

**Fakultät für Mathematik**

**Master-Studiengang  
Mathematics**

**Modulhandbuch**

15. Juli 2025

Herausgegeben von den Studiendekanen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Verbreiterungsbereich	1
	Mathematische Rückblicke	2
2	Erweiterungsbereich	3
2.1	Schwerpunkt Algebra	4
	Algebraische Geometrie I	4
	Algebraische Topologie	5
	Algebraische Zahlentheorie II	7
	Analytische Zahlentheorie I	9
	Komplexe Geometrie I	10
	Modulformen I	12
	Riemannsche Flächen I	14
2.2	Schwerpunkt Analysis	15
	Differentialgeometrie I	15
	Differenzierbare Mannigfaltigkeiten	17
	Eindimensionale Variationsrechnung	18
	Funktionalanalysis II	19
	Minimalflächen	20
	Riemannsche Geometrie I	21
	Variationsrechnung I	23
2.3	Schwerpunkt Numerik	24
	Gemischte Finite-Element-Methoden	24
	Numerik von Evolutionsgleichungen	25
2.4	Schwerpunkt Optimierung	27
	Mathematische Spieltheorie	27
	Mathematische Bildverarbeitung	28
	Stochastische Optimierung	29
	Variationsrechnung und optimale Steuerung bei gewöhnlichen Differentialgleichungen	30
2.5	Schwerpunkt Stochastik	31
	Wahrscheinlichkeitstheorie II	31
3	Vertiefungsbereich	33
3.1	Schwerpunkt Algebra	34
	Algebraische Geometrie II	34
	Komplexe Geometrie II	35
	Riemannsche Flächen II	37
	Ausgewählte Themen der Algebraischen Geometrie	38
	Ausgewählte Themen der Komplexen Geometrie	39
	Ausgewählte Themen der Zahlentheorie	41
3.2	Schwerpunkt Analysis	43
	Analysis und Numerik von Interpolationsräumen	43
	Analysis von Variationsungleichungen	44
	Evolutionsgleichungen	46
	Nichtlineare Funktionalanalysis	48
	Ausgewählte Themen der Analysis	50
3.3	Schwerpunkt Numerik	51
	Mehrgitter- und Gebietszerlegungsmethoden	51
	Theory und Numerik von Variationsungleichungen	52
	Theorie und Numerik geometrischer partieller Differentialgleichungen	54
	Ausgewählte Themen der Numerischen Mathematik	55
3.4	Schwerpunkt Optimierung	57
	Formoptimierung	57

	Industrielle Anwendungen der Mathematischen Optimierung . . . . .	58
	Nichtglatte Analysis und Optimierung . . . . .	59
	Numerik und Optimierung großer nichtlinearer Systeme . . . . .	60
	Numerische Analysis für Optimalsteuerungsprobleme . . . . .	61
	Optimale Steuerung von partiellen Differentialgleichungen . . . . .	62
	Ausgewählte Themen der inversen Probleme . . . . .	63
	Ausgewählte Themen der Optimierung . . . . .	64
3.5	Schwerpunkt Stochastik . . . . .	65
	Ausgewählte Themen der angewandten Stochastik . . . . .	65
	Aspekte des Risikomanagements . . . . .	66
	Maschinelles Lernen . . . . .	67
	Numerik stochastischer Prozesse . . . . .	69
	Theorie der großen Abweichungen . . . . .	71
	Zeitreihenanalyse . . . . .	73
	Zeitstetige Finanzmathematik . . . . .	75
	Ausgewählte Themen der Stochastischen Analysis . . . . .	76
	Ausgewählte Themen stochastischer Prozesse . . . . .	77
4	Seminarbereich . . . . .	78
4.1	Schwerpunkt Algebra . . . . .	79
	Master-Seminar Algebra . . . . .	79
4.2	Schwerpunkt Analysis . . . . .	81
	Master-Seminar Analysis . . . . .	81
4.3	Schwerpunkt Numerik . . . . .	82
	Master-Seminar Numerische Mathematik . . . . .	82
4.4	Schwerpunkt Optimierung . . . . .	83
	Master-Seminar Optimierung . . . . .	83
4.5	Schwerpunkt Stochastik . . . . .	84
	Masterseminar Stochastik . . . . .	84
5	Masterarbeit . . . . .	85
	Masterarbeit . . . . .	86

---

## **1 Verbreiterungsbereich**

Der Verbreiterungsbereich enthält das Modul Mathematische Rückblicke. Darin können bis zu 9 Credits durch eine Prüfung zu einer Vorlesung des Aufbaubereichs des Bachelor-Programms erworben werden. Das Modul dient als Möglichkeit, die - aus Sicht des Masterstudiums - grundlegenden mathematischen Kenntisse zu verbreitern.

Wir verweisen für detaillierte Informationen zum Studienablauf auf die Prüfungsordnungen.

## Mathematische Rückblicke

### Titel Englisch

Mathematical retrospectives

### Verantwortlich

Prof. Dr. Frank Müller

### Angebotsturnus

jedes Semester

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Verbreiterungsbereich

### Lernziele

Die Studierenden erweitern das im Bachelor-Studiengang erworbene Wissen um Grundkenntnisse aus dort nicht betrachteten Gebieten und können dies mit den Inhalten der im Master-Studiengang gewählten Spezialisierungen in Beziehung setzen.

### Inhalt

Eine beliebige Lehrveranstaltung aus einem der Module des Aufbaubereichs des Bachelor-Studiums Mathematik.

Das gewählte Modul darf nicht bereits in die Bachelor-Prüfung des für die Zulassungsvoraussetzung vorgelegten Studiengangs eingebracht worden sein. (Ausnahme: Zusatzleistungen oder Leistungen

im Rahmen eines Bachelor-Studiengangs mit mehr als sechs Semestern bzw. 180 ECTS.)

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Any lecture from one of the modules of the Bachelor's degree program in Mathematics.

The chosen module may not have been included in the Bachelor's examination of the study program for which the admission requirements were submitted. (Exception: additional achievements or achievements in the context of a Bachelor's program with more than six semesters or 180 ECTS points.)

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

---

## 2 Erweiterungsbereich

Im Erweiterungsbereich sind Module angesiedelt, die als Basisveranstaltungen des Masterstudiengangs Mathematics einzuordnen sind. Inhaltlich sind die Module unterteilt in die fünf Schwerpunkte

- Algebra
- Analysis
- Numerische Mathematik
- Optimierung
- Stochastik

Einige Module sind zusätzlich zu ihrem „Hauptschwerpunkt“ auch weiteren Schwerpunkten zugeordnet.

Im Masterstudiengang Mathematics können maximal 45 Credits im Erweiterungsbereich erworben werden.

Module des Erweiterungsbereichs, für die eine zugeordnete Lehrveranstaltung bereits in die Bachelor-Prüfung des für die Zulassungsvoraussetzung vorgelegten Studiengangs eingebbracht worden ist, können nicht angerechnet bzw. anerkannt werden; ausgenommen sind Zusatzleistungen oder Leistungen im Rahmen eines Bachelorstudiengangs mit mehr als sechs Semestern bzw. 180 ECTS-Punkten.

Wir verweisen für detaillierte Informationen zum Studienablauf auf die Prüfungsordnung.

## 2.1 Schwerpunkt Algebra

Mathematik

### Algebraische Geometrie I

#### Titel Englisch

Algebraic geometry I

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Hein

#### Angebotsturnus

WS, jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra, Algebra und Algebra II

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Inhalte des Moduls Algebra. Diese können ersetzt werden durch die Inhalte der beiden Module Funktionentheorie I und Riemannsche Flächen I.

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Erweiterungsbereich

#### Schwerpunkt

Algebra

#### Lernziele

Die Teilnehmer sollen die algebraischen Methoden erlernen, die in der Geometrie von Nutzen sind. Sie sollen geometrische Fragestellungen kennen lernen und die Bedeutung der Garben und Kohomologietheorie für deren Behandlung. Das Modul kann als Grundlage dienen für anschließende Seminare und weiterführende Vorlesungen aus der algebraischen Geometrie.

- Durchdringen anspruchsvoller Beweise
- Erlernen des Wechselspiels zwischen Geometrie und Algebra
- Anwenden der Theorie auf abstrakte und konkrete Probleme in den Übungen
- Mündliche und schriftliche Präsentation der eigenen Ansätze und Lösungen

#### Inhalt

Einführung in die Grundlagen der algebraischen Geometrie, insbesondere (die hier angegebene Reihenfolge ist nicht obligatorisch):

- Affine Varietäten, Spektren und Morphismen
- Projektive Varietäten
- Garben und Schemata

Die Übungen zur Vorlesung Algebraische Geometrie I finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

Introduction to the basics of algebraic geometry, in particular (the given order is not obligatory):

- Affine varieties, spectra, and morphisms
- Projective varieties
- Sheaves and schemes

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

9.

#### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Algebraische Topologie

### Titel Englisch

Algebraic topology

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Topologie oder Analysis III

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

- Erlernen der Grundbegriffe der algebraischen Topologie
- Erfahrungen mit der Theorie der Klassifikation von Objekten
- Berechnung von (Ko-)homologiegruppen
- Präsentation und Diskussion eigener Lösungen in den Übungen

### Inhalt

Ein Reifen sieht wirklich anders aus als eine Kugeloberfläche. Die Algebraische Topologie gibt uns die Werkzeuge, die diese Begriffe präziser machen und es erlauben, zum Beispiel Flächen durch Invarianten voneinander zu unterscheiden.

Diese Invarianten (Kohomologie, Homologie, Homotopiegruppen) finden sich auch in anderen Gebieten der Mathematik wie der Gruppentheorie, Algebraische oder Analytische Geometrie, etc.).

Einführung in die Algebraische Topologie; mögliche Themen sind:

- Topologische Räume und Mannigfaltigkeiten.
  - Klassifizierung kompakter zweidimensionaler Mannigfaltigkeiten.
  - Fundamentalgruppe, universelle Überlagerung und Galois-Operation.
  - (Ko-)homologietheorie von Komplexen.
  - Simpliciale und singuläre Homologie.
  - De Rham Kohomologie und Integration.
  - Kohomologie, Cup Produkt und Dualität.
- Die Übungen zur Algebraischen Topologie finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

A torus looks very different from a sphere's surface. Algebraic topology gives us the tools to make these terms more precise and allows, for example, to distinguish between surfaces by their invariants.

These invariants (cohomology, homology, homotopy groups) are also found in other areas of mathematics such as group theory, algebraic or analytic geometry, etc.).

Introduction to algebraic topology; possible topics are:

- Topological spaces and manifolds
- Classification of compact two-dimensional manifolds
- Fundamental group, universal covering, and Galois operation
- (Co-)homology of complexes
- Simplex and singular homology
- De Rham cohomology and integration
- Cohomology, cup product, and duality

### Literaturbeispiele

- G. Brendon: Geometry and Topology, Springer
- A. Hatcher: Algebraic Topology, CUP
- R. Stöcker, H. Zieschang: Algebraische Topologie, Teubner

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

Lehrform	Prüfungsform
Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS	
Arbeitsaufwand	
270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)	Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer schriftlichen oder mündlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
ECTS-Punkte	
9.	

## Algebraische Zahlentheorie II

### Titel Englisch

Algebraic number theory II

### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Hein

### Angebotsturnus

SS, jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Algebraische Zahlentheorie I

### Voraussetzungen (empfohlen)

Algebra, Algebra 2

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

### Lernziele

Die Teilnehmer sollen die fortgeschrittenen Methoden erlernen, die in der modernen Zahlentheorie von Nutzen sind. Sie sollen die Bedeutung der lokalen Körper und Kohomologietheorie für die Beantwortung arithmetischer Probleme kennenlernen.

