

# Aktuelle Richtungen der Mathematik und Themen für Dissertationen

## Analysis (Analysis)

- Regularität von Lösungen nichtlinearer elliptischer PDE mit unstetigen Koeffizienten
- Langzeitdynamik und globale Attraktoren für dissipative Evolutionsgleichungen
- Spektraltheorie unbeschränkter Operatoren mit Anwendungen in der quantenmechanischen Dynamik
- Variationsmethoden für Freie-Randwert-Probleme (Free Boundary Problems)
- Harmonische Analysis auf Lie-Gruppen und Anwendungen auf partielle Differentialgleichungen
- Invariante Maße und ergodische Eigenschaften partiell hyperbolischer dynamischer Systeme
- Nichtlokale Differentialgleichungen mit fraktionalem Laplace-Operator in Diffusions- und Phasenübergangsmodellen
- Gradientenflüsse im Raum der Wahrscheinlichkeitsmaße (Wasserstein-Gradientenflüsse)
- Analyse von Singularitäten in der Navier–Stokes-Theorie und verwandten Strömungsmodellen
- Stabilität und Bifurkationen in stochastisch gestörten Evolutions-PDE

## Algebra (Algebra)

- Darstellungstheorie endlicher Gruppen Lie-Typs und strukturelle Eigenschaften modularer Kategorien
- Homologische Invarianten und Berechnungen in abgeleiteten Kategorien (Derived Categories)
- Kommutative Algebra und Singularitätentheorie algebraischer Varietäten
- Automorphismengruppen algebraischer Strukturen und Klassifikationsfragen

- Deformationstheorie von Algebren und Anwendungen in Geometrie und Topologie
- Kategorielle Methoden in der Darstellungstheorie und bei algebraischen Gruppen
- Invarianten von Ringen und Moduln: Tiefe, Regularität und Cohen–Macaulay-Eigenschaften
- Quanten-Gruppen und strukturelle Aspekte von Hopf-Algebren
- Torusinvariante Geometrie: torische Varietäten, Singularitäten und kombinatorische Modelle
- Algebraische K-Theorie und ihre Anwendungen in Geometrie und Topologie

## Geometrie & Topologie

- Riemannsche Geometrie unter Krümmungsrestriktionen und geometrische Flüsse
- Ricci-Fluss: Singularitätsanalyse und strukturelle Konsequenzen für Mannigfaltigkeiten
- Symplektische Geometrie und Floer-Invarianten für Hamiltonsche Dynamik
- Topologie von 4-Mannigfaltigkeiten und Invarianten aus der Gauge-Theorie
- Geometrische Gruppentheorie: Hyperbolizität, Ränder und Quasi-Isometrien
- Algebraische Topologie und stabile Homotopiekategorien
- Konfigurationsräume und Anwendungen in Dynamik und Robotik
- Modulräume von Bündeln in der algebraischen Geometrie: Stabilität und Geometrie
- Optimaler Transport auf Mannigfaltigkeiten: Geometrie, Regularität und Anwendungen
- Topological Data Analysis (TDA): Stabilität topologischer Invarianten und neue Konstruktionen

## Zahlentheorie

- Modulformen und automorphe Darstellungen: strukturelle und algorithmische Fragestellungen
- L-Funktionen: spezielle Werte, Analytik und Verknüpfungen mit arithmetischen Invarianten
- Diophantische Gleichungen: effektive Methoden zur Lösung und Abschätzungen
- p-adische Methoden in der arithmetischen Geometrie und Zahlentheorie

- Arithmetik elliptischer Kurven: Ränge, Isogenien und computergestützte Kriterien
- Galois-Darstellungen und Deformationsräume in arithmetischen Kontexten
- Siebmethoden und die Verteilung von Primzahlen in speziellen Folgen
- Arithmetik abelscher Varietäten: Struktur der Rationalpunkte und Anwendungen
- Modulare Kurven und rationale Punkte: Klassifikation und effektive Resultate
- Schnittstellen zur Kryptographie: Gitter- und Kurvenbasierte Zahlentheorie

