atherosclerotic plaque growth
Proceedings in applied mathematics and mechanics - Weinheim: Wiley-VCH, Bd. 21 (2022), 1, insges. 5 S., 2021;

Hantke, Maren; Matern, Christoph; Warnecke, Gerald; Yaghi, Hazem

A new method to discretize a model for isothermal flow with a multi-component equation of state
Journal of computational and applied mathematics - Amsterdam [u.a.]: North-Holland, Bd. 422 (2023), insges.
10 S. ;
[Imp.fact.: 2.872]

Heiland, Jan; Benner, Peter; Bahmani, Rezvan

Convolutional neural networks for very low-dimensional LPV approximations of incompressible Navier-Stokes equations
Frontiers in applied mathematics and statistics - Lausanne: Frontiers Media, Bd. 8 (2022), insges. 15 S.;

Heiland, Jan; Kim, Yongho

Convolutional autoencoders and clustering for low-dimensional parametrization of incompressible flows
IFAC-PapersOnLine/ Internationale Förderung für Automatische Lenkung - Frankfurt: Elsevier, Bd. 55 (2022),
30, S. 430-435;

Heiland, Jan; Unger, Benjamin

Identification of linear time-invariant systems with dynamic mode decomposition
Mathematics - Basel: MDPI, Bd. 10 (2022), 3, insges. 13 S.;
[Imp.fact.: 2.592]

Jungclaus, J. H.; Lorenz, S. J.; Schmidt, H.; Brovkin, V.; Brüggemann, N.; Chegini, F.; Crüger, T.; De-Vrese, P.; Gayler, V.; Giorgetta, M. A.; Gutjahr, O.; Haak, H.; Hagemann, S.; Hanke, M.; Ilyina, T.; Korn, P.; Kröger, J.; Linardakis, L.; Mehlmann, Caroline; Mikolajewicz, U.; Müller, W. A.; Nabel, J. E. M. S.; Notz, D.; Pohlmann, H.; Putrasahan, D. A.; Raddatz, T.; Ramme, L.; Redler, R.; Reick, C. H.; Riddick, T.; Sam, T.; Schneck, R.; Schnur, R.; Schupfner, M.; Storch, J.-S.; Wachsmann, F.; Wieners, K.-H.; Ziemer, F.; Stevens, B.; Marotzke, J.; Claussen, M.

The ICON earth system model version 1.0

Journal of advances in modeling earth systems - Fort Collins, Colo., Bd. 14 (2022), 4, insges. 39 S.;
[Imp.fact.: 8.47]

Kalosha, J. I.; Zuyev, Alexander L.

Asymptotic stabilization of a flexible beam with an attached mass
Ukrainian mathematical journal - New York, NY: Consultants Bureau, Bd. 73 (2022), 10, S. 1537-1550;

Kaya, Utku; Braak, Malte

Stabilizing the convection-diffusion-reaction equation via local problems
Computer methods in applied mechanics and engineering - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 398 (2022);
[Imp.fact.: 6.588]

Korn, P.; Brüggemann, N.; Jungclaus, J. H.; Lorenz, S. J.; Gutjahr, O.; Haak, H.; Linardakis, L.; Mehlmann, Carolin; Mikolajewicz, U.; Notz, D.; Putrasahan, D. A.; Singh, V.; Storch, J.-S.; Zhu, X.; Marotzke, J.

ICON-O - the ocean component of the ICON Earth System Model\$global simulation characteristics and local telescoping capability

Journal of advances in modeling earth systems - Fort Collins, Colo., Bd. 14 (2022), 10;
[Imp.fact.: 8.47]

Kunik, Matthias; Liu, Hailiang; Warnecke, Gerald

Radially symmetric solutions of the ultra-relativistic Euler equations
Methods and applications of analysis - Somerville, Mass.: International Press, Bd. 28 (2021), 4, S. 401-422;

Kweyu, Cleophas; Feng, Lihong; Stein, Matthias; Benner, Peter

Reduced basis method for the nonlinear Poisson-Boltzmann equation regularized by the range-separated canonical tensor format

International journal of nonlinear sciences and numerical simulation - Berlin: de Gruyter . - 2022;
[Imp.fact.: 2.156]

Margenberg, Nils; Lessig, Christian; Richter, Thomas

Structure preservation for the Deep Neural Network Multigrid Solver
Electronic transactions on numerical analysis - Kent, Ohio: Kent State Univ., Bd. 56 (2022), S. 86-101;

Mehlmann, Carolin; Gutjahr, Oliver

Discretization of sea ice dynamics in the tangent plane to the sphere by a CD-grid-type finite element
Journal of advances in modeling earth systems - Fort Collins, Colo. . - 2022, insges. 24 S.;
[Imp.fact.: 8.47]

Misra, Rahul; Wisniewski, Rafal; Zuyev, Alexander

Attitude stabilization of a satellite having only electromagnetic actuation using oscillating controls
Aerospace - Basel: MDPI, Bd. 9 (2022), 8, insges. 14 S.;
[Imp.fact.: 2.66]

Rhode, Michael; Nietzke, Jonathan; Richter, Tim; Mente, Tobias; Mayr, Peter; Nitsche, Alexander

Hydrogen effect on mechanical properties and cracking of creep-resistant 9% Cr P92 steel and P91 weld metal
Welding in the world - Berlin: Springer . - 2022, insges. 12 S.;
[Imp.fact.: 1.984]

NICHT BEGUTACHTETE ZEITSCHRIFTENAUFsätze

Deruelle, Alix; Schulze, Felix; Simon, Miles

Initial stability estimates for Ricci flow and three dimensional Ricci-pinched manifolds
De.arxiv.org - [S.l.]: Arxiv.org . - 2022, insges. 40 S.;

BEGUTACHTETE BUCHBEITRäge

Chellappa, Sridhar; Feng, Lihong; Benner, Peter

An adaptive sampling approach for the reduced basis method
Realization and Model Reduction of Dynamical Systems - Cham: Springer International Publishing; Beattie, Christopher . - 2022, S. 137-155;

HABILITATIONEN

Minakowski, Piotr; Richter, Thomas [AkademischeR BetreuerIn]

Selected aspects of complex flow problems - modelling, analysis, numerics
Magdeburg: Universitätsbibliothek, Habilitationsschrift Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für
Mathematik 2022, 1 Online-Ressource (x, 200 Seiten, 18,15 MB) ;
[Literaturverzeichnis: Seite 189-200]

DISSERTATIONEN

Matern, Christoph; Warnecke, Gerald [AkademischeR BetreuerIn]

The Riemann problem for weakly hyperbolic two-phase flow model of a dispersed phase in a carrier fluid
Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2022, 1 Online-Ressource (x, 125 Seiten, 1,74 MB), Diagramme;

Penke, Carolin; Benner, Peter [AkademischeR BetreuerIn]

Efficient algorithms for solving structured Eigenvalue problems arising in the description of electronic excitations
Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2022, 1 Online-Ressource (xxi, 188 Seiten, 1,47 MB), Illustrationen;