- Durchdringen anspruchsvoller Beweise
- Erlernen des Wechselspiels zwischen elementaren Fragen und modernen Techniken
- Anwenden der Methoden auf abstrakte und konkrete Probleme in den Übungen
- Mündliche und schriftliche Präsentation der eigenen Ansätze und Lösungen

### Inhalt

Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Klassenkörpertheorie. Typische Themen sind:

1. Reziprozitätsgesetze (lokal oder global)
  - Aussage des lokalen und globalen Reziprozitätsgesetzes
  - Anwendungen
2. Lokale Körper
  - Bewertungen und Vervollständigung
  - multiplikative Gruppe eines  $p$ -adischen Zahlkörpers
  - Verzeigungstheorie
3. Kohomologie endlicher Gruppen
  - G-Moduln
  - Kohomologiegruppen
  - exakte Kohomologiesequenz
  - Satz von Tate
  - Galoiskohomologie
4. Lokale Klassenkörpertheorie
  - Lubin-Tate theorie
  - Brauergruppe
  - lokales Reziprozitätsgesetz

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The lecture provides an introduction to the theory of class field theory.

Typical topics are:

1. Reciprocity laws (local or global)
  - Statement of the local and global reciprocity laws
  - Applications
2. Local fields
  - Valuations and completion
  - Multiplicative group of a  $p$ -adic number field
  - Valuation theory
3. Cohomology of finite groups
  - G-modules
  - Cohomology groups
  - exact cohomology sequence

- Tate's theorem
  - Galois cohomology
4. Local class field theory
- Lubin-Tate theory
  - Brauer group
  - local reciprocity law

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

9.

#### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Basis der Übungsaufgaben und einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Analytische Zahlentheorie I

### Titel Englisch

Analytic number theory I

### Verantwortlich

Prof. Dr. Vytautas Paskunas

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis (Analysis I und II),  
Grundlagen der Linearen Algebra (Lineare Algebra I und II)

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

### Lernziele

- Die Teilnehmer erlernen die Methoden analytischen der Zahlentheorie
- Sie durchdringen anspruchsvolle Beweise
- Sie erlernen durch Übungsaufgaben klassische Anwendungen kennen
- Sie präsentieren ihre Lösungen sowohl schriftlich als auch mündlich

### Inhalt

Die analytische Zahlentheorie erlaubt die Verbindung von Zahlentheorie und Analysis.

Typische Punkte einer Vorlesung sind:

- Riemannsche Zetafunktion und Verteilung der Primzahlen
- L-Reihen

- Primzahlen in arithmetischen Progression
- Taubersche Sätze
- Dedekindsche Zetafunktion und analytische Klassenzahlformel

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Analytic number theory allows the connection of number theory and analysis.

Typical points of a lecture are:

- Riemann's zeta function and distribution of prime numbers
- L-series
- Prime numbers in arithmetic progressions
- Tauber's theorems
- Dedekind's zeta function and analytic class number formula

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung vierstündig mit Übungen zweistündig

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Komplexe Geometrie I

### Titel Englisch

Complex geometry I

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

WS, alle zwei Jahre im Wechsel mit Riemannsche Flächen I

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Funktionentheorie

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Die Begriffswelt der komplexen Mannigfaltigkeiten erlaubt ein Zusammenspiel von Anschauung und Theorie. Die Teilnehmer sollen lernen, die Anschauung formal sauber in analytische und algebraische Fragestellungen umzuformulieren, die Fragestellungen mit den präsentierten Methoden zu lösen, und die so gewonnenen Ergebnisse zu interpretieren.

- Erlernen der Grundbegriffe
- Durchdringen langerer Beweise
- Anwenden der Theorie auf Übungsaufgaben
- Präsentation und Diskussion der eigenen Lösungen in den Übungen

Das Modul kann zu einer Bachelor-Arbeit hinführen.

### Inhalt

Einführung in die Theorie komplexer Mannigfaltigkeiten. Mögliche Themen (Reihenfolge nicht verpflichtend):

- holomorphe Funktionen mehrerer Veränderlicher
- Weierstraß-Vorbereitungssatz und Konsequenzen
- Definition des Begriffs komplexe Mannigfaltigkeiten
- Konstruktionen komplexer Mannigfaltigkeiten, insbesondere als Quotienten nach komplexen Lie-Gruppen und als Untermannigfaltigkeiten von projektiven Räumen
- meromorphe Funktionen, meromorphe Funktionenkörper
- Divisoren und Geradenbündel, Abbildungen assoziiert zu diesen
- Kohomologietheorie (topologisch, algebraisch)
- Dolbeaut-Theorie

Die Übungen zur Vorlesung Komplexe Geometrie I finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Introduction to the theory of complex manifolds. Possible topics (order not obligatory):

- holomorphic functions of several variables
- Weierstrass preparation theorem and consequences
- definition of complex manifold
- constructions of complex manifolds, in particular as quotients by complex Lie groups and as submanifolds of projective spaces
- meromorphic functions, meromorphic function fields
- divisors and line bundles, associated maps
- cohomology theory (topological, algebraic)
- Dolbeault theory

**Literaturbeispiele**

- Fritzsche-Grauert: From holomorphic functions to complex manifolds, Springer
- Huybrechts: Complex Geometry, Springer
- Voisin: Hodge Theory and Complex Algebraic Geometry, Cambridge University Press

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Modulformen I

### Titel Englisch

Modular forms I

### Verantwortlich

Prof. Dr. Massimo Bertolini

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Funktionentheorie

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

- Systematische Vertiefung und Erweiterung der im Bachelorstudium erlangten Kenntnisse und Fähigkeiten zur Mathematik
- Verbreiterung des eigenen mathematischen Wissens durch Herstellung auch inhaltlich komplexer Beziehungen zwischen den verschiedenen Bereichen der Mathematik
- Kennenlernen ganzer Theorien und damit verbundene Beherrschung komplexer mathematischer Methoden und Techniken

### Inhalt

Modulformen sind sehr wichtige Beispiele holomorpher Funktionen, die eine Verbindung von Modulräumen elliptischer Kurven zu holomorphen Funktionen mit bestimmten Transformationseigenschaften herstellen.

Die Vorlesung könnte wie folgt aufgebaut sein:

- Elliptische Modulgruppen

- Eisensteinreihen
- Algebra der Modulformen
- die j-Funktion
- elliptische Funktionen
- Anwendung auf elliptische Kurven
- Kongruenzuntergruppen
- Körper von Modulfunktionen
- Dimension von Modulformen-Räumen
- Anwendung auf Thetareihen ganzzahliger Gitter
- Hecke-Theorie

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Modular forms are very important examples of holomorphic functions that establish a connection between moduli spaces of elliptic curves and holomorphic functions with certain transformation properties.

The lecture could be structured as follows:

- Elliptic modular group
- Eisenstein series
- algebra of modular forms
- the j-function
- elliptic functions
- application to elliptic curves
- congruence subgroups
- field of modular functions
- dimension of modular forms spaces
- application to theta series of lattices
- Hecke theory

### Literaturbeispiele

N. Koblitz: Introduction to elliptic curves and modular forms, Springer 1984.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung vierstündig mit Übungen zweistündig

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer münd-

lichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Riemannsche Flächen I

### Titel Englisch

Riemann surfaces I

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

WS, alle zwei Jahre im Wechsel mit Komplexe Geometrie I

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra

### Voraussetzungen (empfohlen)

Funktionentheorie

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Die Begriffswelt der Riemannschen Flächen erlaubt ein Zusammenspiel von Anschauung und Theorie. Die Teilnehmer sollen lernen, die Anschauung formal sauber in analytische Fragestellungen umzuformulieren und die so gewonnenen Ergebnisse zu interpretieren.

- Erlernen der Grundbegriffe
- Durchdringen längerer Beweise
- Anwenden der Theorie auf Übungsaufgaben
- Präsentation und Diskussion der eigenen Lösungen in den Übungen

Das Modul kann zu einer Bachelor-Arbeit hinführen.

### Inhalt

Einführung in die Theorie der Riemannschen Flächen, insbesondere (die hier angegebene Reihenfolge ist nicht obligatorisch):

- Topologie von Mannigfaltigkeiten
- Definition Riemannscher Flächen
- Analytische Garben, insbesondere die der Differentialformen
- Kohomologie, Serre-Dualität, Riemann-Roch.

Die Übungen zur Vorlesung Riemannsche Flächen I finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Introduction to the theory of Riemann surfaces, in particular (the given order is not obligatory):

- topology of manifolds
- definition of Riemann surfaces
- analytic sheaves, in particular of differential forms
- cohomology, Serre duality, Riemann-Roch

### Literaturbeispiele

- Forster, Lectures on Riemann Surfaces, Springer, 1981.
- Miranda, Algebraic Curves and Riemann Surfaces, AMS, 1995.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung vergeben. Der Lehrende legt die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen fest.

## 2.2 Schwerpunkt Analysis

Mathematik

### Differentialgeometrie I

#### Titel Englisch

Differential geometry I

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

#### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Erweiterungsbereich

#### Schwerpunkt

Analysis

#### Lernziele

Die Studierenden lernen die Krümmungsgrößen geometrischer Objekte (Kurven und Flächen) und deren tieferliegende Eigenschaften (Theorema egregium) kennen. Im Satz von Gauß-Bonnet gewinnen die Studierenden Einblick in das Zusammenwirken verschiedener mathematischer Disziplinen (wie Analysis-Geometrie-Topologie). Das Modul kann als Grundlage dienen für anschließende Seminare aus der Differentialgeometrie, den partiellen Differentialgleichungen und der algebraischen Geometrie.

#### Inhalt

- Lokale Kurventheorie im  $\mathbb{R}^n$  oder  $\mathbb{R}^3$
- Hauptsatz der Kurventheorie
- Lokale Flächentheorie im  $\mathbb{R}^3$
- Hauptsatz der Flächentheorie
- Theorema Egregium

- Geodätische Linien

optional:

- Satz von Gauß-Bonnet
- Exponentialabbildung
- Satz von Hopf-Rinow
- Jacobi-Felder
- Anfänge der Riemannschen Geometrie

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

- local curve theory in  $\mathbb{R}^n$  or  $\mathbb{R}^3$
- fundamental theorem of curve theory
- local surface theory in  $\mathbb{R}^3$
- fundamental theorem of surface theory
- Theorema Egregium
- geodesic lines
- optional:
- Gauss-Bonnet theorem
- exponential map
- Hopf-Rinow theorem
- Jacobi fields
- beginnings of Riemannian geometry

#### Literaturbeispiele

- do Carmo: Diff. Geom. of curves and Surfaces. Prentice Hall 1976
- W. Kühnel: Differentialgeometrie. Vieweg 1999
- W. Klingenberg: Eine Vorlesung über Differentialgeometrie. Springer 1973
- do Carmo: Riemannian Geometry. Springer 1992

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Vorleistung: Lösen von Übungsaufgaben. Die

ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Differenzierbare Mannigfaltigkeiten

### Titel Englisch

Differentiable manifolds

### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

### Angbottsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra, Analysis III

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Algebra

### Lernziele

Die Studierenden lernen das Konzept der differenzierbaren Mannigfaltigkeiten kennen, sowie grundlegende Konzepte der Analysis, Geometrie und Topologie dieser Objekte.

- Erlernen der Grundbegriffe
- Durchdringen längerer Beweise
- Anwendung der erlernten Theorie auf Übungsaufgaben
- Selbständiges Lösen von Übungsaufgaben und strukturierte Darlegung der Lösungswege

### Inhalt

Einführung in die Analysis, Geometrie und Topologie differenzierbarer Mannigfaltigkeiten:

- Differenzierbare Mannigfaltigkeiten: Definition und Beispiele
- Tangentialraum
- Vektorbündel

- de Rham Cohomologie von Mannigfaltigkeiten, deren Eigenschaften und Berechnung.