## Logik & Grundlagen

- Modelltheorie für Strukturen mit Operatoren und Anwendungen in der Algebra
- Klassifikationstheorie (Stability/Simplicity): neue Strukturen und Phänomene der Instabilität
- Beweiskomplexität (Proof Complexity): untere Schranken und Grenzen formaler Beweissysteme
- Berechenbarkeit und Unentscheidbarkeit: neue Resultate zu Rekursion und Komplexitätsgraden
- Logische Methoden zur Programmverifikation: formale Spezifikationen und Automatisierung
- Mengenlehre und Forcing: Unabhängigkeitssätze und kardinale Strukturen
- Konstruktive und intuitionistische Logik: Grundlagen und Anwendungen in der Informatik
- Temporale und modale Logiken: Modellierung, Entscheidbarkeit und Anwendungen in dynamischen Systemen
- Kategorielle Logik und Typentheorie: Verbindungen zwischen Beweisen und Programmen
- Proof Mining: Extraktion quantitativer Informationen aus analytischen Beweisen

## Diskrete Mathematik

- Extremale Kombinatorik: neue Abschätzungen für Hypergraphen und Struktursätze
- Spektrale Graphentheorie: Methoden für Expander, Clustering und Netzwerkanalysen
- Zufallsgraphen und Schwellenphänomene: Konnektivität und robuste Eigenschaften

- Additive Kombinatorik: Sumset-Strukturen und Anwendungen in der Zahlentheorie
- Algorithmische Kombinatorik: effiziente Zähl- und Enumerationsverfahren für diskrete Strukturen
- Matroidtheorie und Verallgemeinerungen für kombinatorische Optimierungsprobleme
- Diskrete Geometrie: Packungs-, Überdeckungs- und Distanzprobleme in hohen Dimensionen
- Kombinatorische Designs und Anwendungen in Codierung und Kryptographie
- Großskalige Netzwerkmodelle: Graphlimits und strukturelle Invarianten
- Kombinatorische Methoden in der Topological Data Analysis (TDA)

## Numerik

- Adaptive Finite-Elemente-Methoden (FEM/HP-FEM) für Probleme mit Grenzschichten und Singularitäten
- Numerische Verfahren für nichtlokale PDE und fraktionale Operatoren
- Stabile Mehrskalenmethoden für gekoppelte Modelle in Mechanik und Materialwissenschaften
- Hochordnungsverfahren für Strömungsprobleme: spektrale Methoden und Diskretisierungsanalysen
- Strukturerhaltende Zeitintegrationsverfahren für Hamiltonsche Systeme und Erhaltungssätze
- Inverse Probleme: Regularisierung, Stabilitätsanalysen und effiziente Rekonstruktionsalgorithmen
- Numerische Analyse stochastischer PDE: Stabilität und A-posteriori Fehlerabschätzungen
- CFD-Methoden für komplexe Geometrien und bewegte Randbedingungen
- Präkonditionierung und Lösungsverfahren für große dünnbesetzte lineare Gleichungssysteme
- Data-driven Numerik: ML-gestützte Beschleunigung von Lösern mit Fehlerschranken

## Optimierung & Operations Research

- Stochastische Optimierung unter Rauschen: Verfahren mit begrenzter Gradienteninformation
- Konvexe Optimierung für Rekonstruktions- und Inverse-Probleme in hohen Dimensionen
- Optimierung auf Mannigfaltigkeiten (Manifold Optimization) für Datenanalyse und maschinelles Lernen
- Approximationsalgorithmen in der diskreten Optimierung mit Gütegarantien
- Optimal Transport: theoretische Grundlagen und skalierbare numerische Verfahren
- Netzwerk- und Graphoptimierung für Logistik, Routing und Ressourcenallokation
- Robuste Optimierung bei Parameterunsicherheit: Modelle, Algorithmen und Garantien
- Online-Optimierung und Learning-basierte Steuerung in dynamischen Systemen
- PDE-beschränkte Optimierung (PDE-constrained Optimization) in Technik und Physik
- Mehrkriterielle Optimierung: Modellierung und effiziente Lösungsstrategien für Planungsprobleme