Optional können weitere Konzepte aus der Differentialtopologie und/oder der Riemannschen Geometrie besprochen werden. Die Übungen zur Vorlesung Differenzierbare Mannigfaltigkeiten finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Introduction to the analysis, geometry, and topology of differentiable manifolds:

- differentiable manifolds: definition and examples
- tangent space
- vector bundles
- de Rham cohomology of manifolds, their properties and computation

Optional, further concepts from differential topology and/or Riemannian geometry can be discussed. The exercises for the lecture on differentiable manifolds take place in small groups. The material of the lectures is deepened in weekly written assignments.

### Literaturbeispiele

Jeffrey M. Lee "Manifolds and Differential Geometry"

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen. Die Lehrenden können die Zulassung zur Klausur von der aktiven Teilnahme am Übungsbetrieb abhängig machen.

## Eindimensionale Variationsrechnung

### Titel Englisch

One-dimensional calculus of variations

### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Analysis III

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Numerik, Optimierung

### Lernziele

Erlernen von Grundbegriffen und wichtigen Beweistechniken aus der Variationsrechnung

### Inhalt

Das Ziel der Variationsrechnung ist es, optimale Lösungen eines Problems zu finden und ihre Eigenschaften zu beschreiben. Zum Beispiel kann man die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf einer Fläche suchen.

Die Variationsrechnung spielt in Geometrie, Physik und Numerik eine wichtige Rolle.

Thema der Vorlesung ist eine Einführung in die Variationsrechnung in einer Dimension. Technisch betrachtet etwas einfacher, beleuchtet der eindimensionale Fall zahlreiche Phänomene, die auch bei mehrdimensionalen Problemen eine Rolle spielen.

Hauptthema wird die Frage nach der Existenz und den Eigenschaften von Minima – oder allgemeiner von Extrema – von Funktionen sein. Funktionale ordnen einer Funktion  $u = u(x)$ ,  $x \in (a, b)$  eine reelle Zahl

$$\mathcal{F}(u) = \int_a^b F(x, u(x), u'(x)) dx$$

zu. Hierbei ist die Funktion  $F$  gegeben und vom konkreten Problem abhängig.

Nach einer Einführung mit den klassischen Methoden, werden wir uns mit den moderneren sogenannten „direkten Methoden“ vertraut machen.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The goal of variational calculus is to find optimal solutions to a problem and describe their properties. For example, one can look for the shortest connection between two points on a surface.

Variational calculus plays an important role in geometry, physics, and numerical analysis.

The topic of the lecture is an introduction to variational calculus in one dimension. Technically, it is somewhat simpler, but it illuminates many phenomena that also occur in higher-dimensional problems.

The main topic will be the question of the existence and properties of minima - or more generally of extrema - of functionals.

Functionals assign a real number to a function  $u = u(x)$ ,  $x \in (a, b)$

$$\mathcal{F}(u) = \int_a^b F(x, u(x), u'(x)) dx$$

Here, the function  $F$  is given and depends on the specific problem.

### Literaturbeispiele

B. Dacorogna, Introduction to The calculus of Variations, Imperial College Press, 2004.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung

### Arbeitsaufwand

90 Stunden, davon 30 Stunden Präsenz.

### ECTS-Punkte

3.

### Prüfungsform

In der Regel mündliche Prüfung. Die Modalitäten der Prüfung werden zu Beginn der Veranstaltungen von der/dem Lehrenden festgelegt und bekanntgegeben.

## Funktionalanalysis II

### Titel Englisch

Functional analysis II

### Verantwortlich

Prof. Dr. Petra Wittbold

### Angebotsturnus

WS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Linearen Algebra, Analysis I-III, Funktionalanalysis I

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

- Die Studierenden beherrschen die aufgeführten Lehrinhalte und vertiefen sie in den begleitenden Übungen.
- Erlernen und Anwenden (insbes. auf lineare partielle Differentialgleichungen) fortgeschrittenen funktionalanalytischer Konzepte und Methoden
- Schulung des Abstraktionsvermögens, Erweiterung der Problemlösungskompetenzen, Ausbau der Fähigkeit der Interpretation und Anwendung der von der abstrakten Theorie gelieferten Ergebnisse auf konkrete Anwendungsprobleme

### Inhalt

- Spektralzerlegung und Funktionalkalkül beschränkter selbstadjungierter Operatoren in Hilberträumen
- Sobolevräume und Fouriertransformation

- Unbeschränkte lineare Operatoren, insbes. selbstadjungierte Erweiterung symmetrischer Operatoren
- Spektralsätze für unbeschränkte selbstadjungierte Operatoren im Hilbertraum
- Operatorhalbgruppen und lineare Evolutionsprobleme in Banachräumen

Die Übungen zur Funktionalanalysis II finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesung wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- spectral decomposition and functional calculus of bounded self-adjoint operators in Hilbert spaces
- Sobolev spaces and Fourier transformation
- unbounded linear operators, in particular self-adjoint extensions of symmetric operators
- spectral theorems for unbounded self-adjoint operators in Hilbert spaces
- operator semigroups and linear evolution problems in Banach spaces

The exercises for the lecture on functional analysis II take place in small groups. The material of the lectures is deepened in weekly written assignments.

### Literaturbeispiele

- D. Werner, Funktionalanalysis, Springer
- W. Rudin, Functional Analysis, Mc Graw-Hill

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung (4 SWS) und Übung (2 SWS)

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Benotete mündliche oder schriftliche Prüfung am Semesterende. Der Vorlesende gibt die Prüfungsmodalitäten am Anfang des Semesters bekannt.

## Minimalflächen

### Titel Englisch

Minimal surfaces

### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis (Analysis I und II),  
Grundlagen der Linearen Algebra (Lineare Algebra I und II)

### Voraussetzungen (empfohlen)

Analysis III

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

Die Studierenden haben Kenntnisse über die grundlegenden Begriffe und Methoden der Minimalflächentheorie und deren geometrische Bedeutung erworben. Sie sind fähig, dieses Wissen in Übungsaufgaben anzuwenden.

### Inhalt

- Theorie zweidimensionaler Minimalflächen in  $\mathbb{R}^3$
- Konforme Darstellung
- Analytizität

- Krümmungsabschätzungen / Satz von Bernstein

- Weierstraß-Darstellung

- Theorie der zweiten Variation

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- theory of two-dimensional minimal surfaces in  $\mathbb{R}^3$
- conformal representation
- analyticity
- curvature estimates / Bernstein's theorem
- Weierstrass representation
- theory of the second variation

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon je 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

- In der Regel: Mündliche Prüfung am Semesterende
- Wird vom Vorlesenden am Semesteranfang bekannt gegeben

## Riemannsche Geometrie I

### Titel Englisch

Riemannian geometry I

### Verantwortlich

Prof. Dr. Andreas Gastel

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

Die Studierenden lernen, wie Konzepte aus der Analysis benutzt werden, um geometrische Begriffe zu formalisieren und für Berechnungen zugänglich zu machen. Sie entwickeln eine Anschauung geometrischer Räume und lernen, geeignete Konzepte für gegebene geometrische Fragestellungen zu benutzen. In den Übungsaufgaben lernen sie auch die spezifischen Rechenmethoden der Riemannschen Geometrie kennen, insbesondere das Rechnen mit Tensoren. In den Übungsgruppen werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

### Inhalt

Die wesentlichen Konzepte der Riemannschen Geometrie werden vorgestellt, etwa mit einer Auswahl aus der folgenden Liste:

- Differenzierbare Mannigfaltigkeiten
- Riemannsche Mannigfaltigkeiten
- Tangentialbündel (oder allgemeiner Vektorbündel), Zusammenhänge, Levi-Civita-Zusammenhang
- Lie-Gruppen und ihre Operationen
- Geodätische, Exponentialabbildung und Vollständigkeit

- Riemannsche Schnittkrümmung, Ricci- und Skalarkrümmung
- zweite Fundamentalform
- 1. und 2. Variation der Länge von Kurven
- Rauchsche Vergleichssätze, Satz von Bonnet-Myers, Sphärensatz

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The essential concepts of Riemannian geometry are presented, e.g. with a selection from the following list:

- differentiable manifolds
- Riemannian manifolds
- tangent bundles (or more generally vector bundles), connections, Levi-Civita connection
- Lie groups and their actions
- geodesics, exponential map, and completeness
- Riemannian curvature, Ricci, and scalar curvature
- second fundamental form
- first and second variation of the length of curves
- Rauch comparison theorems, Bonnet-Myers theorem, sphere theorem

### Literaturbeispiele

- doCarmo: Riemannian Geometry
- Gallot, Hulin, Lafontaine: Riemannian Geometry
- Jost: Riemannian Geometry and Geometric Analysis
- Gromoll, Klingenberg, Meyer: Riemannsche Geometrie im Großen

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung (4 SWS) mit Übungen (2 SWS)

### Arbeitsaufwand

270 Stunden, davon 90 Stunden Präsenz

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei

der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Variationsrechnung I

Titel Englisch	Inhalt (Englische Übersetzung)
Calculus of variations I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• necessary conditions: first and second variation</li> </ul>
Verantwortlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• direct method of variational calculus, Dirichlet principle</li> </ul>
Prof. Dr. Paola Pozzi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobolev spaces, boundary values of Sobolev functions</li> </ul>
Angebotsturnus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• underestimation results</li> </ul>
WS oder SS, nicht jährlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• existence theorems</li> </ul>
Studierbar ab Fachsemester	
M1	
Zulassungsvoraussetzungen	
Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra	
Voraussetzungen (empfohlen)	
Analysis III	
Sprache	
Deutsch oder Englisch.	
Status	
Wahlpflichtmodul	
Bereich	
Erweiterungsbereich	
Schwerpunkt	
Analysis	
Lernziele	
Die Studierenden erlernen Unterhalbstetigkeits-techniken zur Konstruktion von Lösungen gewisser Variationsprobleme. Hierzu werden ferner geeignete Räume erklärt, die auch über die Variationsrechnung hinaus von Bedeutung sind und vielfache Anwendung in der Analysis haben.	<p>Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.</p>
Inhalt	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notwendige Bedingungen: Erste und zweite Variation.</li> <li>• Direkte Methode der Variationsrechnung, Dirichlet-Prinzip.</li> <li>• Sobolev-Räume, Randwerte von Sobolev-Funktionen.</li> <li>• Unterhalbstetigkeitsresultate.</li> <li>• Existenzsätze.</li> </ul>	<p>Lehrform</p> <p>Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS</p> <p>Arbeitsaufwand</p> <p>270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)</p> <p>ECTS-Punkte</p> <p>9.</p> <p>Prüfungsform</p> <p>Voraussetzung: Lösen von Übungsaufgaben. Mündliche oder schriftliche Prüfung im Anschluss an die Veranstaltung mit Möglichkeit zur Nachprüfung.</p>

## 2.3 Schwerpunkt Numerik

### Mathematik

#### Gemischte Finite-Element-Methoden

##### Titel Englisch

Mixed finite element methods

##### Verantwortlich

Prof. Dr. Gerhard Starke

##### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

##### Studierbar ab Fachsemester

M1

##### Sprache

Deutsch oder Englisch.

##### Status

Wahlpflichtmodul

##### Bereich

Erweiterungsbereich

##### Schwerpunkt

Numerik

##### Lernziele

- Aktives Erlernen der Begriffsbildungen der Numerischen Mathematik am Beispiel ausgewählter partieller Differentialgleichungen
- Umfassendes Verständnis der theoretischen Grundlagen und numerischen Methoden und deren Einsatzbereich
- Eigenständige Präsentation der Lösungen und deren Vertretung in einer Diskussion
- Behandlung mathematischer Probleme mit numerischen Methoden und deren algorithmische Umsetzung

##### Inhalt

Gemischte Finite-Element-Methoden kommen bei elliptischen Randwertproblemen zum Einsatz, wenn man verschiedene Felder eines physikalischen Prozesses simultan approximieren möchte. In der Vorlesung werden zunächst die theoretischen Grundlagen des Galerkin-Verfahrens auf den Fall gemischter Variationsformulierungen verallgemeinert (inf-sup-Bedingung). Danach werden allgemeinere Finite-Element-Räume mit verschiedenen Approximationseigenschaften für skalare

und vektorielle Felder vorgestellt. Schliesslich werden damit über die Betrachtung der Poisson-Gleichung hinaus Probleme aus der Strömungs- und Festkörpermechanik (Stokes-Gleichungen für viskose inkompressible Strömungen, Lamé-Gleichungen der linearen Elastizität) behandelt.

##### Inhalt (Englische Übersetzung)

Mixed finite element methods are among the most efficient numerical methods for solving linear equation systems, in particular those with sparse matrices that occur when discretizing partial differential equations.

Based on the smoothing property of classical iteration methods and under the assumption of sufficient regularity of the problem to be solved, the classical convergence theory of two- and multigrid methods is first discussed. Then, the most important convergence results for V- and W-cycles without regularity assumptions in the framework of the theory of subspace correction methods are derived. The latter allows for the analysis of classical Schwarz methods, which forms the last part of the lecture.

##### Literaturbeispiele

D. Boffi, F. Brezzi, M. Fortin: Mixed Finite Element Methods and Applications, Springer-Verlag, 2013

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

##### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

##### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

##### ECTS-Punkte

9.

##### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Numerik von Evolutionsgleichungen

### Titel Englisch

Numerical analysis for evolution equations

### Verantwortlich

Prof. Dr. Irwin Yousept

### Angebotsturnus

SS, jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Numerik partieller Differentialgleichungen

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Numerik

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik, Optimierung

### Lernziele

- Aktives Erlernen der Begriffsbildungen der Numerischen Mathematik am Beispiel ausgewählter partieller Differentialgleichungen
- Umfassendes Verständnis der theoretischen Grundlagen und numerischen Methoden und deren Einsatzbereich
- Eigenständige Präsentation der Lösungen und deren Vertretung in einer Diskussion
- Behandlung mathematischer Probleme mit numerischen Methoden und deren algorithmische Umsetzung

### Inhalt

Es werden numerische Verfahren zur Lösung von Evolutionsgleichungen behandelt. Mögliche Themen der Vorlesung sind:

- Galerkinverfahren für Evolutionsgleichungen
- Rothe-Methode für Evolutionsgleichungen
- Volldiskrete Schemata für Evolutionsgleichungen
- Stabilität und Konvergenz
- Anwendung auf lineare parabolische und hyperbolische Gleichungen in der mathematischen Physik
- Finite-Elemente-Methode
- Finite-Volumen-Methode
- Discontinuous-Galerkin-Methode
- Nichtlineare Probleme

Die Übungen zur Vorlesung finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft. Diese können auch eine praktische Komponente enthalten, bei der numerische Verfahren am Rechner entwickelt und getestet werden.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Numerical methods for solving evolution equations are discussed. Possible topics of the lecture are:

- Galerkin methods for evolution equations
- Rothe method for evolution equations
- full discrete schemes for evolution equations
- stability and convergence
- application to linear parabolic and hyperbolic equations in mathematical physics
- finite element method
- finite volume method
- discontinuous Galerkin method
- nonlinear problems

The exercises for the lecture take place in small groups. The material of the lectures is deepened in weekly written assignments. These can also include a practical component, where numerical methods are developed and tested on the computer.

**Literaturbeispiele**

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Benotete mündliche oder schriftliche Prüfung am Semesterende. Die Modalitäten der Prüfung sowie etwaiger Zulassungsvoraussetzungen werden zu Beginn der Veranstaltungen von der/dem Lehrenden festgelegt und bekanntgegeben.

## 2.4 Schwerpunkt Optimierung

## Mathematik

## Mathematische Spieltheorie

Titel Englisch	Inhalt
Mathematical game theory	
Verantwortlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition, Klassifikation, und Beispiele strategischer Spiele</li> </ul>
Prof. Dr. Arnd Rösch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existenz von Nash-Gleichgewichten</li> </ul>
Angebotsturnus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwei-Personen-Spiele</li> </ul>
WS oder SS, nicht regelmäßig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verallgemeinerte Nash-Gleichgewichte</li> </ul>
Studierbar ab Fachsemester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numerische Verfahren</li> </ul>
M1	
Voraussetzungen (empfohlen)	Inhalt (Englische Übersetzung)
Nichtlineare Optimierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• definition, classification, and examples of strategic games</li> </ul>
Sprache	<ul style="list-style-type: none"> <li>• existence of Nash equilibria</li> </ul>
Deutsch oder Englisch.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• two-person games</li> </ul>
Status	<ul style="list-style-type: none"> <li>• generalized Nash equilibria</li> </ul>
Wahlpflichtmodul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• numerical methods</li> </ul>
Bereich	
Erweiterungsbereich	
Schwerpunkt	
Optimierung	
Lernziele	Literaturbeispiele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnis der wesentlichen Konzepte und Begriffe der mathematischen Spieltheorie</li> </ul>	Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beherrschung grundlegender Techniken für die Existenz von Gleichgewichten, insbesondere von Fixpunktsätzen</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis moderner Verfahren für die numerische Lösung und deren praktischer Umsetzung</li> </ul>	
<p>In den Übungen soll das Verständnis dieser Themen anhand von Beispielen vertieft und die numerische Implementierung der Lösungsverfahren erlernt werden.</p>	

## Mathematische Bildverarbeitung

### Titel Englisch

Mathematical imaging

### Verantwortlich

Prof. Dr. Antoine Laurain

### Angebotsturnus

WS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Funktionalanalysis I, Nichtlineare Optimierung

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

### Lernziele

- Kenntnis moderner Variationsmethoden für Fragestellungen der Bildverarbeitung und -rekonstruktion
- Beherrschung analytischer Techniken für den Nachweis der Existenz und die Herleitung notwendiger Optimalitätsbedingungen für Lösungen von Bildrekonstruktionsproblemen
- Beherrschung moderner Verfahren für die numerische Lösung und deren praktischer Umsetzung
- Kenntnis praktischer Anwendungen in der biomedizinischen Bildgebung

In den Übungen soll das Verständnis dieser Themen anhand von Beispielen vertieft und die numerische Implementierung der Lösungsverfahren erlernt werden.

### Inhalt

- Grundlagen der Variationsrechnung und der konvexen Analysis
- Numerische Algorithmen
- Bildmodelle
- Rekonstruktionsmodelle
- Beispiele aus der biomedizinischen Bildgebung

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- foundations of variational calculus and convex analysis
- numerical algorithms
- image models
- reconstruction models
- examples from biomedical imaging

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## Stochastische Optimierung

Titel Englisch	Inhalt (Englische Übersetzung)
Stochastic programming	<ul style="list-style-type: none"> <li>linear stochastic optimization problems</li> <li>linear mixed-integer stochastic optimization problems</li> <li>solution methods: regularized decomposition, scenario decomposition, branch-and-fix coordination</li> <li>structure and algorithms for problems with risk aversion</li> </ul>
Verantwortlich	Prof. Dr. Rüdiger Schultz
Angebotsturnus	WS, nicht jährlich
Studierbar ab Fachsemester	M1
Voraussetzungen (empfohlen)	Optimierung I, Stochastik
Sprache	Deutsch oder Englisch.
Status	Wahlpflichtmodul
Bereich	Erweiterungsbereich
Schwerpunkt	Optimierung
Lernziele	<p>Das Modul vermittelt spezielle Kenntnisse zur Theorie und Algorithmik der Optimierung unter Ungewissheit. Die Teilnehmer erlernen Modellierungstechniken und Ansätze zur softwaretechnischen Realisierung. Die Teilnehmer erwerben so vertiefende Kenntnisse in einem Teilgebiet der Optimierung an der Schnittstelle mit Stochastik und Maßtheorie. Die Fragestellungen dieses Gebietes sind in den meisten praktischen Problemstellungen relevant, prominente Beispiele sind die unsicheren Prognosen des Bedarfs, die Berücksichtigung von Ausfallwahrscheinlichkeiten in Fragestellungen der Produktionsoptimierung oder Kursentwicklungen in Portfolio-Optimierungen.</p>
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lineare stochastische Optimierungsprobleme,</li> <li>Lineare gemischt-ganzzahlige stochastische Optimierungsprobleme,</li> <li>Lösungsverfahren: Regularisierte Dekomposition, Szenario-Dekomposition,</li> <li>Branch-and-Fix Koordination,</li> <li>Struktur und Algorithmik für Aufgaben mit Risikoaversion</li> </ul>
	<p>Literaturbeispiele</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Birge, Louveaux: Introduction to Stochastic Programming. Springer 1997</li> <li>Kall, Wallace: Stochastic Programming. Wiley 1994</li> <li>Prekopa: Stochastic Programming. Kluwer 1995</li> <li>Ruszczynski, Shapiro: Stochastic Programming. Elsevier 2003</li> <li>Shapiro, Dentcheva, Ruszczynski: Lectures on Stochastic Programming, MPS-SIAM 2009</li> </ul> <p>Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.</p> <p>Lehrform</p> <p>Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS</p> <p>Arbeitsaufwand</p> <p>270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)</p> <p>ECTS-Punkte</p> <p>9.</p> <p>Prüfungsform</p> <p>Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.</p>

## Variationsrechnung und optimale Steuerung bei gewöhnlichen Differentialgleichungen

### Titel Englisch

Calculus of variations and optimal control

### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

### Angebotsturnus

nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis (Analysis I und II), Grundlagen der Linearen Algebra (Lineare Algebra I und II)

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Erweiterungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Das Lernziel besteht in der Vermittlung von Grundkenntnissen und Grundfertigkeiten im Bereich Variationsrechnung und Optimale Steuerung von gewöhnlichen Differentialgleichungen. Diese Fähigkeiten werden in den Übungen mit Hilfe elementarer Beispiele vertieft und verfestigt. Außerdem werden einfache Anwendungsbeispiele aus der Mechanik diskutiert, um die

Anwendbarkeit des erlernten Wissens zu demonstrieren.

### Inhalt

Das Modul stellt Grundkenntnisse in der Variationsrechnung und der Optimalen Steuerung bei gewöhnlichen Differentialgleichungen bereit. In der Variationsrechnung werden schwerpunktmäßig Optimalitätsbedingungen erster und zweiter Ordnung für verschiedene einfache Aufgabentypen behandelt. Bei der Optimalen Steuerung von gewöhnlichen Differentialgleichungen werden folgende Aspekte diskutiert: Steuerbarkeit und Erreichbarkeit, Existenz optimaler Steuerungen, Optimalitätsbedingungen, Feedbacksteuerungen.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The module provides basic knowledge in variational calculus and optimal control for ordinary differential equations. In variational calculus, emphasis is placed on optimality conditions of first and second order for various simple problem types. In optimal control of ordinary differential equations, the following aspects are discussed: controllability and reachability, existence of optimal controls, optimality conditions, feedback control.

### Literaturbeispiele

- A. D. Ioffe und V.M. Tikhomirov, Theorie der Extremalaufgaben, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1979.
- J. W. Macki und A. Strauss, Introduction to optimal control theory, Springer-Verlag, New York-Berlin, 1982.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## 2.5 Schwerpunkt Stochastik

Mathematik

### Wahrscheinlichkeitstheorie II

#### Titel Englisch

Probability theory II

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Anita Winter

#### Angebotsturnus

WS, jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Wahrscheinlichkeitstheorie I

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Erweiterungsbereich

#### Schwerpunkt

Stochastik

#### Lernziele

Die Teilnehmer sollen die Grundlagen der Theorie der stochastischen Prozesse erlernen. Insbesonders sollen sie

Markov-Prozesse und Martingale als wichtige Prozessklassen kennenlernen. Am Beispiel der Brownschen Bewegung

sollen wichtige Beweistechniken selbstständig angewandt werden können. Die Vorlesung bietet die Grundlage für vertiefende Vorlesungen im Masterprogramm, die dann zu einer Master-Arbeit oder Promotion im Bereich Wahrscheinlichkeitstheorie befähigen.