## Mathematische Modellierung

- Reaktions-Diffusions-Modelle zur Erklärung biologischer Musterbildung und Stabilität
- Phase-Field-Modelle für Materialprozesse: Rissausbreitung, Phasenübergänge und Numerik
- Strömung in porösen Medien: Modellierung, Parameterschätzung und Unsicherheitsanalyse
- Epidemiologische Modelle mit heterogenen Kontaktstrukturen und Mobilitätseinflüssen
- Verkehrsflussmodelle und Steuerungsansätze für Stauvermeidung und Netzstabilität
- Ökonomische Netzwerkmodelle: Dynamik, Gleichgewichte und systemische Risiken
- Klimamodelle und Modellreduktion: effiziente Simulation und Quantifizierung von Unsicherheit
- Agentenbasierte Modelle sozialer Prozesse: Migration, Integration und Entscheidungsdynamiken
- Biomechanische Modelle für Gewebe: Wachstum, Remodellierung und Parameteridentifikation

- Energiemodelle: Netzstabilität, Lastfluss und Optimierung unter Unsicherheit

## Scientific Computing / HPC

- GPU- und HPC-parallele Algorithmen für großskalige PDE-Simulationen
- Skalierbares Load Balancing für adaptive numerische Verfahren auf verteilten Systemen
- Reduced Order Modeling (ROM) für Echtzeit-Simulation und schnelle Vorhersage
- Surrogate Modeling und hybride Physik-ML-Ansätze für beschleunigte Simulationen
- Hochperformante Lineare Algebra für extrem dünnbesetzte Matrizen und Graphsysteme
- Robuste Eigenwertverfahren für sehr große Systeme: Stabilität und Konvergenzanalysen
- Automatisches Differenzieren in Scientific Computing: effiziente Ableitungen für Optimierung
- Reproduzierbarkeit und Verifikation numerischer Experimente in komplexen Workflows
- Uncertainty Quantification (UQ) in Ingenieurmodellen: Sampling, Surrogates und Fehlerkontrolle
- Multiskalen-Simulationen mit adaptiver Auflösung und dynamischer Modellkopplung

## Wahrscheinlichkeitstheorie

- Stochastische Differentialgleichungen: Regularität, Existenz und Stabilität der Lösungen
- Seltene Ereignisse und Large Deviations: effiziente Monte-Carlo-Strategien und Theorie
- Zufallsmatrizen: spektrale Grenzesetze und Anwendungen in Statistik und Physik
- Martingalmethoden in Finanz- und Risikomodellen: Bewertung und Grenzverhalten
- Grenzwertsätze für abhängige Zufallsvariablen: Konzentration und asymptotische Normalität
- Markov-Ketten: Mischzeiten, Kopplungsmethoden und Beschleunigungstechniken
- Stochastische Prozesse auf Graphen und Netzwerken: Dynamik, Ausbreitung und Stabilität
- Verzweigungsprozesse und kritische Phänomene in zufälligen Systemen
- Warteschlangensysteme und stochastische Netzwerke: Modellierung und Optimierung

- Entropie- und Konzentrationsmethoden in hochdimensionalen Wahrscheinlichkeitsräumen