#### Inhalt

Wahrscheinlichkeitstheorie II, insbesondere (die hier angegebene Reihenfolge ist nicht obligatorisch):

1. Konvergenz von Maßen, Satz von Prokhorov
2. Austauschbarkeit
3. Zentraler Grenzwertsatz
4. Martingale
5. Gleichgradige Integrierbarkeit
6. Optionales Stoppen und Sampeln
7. Martingalkonvergenzsätze
8. Brownsche Bewegung
9. Donskers Invarianzprinzip

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

Probability Theory II, in particular (the given order is not obligatory):

1. convergence of measures, Prokhorov's theorem
2. interchangeability
3. central limit theorem
4. martingales
5. equi-integrability
6. optional stopping and sampling
7. martingale convergence theorems
8. Brownian motion
9. Donsker's invariance principle

#### Literaturbeispiele

- Achim Klenke; Wahrscheinlichkeitstheorie, Springer 2005
- Achim Klenke; Probability, Springer 2008
- Peter Mörters and Yuval Peres; Brownian motion, Cambridge 2010

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

Lehrform	Prüfungsform
Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS	
Arbeitsaufwand	
270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)	Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht die Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
ECTS-Punkte	
9.	

---

### 3 Vertiefungsbereich

Der Vertiefungsbereich umfasst die Vorlesungs-Module, die zum Schreiben einer Masterarbeit befähigen und forschungsnahe Themen behandeln. Inhaltlich sind die Module wieder den fünf bekannten Schwerpunkten zugeordnet.

Eine Sonderrolle spielen die Module „Ausgewählte Themen der ...“; diese können *mehrfa*ch belegt werden, wenn sich die Lehrinhalte wesentlich unterscheiden. Zum Beispiel kann man sich im Modul „Ausgewählte Themen der Analysis“ sowohl über Geometrische Maßtheorie als auch über Partielle Differentialgleichungen II prüfen lassen. Die einzelnen Lehrveranstaltungen sind so konzipiert, dass die zugeordneten Credits wie üblich dem Arbeitsaufwand entsprechen:

Umfang der Veranstaltung	Arbeitsaufwand	Credits
4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung	270 h (davon 90 h Präsenz)	9
4 SWS Vorlesung	180 h (davon 60 h Präsenz)	6
3 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung	180 h (davon 60 h Präsenz)	6
2 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung	180 h (davon 60 h Präsenz)	6
2 SWS Vorlesung	90 h (davon 30 h Präsenz)	3
1 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung	90 h (davon 30 h Präsenz)	3

Im Masterstudiengang Mathematics sind mindestens 18 Credits in Modulen des Vertiefungsbereichs zu erbringen.

Module des Vertiefungsbereichs, für die eine zugeordnete Lehrveranstaltung bereits in die Bachelor-Prüfung des für die Zulassungsvoraussetzung vorgelegten Studiengangs eingebbracht worden ist, können nicht angerechnet bzw. anerkannt werden; ausgenommen sind Zusatzleistungen oder Leistungen im Rahmen eines Bachelorstudiengangs mit mehr als sechs Semestern bzw. 180 ECTS-Punkten.

Wir verweisen für detaillierte Informationen zum Studienablauf auf die Prüfungsordnungen.

### 3.1 Schwerpunkt Algebra

Mathematik

#### Algebraische Geometrie II

##### Titel Englisch

Algebraic geometry II

##### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Hein

##### Angebotsturnus

SS, jährlich

##### Studierbar ab Fachsemester

M1

##### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra

##### Voraussetzungen (empfohlen)

Inhalte des Moduls Algebra. Diese können ersetzt werden durch die Inhalte der beiden Module Funktionentheorie I und Riemannsche Flächen I.

##### Sprache

Deutsch oder Englisch.

##### Status

Wahlpflichtmodul

##### Bereich

Vertiefungsbereich

##### Schwerpunkt

Algebra

##### Lernziele

Die Teilnehmer sollen die algebraischen Methoden erlernen, die in der Geometrie von Nutzen sind. Sie sollen geometrische Fragestellungen kennen lernen und die Bedeutung der Garben, Kohomologietheorie und Faktoren für deren Behandlung. Das Modul kann als Grundlage dienen für anschließende Seminare und weiterführende Vorlesungen aus der algebraischen Geometrie.

- Durchdringen anspruchsvoller Beweise
- Erlernen des Wechselspiels zwischen Geometrie und Algebra
- Anwenden der Theorie auf abstrakte und konkrete Probleme in den Übungen
- Mündliche und schriftliche Präsentation der eigenen Ansätze und Lösungen

##### Inhalt

Algebraische Geometrie II

Typische Inhalte dieses Moduls sind:

- Kohomologie von Garben
- Cech Kohomologie
- Ext Gruppen
- Serre-Dualität
- Höhere direkte Bilder, Basiswechsel
- Anwendung auf den Fall projektiver Kurven

##### Inhalt (Englische Übersetzung)

Algebraic Geometry II

Typical contents of this module are:

- cohomology of sheaves
- Cech cohomology
- Ext groups
- Serre duality
- higher direct images, base change
- application to the case of projective curves

##### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

##### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

##### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

##### ECTS-Punkte

9.

##### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Komplexe Geometrie II

### Titel Englisch

Complex geometry II

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

SS, alle zwei Jahre im Wechsel mit Riemannsche Flächen II

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Funktionentheorie

### Voraussetzungen (empfohlen)

Komplexe Geometrie I

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Das Zusammenspiel algebraischer, topologischer und analytischer Methoden zur Beschreibung kompakter komplexer Mannigfaltigkeiten soll vorgestellt werden. Das Modul kann Grundlage einer Master-Arbeit sein. Das Modul kann außerdem als Grundlage dienen für anschließende Seminare und weiterführende Vorlesungen aus der komplexen oder algebraischen Geometrie und aus der algebraischen oder Differential-Topologie.

### Inhalt

Aufbauend auf dem Modul Komplexe Geometrie I soll in diesem Modul die Theorie komplexer Mannigfaltigkeiten weiterentwickelt werden. Mögliche Themen (Reihenfolge nicht verpflichtend):

- komplexe Vektorbündel und holomorphe Strukturen

- Dolbeault-Theorie mit Werten in einem Vektorbündel
- Hermitesche Metriken und deren Krümmung
- Weiterentwicklung der Kohomologietheorie
- Kähler-Metriken
- Verschwindungssätze und deren geometrische Konsequenzen
- Kodaira-Einbettungssatz
- analytische Mengen in komplexen Mannigfaltigkeiten
- Satz von Chow

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Building on the module Complex Geometry I, this module will further develop the theory of complex manifolds. Possible topics (order not obligatory):

- complex vector bundles and holomorphic structures
- Dolbeault theory with values in a vector bundle
- Hermitian metrics and their curvature
- further development of cohomology theory
- Kähler metrics
- vanishing theorems and their geometric consequences
- Kodaira embedding theorem
- analytic sets in complex manifolds
- Chow's theorem

### Literaturbeispiele

- Demainly: Complex analytic and differential geometry, Open Content Book
- Fritzsche-Grauert: From holomorphic functions to complex manifolds, Springer
- Huybrechts: Complex Geometry, Springer
- Voisin: Hodge theory and complex algebraic geometry, Cambridge University Press
- Wells: Differential analysis on complex manifolds, Springer

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

Lehrform	Prüfungsform
Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS	
Arbeitsaufwand	Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
ECTS-Punkte	270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)
9.	

## Riemannsche Flächen II

### Titel Englisch

Riemann surfaces II

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

SS, alle zwei Jahre im Wechsel mit Komplexe Geometrie II

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Funktionentheorie I und Riemannsche Flächen I

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Anhand der Riemannschen Flächen soll das Zusammenspiel algebraischer, topologischer und analytischer Methoden zur Beschreibung kompakter komplexer Mannigfaltigkeiten vorgestellt werden. Das Modul kann Grundlage einer Master-Arbeit sein. Das Modul kann außerdem als Grundlage dienen für anschließende Seminare und weiterführende Vorlesungen aus der analytischen oder algebraischen Geometrie und aus der algebraischen oder Differential-Topologie.

### Inhalt

Einführung in die Theorie der Riemannschen Flächen, insbesondere (die hier angegebene Reihenfolge ist nicht obligatorisch):

- Hodge-Strukturen des Gewichts 1
- Uniformisierung
- Realisierung und Projektivität von Riemannschen Flächen

### • Abel-Jacobi Theorie

Die Übungen zur Vorlesung Riemannsche Flächen II finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Introduction to the theory of Riemann surfaces, in particular (the given order is not obligatory):

- Hodge structures of weight 1
- uniformization
- realization and projectivity of Riemann surfaces
- Abel-Jacobi theory

The exercises for the lecture on Riemann surfaces II take place in small groups. The material of the lectures is deepened in weekly written assignments.

### Literaturbeispiele

- Arbarello-Cornalba-Griffiths-Harris, Geometry of Algebraic Curves, vol. I, Springer, 1985
- Forster, Lectures on Riemann Surfaces, Springer, 1981
- Miranda, Algebraic Curves and Riemann Surfaces, AMS, 1995

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Ausgewählte Themen der Algebraischen Geometrie

### Titel Englisch

Special topics in algebraic geometry

### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Hein

### Angebotsturnus

jedes Semester

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Voraussetzungen (empfohlen)

Diese Veranstaltung baut in der Regel auf einer Vorlesung aus dem Vorsemester auf, die vorausgesetzt wird.

Algebraische Geometrie I, Algebraische Geometrie II, Algebra, Funktionentheorie

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

### Lernziele

Erlernen fortgeschrittener Beweistechniken aus den Bereichen Algebraische Geometrie, Komplexe Geometrie und Zahlentheorie.

Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Theorie in verschiedenen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit den typischen Fragestellungen der Theorie

### Inhalt

In diesem Modul werden die Studenten an die aktuelle Forschung im Bereich Algebraische Geometrie herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind:

1. Algebraische Geometrie III
2. Abelsche Varietäten
3. Torische Varietäten
4. Deformationstheorie
5. Modulträume von Garben und Varietäten

### Inhalt (Englische Übersetzung)

In this module, the students are introduced to current research in the field of algebraic geometry. Possible lectures are:

1. Algebraic Geometry III
2. Abelian varieties
3. toric varieties
4. deformation theory
5. moduli spaces of sheaves and varieties

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung und Übung

### Arbeitsaufwand

90-270 Stunden davon 30-90 Präsenz

### ECTS-Punkte

3-9, je nach Arbeitsaufwand.

### Prüfungsform

- In der Regel: Mündliche Prüfung am Semesterende
- Wird vom Vorlesenden am Semesteranfang bekanntgegeben

### Bemerkungen

Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Lesekurses durchgeführt werden.

## Ausgewählte Themen der Komplexen Geometrie

### Titel Englisch

Special topics in complex geometry

### Verantwortlich

Prof. Dr. Daniel Greb

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Komplexe Geometrie I und II

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Erlernen fortgeschritten der Beweistechniken aus den Bereichen der algebraische und komplexe Geometrie.

Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Theorie in verschiedenen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit den typischen Fragestellungen der Theorie

### Inhalt

In diesem Modul werden die Studenten an die aktuelle Forschung im Bereich der Komplexe Geometrie herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind:

1. Komplexe Geometrie III
2. Garben auf komplexen Räumen
3. Calabi-Yau-Mannigfaltigkeiten
4. Hodge-Theorie
  - Hodge-Zerlegung auf kompakten Kähler-Mannigfaltigkeiten
  - topologische Konsequenzen
  - Verhalten unter Deformationen
  - Perioden-Abbildungen
  - Beispiele (Abelsche Varietäten, Hyperflächen)
  - relative Hodge-Theorie und Spektralsequenzen

### Inhalt (Englische Übersetzung)

In this module, the students are introduced to current research in the field of complex geometry. Possible lectures are:

1. Complex Geometry III
2. sheaves on complex spaces
3. Calabi-Yau manifolds
4. Hodge theory
  - Hodge decomposition on compact Kähler manifolds
  - topological consequences
  - behavior under deformations
  - period maps
  - examples (Abelian varieties, hyper-surfaces)
  - relative Hodge theory and spectral sequences

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

<b>Lehrform</b>	Vorlesung mit Übungen	der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
<b>Arbeitsaufwand</b>	90-270 Stunden	
<b>ECTS-Punkte</b>	3-9 je nach Arbeitsaufwand.	
<b>Prüfungsform</b>	Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei	<b>Bemerkungen</b> Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Leseurses durchgeführt werden.

## Ausgewählte Themen der Zahlentheorie

### Titel Englisch

Special topics in number theory

### Verantwortlich

Prof. Dr. Ulrich Görtz

### Angebotsturnus

jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Algebraische Zahlentheorie I

### Voraussetzungen (empfohlen)

Algebraische Zahlentheorie II

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Algebra

### Lernziele

Erlernen fortgeschritten der Beweistechniken aus den Bereichen Algebra und Zahlentheorie.

Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Theorie in verschiedenen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit den typischen Fragestellungen der Theorie

### Inhalt

In diesem Modul werden die Studenten an die aktuelle Forschung im Bereich der Zahlentheorie herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind:

1. Globale Klassenkörpertheorie
2. Galois-Darstellungen, Deformationen von Galois-Darstellungen
3. Formale Gruppen,  $p$ -dividierbare Gruppen
4. Analytische Zahlentheorie II
5. Iwasawatheorie
6. Darstellungstheorie  $p$ -adischer Gruppen
7. Adische Räume
8. Einführung in die Arithmetik von Modulformen

### Inhalt (Englische Übersetzung)

In this module, the students are introduced to current research in the field of number theory. Possible lectures are:

1. global class field theory
2. Galois representations, deformations of Galois representations
3. formal groups,  $p$ -divisible groups
4. analytic number theory II
5. Iwasawa theory
6. representation theory of  $p$ -adic groups
7. adic spaces
8. introduction to the arithmetic of modular forms

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung mit Übungen

### Arbeitsaufwand

90-270 Stunden

**ECTS-Punkte**

3-9 je nach Arbeitsaufwand.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung be-

steht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

**Bemerkungen**

Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Lesekurses durchgeführt werden.

## 3.2 Schwerpunkt Analysis

Mathematik

### Analysis und Numerik von Interpolationsräumen

#### Titel Englisch

Analysis and numerics of interpolation spaces

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Gerhard Starke

#### Angebotsturnus

SS, nicht jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Funktionalanalysis I oder Partielle Differentialgleichungen I

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Vertiefungsbereich

#### Schwerpunkt

Analysis

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Numerik

#### Lernziele

- Beherrschung der K-Methode zur Interpolation zwischen Banach-Räumen und deren Umsetzung für Spezialfälle (Hölder-, Sobolev-, Besov-Räume etc.)
- Anwendung auf die Approximierbarkeit von Lösungen partieller Differentialgleichungen und Konvergenzeigenschaften von Multilevel-Methoden zu ihrer numerischen Berechnung

#### Inhalt

- Sobolev-Räume auf dem Einheitskreis
- Interpolation von Banach-Räumen
- Besov-Räume
- Approximierbarkeit von Lösungen elliptischer Randwertprobleme
- Multilevel-Normen für Interpolationsräume
- Dualität

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

- Sobolev spaces on the unit circle
- interpolation of Banach spaces
- Besov spaces
- approximability of solutions to elliptic boundary value problems
- multilevel norms for interpolation spaces
- duality

#### Literaturbeispiele

- K. Atkinson, W. Han: Theoretical Numerical Analysis, 3rd Edition. Springer, 2009
- G. Leoni: A First Courses in Sobolev Spaces, 2nd Edition. AMS, 2017
- A. Lunardi: Interpolation Theory, 3rd Edition. Scuola Normale Superiore Pisa, 2018

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

9.

#### Prüfungsform

mündlich

## Analysis von Variationsungleichungen

### Titel Englisch

Analysis of variational inequalities

### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Weiß

### Angebotsturnus

SS oder WS. Nicht jährlich.

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Analysis III

### Voraussetzungen (empfohlen)

Funktionalanalysis I. Im letzten Abschnitt der Veranstaltung sind Kenntnisse partieller Differentialgleichungen hilfreich.

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

Die Studierenden erlernen zwei Methoden zum Lösen nichtlinearer partieller Differentialgleichungen, nämlich die direkte Methode der Variationsrechnung und die Methode der monotonen Operatoren. Die Studierenden sind in der Lage, diese Methoden auf Beispiele anzuwenden. Im Abschnitt zur Kapazität lernen die Studenten das Konzept der Kapazität (ein Bezug zur Kapazität in der Elektrostatik wird hergestellt) aus der Perspektive der Variationsrechnung kennen. Im letzten Teil der Veranstaltung, der sich auf das Hindernisproblem bezieht, gewinnen die Studenten einen Einblick in die Theorie freier Randwertprobleme.

### Inhalt

1. Einführende Beispiele
2. Die direkte Methode der Variationsrechnung
3. Monotone Operatoren, Existenz und Eindeutigkeit von Variationsungleichungs-Lösungen
4. Kompakte Störungen monotoner Operatoren und Anwendungen
5. Eine variationelle Einführung in die Kapazität
6. Das Hindernisproblem

### Inhalt (Englische Übersetzung)

1. introductory examples
2. direct method of variational calculus
3. monotone operators, existence and uniqueness of variational inequality solutions
4. compact perturbations of monotone operators and applications
5. a variational introduction to capacity
6. the obstacle problem

### Literaturbeispiele

- Dacorogna, Bernard: Direct methods in the calculus of variations. Second edition. Applied Mathematical Sciences, 78. Springer, New York, 2008
- Deimling, Klaus: Nonlinear functional analysis. Springer-Verlag, Berlin, 1985
- Frehse, Jens: Capacity methods in the theory of partial differential equations. Jahresber. Deutsch. Math.-Verein. 84 (1982), no. 1, 1–44
- Petrosyan, Arshak; Shahgholian, Henrik; Ural'tseva, Nina: Regularity of free boundaries in obstacle-type problems. Graduate Studies in Mathematics, 136. American Mathematical Society, Providence, RI, 2012.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

Lehrform	Prüfungsform
Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS	
Arbeitsaufwand	
270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)	Vorleistung: Lösen von Übungsaufgaben. Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
ECTS-Punkte	
9.	

## Evolutionsgleichungen

### Titel Englisch

Evolution equations

### Verantwortlich

Prof. Dr. Petra Wittbold

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Linearen Algebra, Analysis I-III, Funktionalanalysis I

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

- Die Studierenden beherrschen die aufgeführten Lehrinhalte und vertiefen diese in den begleitenden Übungen.
- Erlernen und Anwenden fortgeschrittener abstrakter, funktionalanalytischer Konzepte und Methoden zur Untersuchung von Anfangsrandwertproblemen für nichtlineare partielle Differentialgleichungen (u.a. die Poröse-Medien-Gleichung)
- Schulung des Abstraktionsvermögens, Erweiterung der Problemlösungskompetenzen
- Ausbau der Fähigkeit der Interpretation und Anwendung der von der abstrakten Theorie gelieferten Ergebnisse auf relevante Probleme in der Praxis

### Inhalt

Evolutionsgleichungen beschreiben ein System in Abhängigkeit von der Zeit in Form einer Operator-Differentialgleichung in einem Banachraum. Zahlreiche Phänomene in den Anwendungswissenschaften (u.a. in der Biologie (Wachstum von Populationen), Physik (Wärmeausbreitung), Chemie (Reaktions-Diffusions-Phänomene) und den Wirtschaftswissenschaften) lassen sich durch entsprechende Evolutionsgleichungen beschreiben. Im Rahmen dieser Vorlesung sollen die notwendigen funktionalanalytischen Methoden und Werkzeuge bereitgestellt und eingeübt werden, um entsprechende abstrakte Evolutionsgleichungen zu lösen und weitergehende Aussagen über Eigenschaften (Regularity, asymptotisches Verhalten) der Lösungen der entsprechenden Gleichungen treffen zu können. Konkrete Inhalte sind:

- lineare und nichtlineare Evolutionsgleichungen
- lineare Halbgruppen, Satz von Hille-Yosida und entsprechende Verallgemeinerungen
- nicht-homogene Cauchy-Probleme, semilineare Probleme
- Regularisierungseffekte, analytische Halbgruppen, maximale Regularität
- nichtlineare (akkretive) Operatoren und Halbgruppen, Satz von Crandall-Liggett
- Regularisierungseffekte im nichtlinearen Fall

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Evolution equations describe a system in dependence on time in the form of an operator-differential equation in a Banach space. Numerous phenomena in the application sciences (e.g. in biology (growth of populations), physics (heat conduction), chemistry (reaction-diffusion phenomena) and economics) can be described by corresponding evolution equations. In the framework of this lecture, the necessary functional-analytic methods and tools are provided and exercised to solve abstract evolution equations and make further statements about the properties (regularity, asymptotic behavior) of the solutions of the corresponding equations. Concrete topics are:

- linear and nonlinear evolution equations

- linear semigroups, Hille-Yosida theorem and corresponding generalizations
- inhomogeneous Cauchy problems, semilinear problems
- regularization effects, analytic semigroups, maximal regularity
- nonlinear (accretive) operators and semigroups, Crandall-Liggett theorem
- regularization effects in the nonlinear case

#### Literaturbeispiele

- A. Pazy, Semigroups of linear operators and applications to partial differential equations, Springer
- K.J. Engel u. R. Nagel, One-parameter semigroups for linear evolution equations, Springer
- V. Barbu, Nonlinear differential equations of monotone types in Banach spaces, Noordhoff
- T. Roubicek, Nonlinear partial differential equations with applications, Birkhäuser

- E. Zeidler, Nonlinear functional analysis and its applications: Linear and nonlinear monotone operators, Vol. II A+B, Springer

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung (4 SWS) und Übung (2 SWS)

#### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

9.

#### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Nichtlineare Funktionalanalysis

### Titel Englisch

Nonlinear functional analysis

### Verantwortlich

Prof. Dr. Petra Wittbold

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Analysis I-III und Funktionalanalysis I

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

- Erlernen und Beherrschung von funktionalanalytischen Methoden zur Lösung von (nichtlinearen partiellen Differential-) Gleichungen, die aus der Modellierung von Problemen aus den Anwendungen (Natur-/Ingenieur-/Wirtschaftswissenschaften) entstehen.
- Selbständige Vertiefung der aufgeführten Lehrinhalte in den begleitenden Übungen.
- Das Modul kann als Grundlage dienen für anschließende Seminare über nichtlineare Analysis, partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung sowie eine anschließende Masterarbeit in den genannten Bereichen.
- Einblick in das Zusammenwirken verschiedener mathematischer Theorien in Verbindung mit Modulen aus diesen aufgeführten Bereichen.