## **Statistik & Data Science**

- Hochdimensionale Regression: robuste Schätzer und Inferenz unter schwachen Annahmen
- Bayes'sche Statistik für hierarchische Modelle: Skalierbarkeit und Approximation
- Causal Inference in Beobachtungsdaten: Identifizierbarkeit und robuste Verfahren
- Generalisation und Unsicherheit in StatML: Theorie, Bounds und Kalibrierung
- Multiple Tests und FDR-Kontrolle: Methoden für große Hypothesenräume
- Federated Learning: statistische Garantien und Effekte heterogener Datenverteilungen
- Differential Privacy: statistische Effizienz unter Datenschutzrestriktionen
- Generative Modelle: statistische Eigenschaften, Identifikation und Qualitätsmetriken
- Nichtparametrische Methoden für Zeitreihen und Ereignisdaten: Struktur und Inferenz
- Distribution Shift und Modellmonitoring: Detektion, Anpassung und Risikobewertung

## **Theoretische Informatik (mathematisch)**

- Komplexitätstheorie: untere Schranken und Trennungen von Komplexitätsklassen
- Approximationsalgorithmen und Grenzen der Approximierbarkeit für NP-schwere Probleme
- Randomisierung und Derandomisierung: probabilistische Methoden und Pseudorandomness
- Parametrisierte Komplexität: FPT-Algorithmen und Kernisierungstechniken
- Graphalgorithmen: Treewidth-basierte Methoden und effiziente Dynamische Programmierung
- Streaming-Algorithmen für massive Daten: Speichergrenzen und Genauigkeitsgarantien
- Codierungstheorie: neue Code-Konstruktionen und Decoding-Algorithmen mit Garantien
- Algorithmische Spieltheorie: Mechanism Design und Effizienzgrenzen in Märkten
- Quantenalgorithmen: Ressourcenkomplexität und Vergleich zu klassischen Grenzen

- Formale Verifikation von Algorithmen: Beweisführung, Zertifikate und Korrektheitsgarantien

## Kryptographie

- Gitterbasierte Post-Quantum-Kryptographie: Parameterwahl, Sicherheitsreduktionen und Effizienz
- Zero-Knowledge-Proof-Systeme: Konstruktionen, Performanz und formale Sicherheitsnachweise
- Isogenie-basierte Kryptographie: neue Protokolle sowie Angriffsszenarien und Gegenmaßnahmen
- Secure Multi-Party Computation (MPC): Protokolle mit minimalen Vertrauensannahmen
- Signatur- und Verschlüsselungsschemata gegen adaptive Gegner: Modelle und Reduktionen
- Hashfunktionen: Kryptanalyse, Sicherheitsmodelle und neue Designprinzipien
- Privacy im Blockchain-Kontext: beweisbare Protokolle und skalierbare Implementierungen
- Formale Sicherheitsmodelle für Protokolle: automatische Analyse und Verifikationsansätze
- Pseudorandomness (PRF/PRG): Konstruktionen, Annahmen und Sicherheitsgrenzen
- Leichtgewichtige Kryptographie für IoT: robuste Schemata und Effizienz in restriktiven Umgebungen

## Interdisziplinäre Mathematik (Finanzen, Physik, Medizin, Kontrolle)

- Finanzmathematik mit Sprüngen: stochastische Volatilitätsmodelle und Kalibrierungsverfahren
- Optimale Regelung in der Robotik: Stabilität, Beobachterdesign und Constraints
- Inverse Probleme in der medizinischen Bildgebung (MRI/CT): Regularisierung und schnelle Rekonstruktion



- Mathematische Onkologie: Wachstumsmodelle, Therapieoptimierung und Parameteridentifikation
- Turbulenzmodelle in der mathematischen Physik: Skalenanalyse und statistische Strukturen
- Ausbreitung von Schadstoffen: Transportmodelle, Unsicherheit und Risikoabschätzung
- PDE-basierte Regelungssysteme: Kontrollierbarkeit, Stabilität und numerische Umsetzung
- Strukturelle Parameteridentifikation in der Biomechanik: Modelle, Daten und Inferenz
- Stabilität von Energienetzen: mathematische Modelle für Frequenz- und Lastschwankungen
- Warteschlangentheorie im Gesundheitswesen: Ressourcenoptimierung und Stochastik