### Inhalt

Unendlich-dimensionale Analysis mit nichtlinearen (Differential- oder Integral-) Operatoren, insbesondere:

- Fixpunktsätze (u.a. von Schauder) mit Anwendungen auf Differential- und Integralgleichungen
- Theorie der monotonen Operatoren (insbes. Satz von Minty-Browder)
- pseudomonotone Operatoren, verstärkt stetige Störungen monotoner Operatoren
- akkretive Operatoren in Banachräumen
- nichtlineare Evolutionsgleichungen, nichtlineare Operator-Differentialgleichungen
- Bochner-Integral, Bochner-Lebesgue-Räume
- Satz von Lions-Aubin

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Infinite-dimensional analysis with nonlinear (differential or integral) operators, in particular:

- fixed point theorems (e.g. of Schauder) with applications to differential and integral equations
- theory of monotone operators (in particular, theorem of Minty-Browder)
- pseudomonotone operators, strengthened continuity of monotone operators
- accretive operators in Banach spaces
- nonlinear evolution equations, nonlinear operator-differential equations
- Bochner integral, Bochner-Lebesgue spaces
- theorem of Lions-Aubin

### Literaturbeispiele

- M. Ruzicka, Nichtlineare Funktionalanalysis, Springer, 2004
- E. Zeidler: Nonlinear functional analysis and its applications. Springer 1992
- V. Barbu, Nonlinear Differential Equations of Monotone Type in Banach Spaces, Springer, 2010

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung (4 SWS) und Übung (2 SWS)

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Benotete mündliche oder schriftliche Prüfung am Semesterende. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Ausgewählte Themen der Analysis

### Titel Englisch

Special topics in analysis

### Verantwortlich

Prof. Dr. Frank Müller

### Angebotsturnus

jedes Semester

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis (Analysis I und II), Grundlagen der Linearen Algebra (Lineare Algebra I und II), Analysis III

### Voraussetzungen (empfohlen)

Abhängig von der speziellen Vorlesung, wird vom Dozenten am Semesteranfang bekannt gegeben.

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Analysis

### Lernziele

Souveräner Umgang mit Begriffen, Methoden und Resultaten aus dem Bereich Analysis. Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit führen und/oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Methoden in neuen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit einigen typischen Fragestellungen der Theorie

### Inhalt

Die Studierenden erwerben vertieftes Wissen in verschiedenen Bereichen der Analysis und werden bis an die aktuelle Forschung herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind z.B.:

- Partielle Differentialgleichungen II
- Variationsrechnung II
- Riemannsche Geometrie II
- Geometrische Maßtheorie

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students acquire advanced knowledge in various areas of analysis and are introduced to current research. Possible lectures are:

1. Partial Differential Equations II
2. Variational Calculus II
3. Riemannian Geometry II
4. Geometric Measure Theory

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung und Übung

### Arbeitsaufwand

90-270 Stunden, davon 30-90 Stunden Präsenz

### ECTS-Punkte

3-9, je nach Arbeitsaufwand.

### Prüfungsform

- In der Regel: Mündliche Prüfung am Semesterende
- Wird vom Vorlesenden am Semesteranfang bekannt gegeben

### Bemerkungen

Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Lesekurses durchgeführt werden.

### 3.3 Schwerpunkt Numerik

Mathematik

#### Mehrgitter- und Gebietszerlegungsmethoden

##### Titel Englisch

Multigrid and domain decomposition methods

##### Verantwortlich

Prof. Dr. Johannes Kraus

##### Angebotsturnus

SS, nicht jährlich

##### Studierbar ab Fachsemester

M2

##### Voraussetzungen (empfohlen)

Numerik partieller Differentialgleichungen

##### Sprache

Deutsch oder Englisch.

##### Status

Wahlpflichtmodul

##### Bereich

Vertiefungsbereich

##### Schwerpunkt

Numerik

##### Lernziele

- Verständnis der Grundprinzipien und Funktionsweise von Mehrgitter- und Gebietszerlegungsmethoden
- Algorithmische Umsetzung und in den Übungen teils Implementierung von (Komponenten von) Unterraumkorrekturverfahren
- Umfassendes Verständnis der theoretischen Grundlagen und der Konvergenzanalyse der betrachteten Verfahren

##### Inhalt

Mehrgitter- und Gebietszerlegungsmethoden gehören zu den effizientesten numerischen Verfahren zur Lösung linearer Gleichungssysteme, insbesondere von Gleichungssystemen mit dünn besetzten Matrizen wie sie bei der Diskretisierung partieller Differentialgleichungen häufig auftreten. Basierend auf der Glättungseigenschaft klassischer Iterationsverfahren und unter der Annahme hinreichender Regularität des zu lösenden Problems wird zunächst die klassische Konvergenztheorie von Zwei- und Mehrgitterverfahren besprochen. Danach werden die wichtigsten Konvergenzresultate für V- und W-Zyklus ohne Regularitätsannahmen im Rahmen der

Theorie der Unterraumkorrekturverfahren hergeleitet. Letztere Betrachtungsweise ermöglicht auch die Analyse der klassischen Schwarz-Verfahren, was den letzten Teil der Vorlesung bildet.

##### Inhalt (Englische Übersetzung)

Multigrid and domain decomposition methods are among the most efficient numerical methods for solving linear equation systems, in particular those with sparse matrices that occur when discretizing partial differential equations.

The lecture discusses the classical convergence theory of two- and multigrid methods and the most important convergence results for V- and W-cycles without regularity assumptions in the framework of the theory of subspace correction methods. The latter allows for the analysis of classical Schwarz methods, which forms the last part of the lecture.

##### Literaturbeispiele

- D. Braess: Finite elements. Theory, fast solvers, and applications in elasticity theory. Third edition. Cambridge University Press, Cambridge, 2007. xviii+365 pp. ISBN: 978-0-521-70518-9; 0-521-70518-5
- A. Toselli, O. Widlund: Domain decomposition methods—algorithms and theory. Springer Series in Computational Mathematics, 34. Springer-Verlag, Berlin, 2005. xvi+450 pp. ISBN: 3-540-20696-5

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

##### Lehrform

Vorlesung (4 SWS) und Übung (2 SWS)

##### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

##### ECTS-Punkte

9.

##### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Theory und Numerik von Variationsungleichungen

### Titel Englisch

Theory and numerics of variational inequalities

### Verantwortlich

Prof. Dr. Gerhard Starke

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Numerik

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Optimierung

### Lernziele

- Aktives Erlernen der Begriffsbildungen der Numerischen Mathematik am Beispiel ausgewählter partieller Differentialgleichungen
- Umfassendes Verständnis der theoretischen Grundlagen und numerischen Methoden und deren Einsatzbereich
- Eigenständige Präsentation der Lösungen und deren Vertretung in einer Diskussion
- Behandlung mathematischer Probleme mit numerischen Methoden und deren algorithmische Umsetzung

### Inhalt

Diese Vorlesung behandelt die mathematische und numerische Analyse für Variationsungleichungen mit Anwendungen in der Mechanik und Ingenieurwissenschaften. Schwerpunkte der Veranstaltung sind

- Existenz und Eindeutigkeit
- Konvexe Analysis

- Moreau-Yosida Regularisierung
- Semiglatte Newtonverfahren
- Galerkin-Approximation
- Finite-Elemente-Methode
- Anwendungen auf Hindernisprobleme, Signorini-Probleme, Kontaktprobleme, Hochtemperatur-Supraleitung

Die Übungen zur Vorlesung finden in Kleingruppen statt. Der Stoff der Vorlesungen wird in wöchentlichen schriftlichen Aufgaben vertieft. Diese können auch eine praktische Komponente enthalten, bei der numerische Verfahren am Rechner entwickelt und getestet werden.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

This lecture deals with the mathematical and numerical analysis of variational inequalities with applications in mechanics and engineering. The focus of the course is on:

- existence and uniqueness
- convex analysis
- Moreau-Yosida regularization
- semismooth Newton methods
- Galerkin approximation
- finite element method
- applications to obstacle problems, Signorini problems, contact problems, high-temperature superconductivity

The exercises for the lecture take place in small groups. The material of the lectures is deepened in weekly written assignments. These can also include a practical component, where numerical methods are developed and tested on the computer.

### Literaturbeispiele

K. Atkinson, W. Han: Theoretical Numerical Analysis (3rd edition), Springer, 2009

R. Glowinski: Numerical methods for nonlinear variational problems, Springer, 2008

I. Ekeland, R. Temam: Convex analysis and variational problems, SIAM, 1990

K. Ito & K. Kunisch: Lagrange multiplier approach to variational problems and applications, SIAM, 2008

M. Sofonea & A. Matei: Variational inequalities with applications, Springer, 2009

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Theorie und Numerik geometrischer partieller Differentialgleichungen

### Titel Englisch

Geometric partial differential equations: theory and numerics

### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Analysis III, Numerik partieller Differentialgleichungen

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Numerik

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Erlernen fortgeschritten der Beweistechniken der numerischen Mathematik. Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

Die aufgeführten Lehrinhalte sollen beherrscht und in den begleitenden Übungen selbstständig vertieft werden. Die Übungen können auch eine praktische Komponente enthalten, bei der numerische Verfahren am Rechner entwickelt und getestet werden.

### Inhalt

Geometrische Differentialgleichungen sind partielle Differentialgleichungen, die geometrische Terme enthalten. Ein wichtiges Beispiel ist die Minimalflächen-Gleichung

$$\nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{\sqrt{1+|\nabla u|^2}} \right) = 0,$$

welche die Tatsache beschreibt, dass die Fläche  $\{(x, u(x)) \mid x \in G\}$  mittlere Krümmung Null hat.

Die geometrischen Differentialgleichungen treten in der Differentialgeometrie und in vielen Anwendungen auf, zum Beispiel bei Problemen mit Phasenübergängen, wie dem Wachstum eines Kristalls,

bei der Modellierung von Zellmembranen und auch in der Bildverarbeitung.

In dieser Vorlesung werden Grundkenntnisse vermittelt und Beispiele gezeigt, die den Einstieg in das Gebiet ermöglichen sollen. Der Schwerpunkt liegt bei der numerischen Lösung von partiellen Differentialgleichungen auf Flächen, die sich gegebenenfalls in der Zeit bewegen.

Das Thema ist auf eine sehr schöne Art fachübergreifend. Die notwendigen Kenntnisse aus den verschiedenen mathematischen Gebieten werden vermittelt bzw. wiederholt.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Geometric partial differential equations are partial differential equations that contain geometric terms. A notable example is the minimal surface equation

$$\nabla \cdot \left( \frac{\nabla u}{\sqrt{1+|\nabla u|^2}} \right) = 0,$$

which describes the fact that the surface  $\{(x, u(x)) \mid x \in G\}$  has zero mean curvature.

Geometric partial differential equations occur in differential geometry and in many applications, such as problems with phase transitions, like crystal growth, cell membrane modeling, and image processing.

In this lecture, basic knowledge is provided and examples are shown to facilitate entry into the field. The focus is on the numerical solution of partial differential equations on surfaces that may move in time.

The topic is very nicely interdisciplinary. The necessary knowledge from various mathematical fields is provided or repeated.

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Benotete mündliche oder schriftliche Prüfung. Die Modalitäten der Prüfung werden zu Beginn der Veranstaltungen von der/dem Lehrenden festgelegt und bekanntgegeben.

## Ausgewählte Themen der Numerischen Mathematik

### Titel Englisch

Special topics in numerical mathematics

### Verantwortlich

Prof. Dr. Paola Pozzi

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Werden vom Vorlesenden am Semesteranfang bekanntgegeben.

Numerik partieller Differentialgleichungen

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Numerik

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis

### Lernziele

Erlernen fortgeschrittener Beweistechniken aus den Bereichen Numerische Lineare Algebra und Numerische Analysis.

Diese Kenntnisse sollen der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen und können zu einer Master-Arbeit führen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Theorie in verschiedenen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze, Beweise und Algorithmen
- Vertrautheit mit den typischen Fragestellungen der Theorie

### Inhalt

In diesem Modul werden die Studenten an aktuelle Forschungsthemen im Bereich der Numerischen Mathematik herangeführt. Mögliche Vorlesungen und deren Inhalte sind:

#### 1. Elastischer Fluss für Kurven

- Wiederholung bzw. Bereitstellung von wichtigen Begriffen aus der elementaren Differentialgeometrie, Variationsrechnung und Analysis
- Formulierung und Analysis des Problems
- Diskretisierung mit der Finite-Elemente-Methode und Fehlerabschätzungen

#### 2. Elektromagnetische Wellenphänomene

- Einführung in die Maxwell-Gleichungen
- Wichtige mathematische Resultate im Zusammenhang mit den  $H(\text{div})$ - und  $H(\text{curl})$ -Funktionenräumen
- Finite-Elemente-Methode und Fehlerabschätzungen

#### 3. Numerische Multiskalenmethoden

### Inhalt (Englische Übersetzung)

In this module, the students are introduced to current research in the field of numerical mathematics. Possible lectures and their contents are:

#### 1. elastic flow for curves

- repetition or provision of important concepts from elementary differential geometry, variational calculus, and analysis
- formulation and analysis of the problem
- discretization with the finite element method and error estimates

#### 2. electromagnetic wave phenomena

- introduction to Maxwell's equations
- important mathematical results related to  $H(\text{div})$ - and  $H(\text{curl})$ -function spaces
- finite element method and error estimates

#### 3. numerical multiscale methods

**Literaturbeispiele**

Peter Monk: Finite Element Methods for Maxwell's Equations, Oxford 2003

Yalchin Efendiev, Thomas Y. Hou: Multiscale Finite Element Methods, Springer-Verlag, 2009

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung und Übung

**Arbeitsaufwand**

90-270 Stunden davon 30-90 Präsenz. Danach richtet sich die ECTS Vergabe (also 3-9 ECTS)

**ECTS-Punkte**

3-9, je nach Arbeitsaufwand.

**Prüfungsform**

In der Regel: Mündliche Prüfung am Semesterende – Wird vom Vorlesenden am Semesteranfang bekanntgegeben

**Bemerkungen**

Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Lesekurses durchgeführt werden.

## 3.4 Schwerpunkt Optimierung

Mathematik

### Formoptimierung

#### Titel Englisch

Shape optimization

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Gerhard Starke

#### Angebotsturnus

SS oder WS, nicht jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Nichtlineare Optimierung

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Vertiefungsbereich

#### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

#### Lernziele

- Beherrschung grundlegender Techniken zur Definition von Metriken auf Räumen von Formen durch entsprechende Banach-Räume von Deformationen
- Beherrschung von Techniken zur Herleitung von Formableitungen mit der Methode von Hadamard
- Anwendung auf konkrete Formoptimierungsprobleme mit elliptischen Randwertproblemen (z.B. Poisson-Gleichung, lineare Elastizität) als Nebenbedingung
- Verständnis moderner Methoden zur Approximation der Formableitung in gradientenartigen Verfahren

#### Inhalt

- Beispiele zur Formoptimierung
- Courant-Metriken für Formen
- Formableitungen mit der Methode von Hadamard
- Formoptimierung eines elastisch verformbaren Körpers
- Approximation des Formgradienten

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

- examples of shape optimization
- Courant metrics for shapes
- shape differentiability with the method of Hadamard
- shape optimization of an elastically deformable body
- approximation of the shape gradient

#### Literaturbeispiele

- M.C. Delfour, J.-P. Zolésio: Shapes and Geometries. SIAM, 2011
- G. Allaire: Conception optimale de structures. Springer, 2007

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

9.

#### Prüfungsform

mündlich

## Industrielle Anwendungen der Mathematischen Optimierung

### Titel Englisch

Industrial applications of mathematical optimization

### Verantwortlich

Prof. Dr. Rüdiger Schultz

### Angebotsturnus

SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Mathematische Methoden in Energiesystemen, Stochastische Optimierung

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Stochastik

### Lernziele

Die Teilnehmer erhalten Einblicke in mathematische Methoden bei Erzeugung, Transport und Handel leitungsgebundener Energieträger wie zum Beispiel Elektrizität und Erdgas. In den Wissensgebieten Angewandte Analysis, Numerik, Optimierung und Stochastik findet Erlerntes direkte Anwendung. Die Teilnehmer sind befähigt, neueste mathematische Methoden bei der Modellierung einzubringen und angepasste Lösungsverfahren zu entwickeln und softwareseitig umzusetzen.

### Inhalt

Nach der Bereitstellung grundlegender mathematischer Sachverhalte aus der Theorie und Numerik physikalischer Erhaltungsgleichungen, der Linearen Netzwerkoptimierung, und der Nichtlinearen sowie Stochastischen Optimierung werden spezielle Problemstellungen analysiert, modelliert und algorithmisch behandelt einschließlich Interpretation der berechneten Lösung. Zu solchen Problemstellungen

gehören Kapazitätsmanagement in Gasnetzen (einschließlich Nominierungsvalidierung, Buchungsoptimierung), Lastfluss in Gleich- und Wechselstromnetzen, optimale Blockauswahl (unit commitment) Kraftwerkssystemen, Day-Ahead Trading auf Poolmärkten.

### Inhalt (Englische Übersetzung)

After providing basic mathematical concepts from the theory and numerics of physical conservation laws, linear network optimization, and nonlinear and stochastic optimization, specific problem statements are analyzed, modeled, and algorithmically treated, including the interpretation of the computed solution. To such problem statements belong capacity management in gas networks (including nomination validation, booking optimization), load flow in AC and DC networks, optimal unit commitment in power systems, day-ahead trading on pool markets.

### Literaturbeispiele

- Gabriel, Conejo, Fuller, Hobbs, Ruiz: Complementarity Modeling in Energy Markets, Springer, 2012.
- Koch, Hiller, Pfetsch, Schewe: Evaluating Gas Network Capacities, SIAM, 2015.
- Schultz, Wagner: Innovative Modellierung und Optimierung von Energiesystemen, LIT-Verlag, Münster 2009.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

4 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung

### Arbeitsaufwand

270 Stunden

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Nichtglatte Analysis und Optimierung

### Titel Englisch

Nonsmooth analysis and optimization

### Verantwortlich

Prof. Dr. Antoine Laurain

### Angebotsturnus

SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Funktionalanalysis I, Nichtlineare Optimierung

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

### Lernziele

- Beherrschung grundlegender Techniken der Variationsrechnung zum Nachweis der Existenz von Lösungen unendlichdimensionaler Optimierungsprobleme
- Beherrschung von Techniken der nichtglatten Analysis zur Herleitung notwendiger Optimierungsbedingungen für nichtdifferenzierbare Optimierungsprobleme
- Verständnis moderner Verfahren für ihre numerische Lösung sowie deren praktischer Umsetzung
- Anwendung auf Fragestellungen aus den inversen Problemen, der Bildverarbeitung, und der optimalen Steuerung

In den Übungen bzw. dem Praktikum soll das Verständnis dieser Verfahren vertieft und ihre numerische Implementierung erlernt werden.

### Inhalt

- Konvexe Analysis und Fenchel-Dualität
- Monotone Operatoren und Resolventen
- Proximalpunkt- und Splitting-Verfahren
- Die Clarkesche verallgemeinerte Ableitung
- Semiglatte Newton-Verfahren

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- convex analysis and Fenchel duality
- monotone operators and resolvents
- proximal point and splitting methods
- Clarke's generalized derivative
- semismooth Newton methods

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS bzw. Praktikum

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## Numerik und Optimierung großer nichtlinearer Systeme

### Titel Englisch

Numerical solution and optimization of large nonlinear systems

### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

### Angebotsturnus

nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Numerik

### Lernziele

Die Studenten erwerben Kenntnisse über moderne Verfahren für hochdimensionierte nichtlineare Gleichungssysteme und Optimierungsaufgaben. Besondere Aufmerksamkeit wird auf die Globalisierung der lokal schnell konvergenten Methoden gelegt. Darüber hinaus werden Grundlagenkenntnisse in der Analysis nichtlinearer Aufgaben vermittelt.

### Inhalt

In der Vorlesung werden große nichtlineare Systeme untersucht, welche bei der Diskretisierung von Differential- oder Integralgleichungen entstehen:

- Grundlagen zu nichtlinearen Systemen
- Fixpunktiterationen

- Newton-Verfahren und newtonartige Verfahren
- Quasi-Newton-Verfahren
- Globalisierungstechniken
- Trust-Region-Verfahren
- halbglatte (semismooth) Newton-Verfahren
- SQP-Verfahren

### Inhalt (Englische Übersetzung)

In the lecture, large nonlinear systems are investigated, which arise when discretizing differential or integral equations:

- basics of nonlinear systems
- fixed point iterations
- Newton methods and Newton-like methods
- quasi-Newton methods
- globalization techniques
- trust region methods
- semismooth Newton methods
- SQP methods

### Literaturbeispiele

J.E. Dennis, Jr. and Robert B. Schnabel: Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations, Prentice Hall 1983.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung 4SWS/Übung 2SWS

### Arbeitsaufwand

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## Numerische Analysis für Optimalsteuerungsprobleme

### Titel Englisch

Numerical analysis of optimal control problems

### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

### Angebotsturnus

nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

### Lernziele

Die Vorlesung vermittelt umfangreiche Kenntnisse über Optimalitätsbedingungen für diskretisierte und undiskretisierte Optimalsteueraufgaben. Es werden verschiedene Ansätze und Methoden für die Diskretisierung solcher Aufgaben diskutiert. Dabei wird intensiv erörtert, wie man ausgehend von den Optimalitätsbedingungen Fehlerabschätzungen für Finite-Elemente-Methoden (FEM) herleitet.

### Inhalt

Grundlagen der Optimalen Steuerung  
 Galerkin-Verfahren  
 Grundlagen der Finiten-Elemente-Methode  
 Interpolationsfehler  
 Elementare Diskretisierungsstrategien  
 Superkonvergenzmethoden  
 Diskretisierungen mit lokal verfeinerten Netzen  
 Adaptive Finite-Elemente-Methoden (AFEM)

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Foundations of optimal control  
 Galerkin methods  
 Foundations of the finite element method  
 Interpolation errors  
 Elementary discretization strategies  
 Superconvergence methods  
 Discretization with locally refined meshes  
 Adaptive finite element methods (AFEM)

### Literaturbeispiele

Fredi Tröltzsch: Optimale Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg, Wiesbaden 2005.  
 Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung 4SWS/Übung 2SWS

### Arbeitsaufwand

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## Optimale Steuerung von partiellen Differentialgleichungen

### Titel Englisch

Optimal control of partial differential equations

### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

### Angebotsturnus

jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

### Lernziele

Die Vorlesung vermittelt Grundkenntnisse in der Optimalen Steuerung von Partiellen Differentialgleichungen. Großer Wert wird auf die Methoden zur Herleitung von Optimalitätsbedingungen und Existenzresultaten gelegt. Ein Überblick über verschiedene numerische Ansätze zur Lösung von Optimalsteueraufgaben wird gegeben.

### Inhalt

- Theorie der Optimalsteuerung für lineare elliptische und parabolische Differentialgleichungen
- Erweiterung auf semilineare Gleichungen – Satz von Browder und Minty
- Existenz optimaler Steuerungen – direkte Methode der Variationsrechnung
- notwendige Optimalitätsbedingungen erster Ordnung

- adjungierte Gleichungen

- Lagrange-Technik

- hinreichende Optimalitätsbedingungen zweiter Ordnung

- numerische Verfahren

- Anwendungen

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- theory of optimal control for linear elliptic and parabolic differential equations

- extension to semilinear equations – theorem of Browder and Minty

- existence of optimal controls – direct method of variational calculus

- necessary optimality conditions of first order

- adjoint equations

- Lagrange technique

- sufficient optimality conditions of second order

- numerical methods

- applications

### Literaturbeispiele

Fredi Tröltzsch: Optimale Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg, Wiesbaden 2005.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung 4SWS/Übung 2SWS

### Arbeitsaufwand

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

mündlich

## Ausgewählte Themen der inversen Probleme

### Titel Englisch

Special topics in inverse problems

### Verantwortlich

Prof. Dr. Antoine Laurain

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Voraussetzungen (empfohlen)

Inverse Probleme

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Analysis, Numerik

### Lernziele

Souveräner Umgang mit Begriffen, Methoden und Resultaten aus dem Bereich der inversen Probleme. Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit führen und/oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Methoden in neuen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit einigen typischen Fragestellungen der Theorie und von Anwendungen

### Inhalt

Die Studierenden erwerben vertieftes Wissen in verschiedenen Bereichen der inversen Probleme und werden bis an die aktuelle Forschung herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind z.B.:

1. Regularisierungstheorie
2. Statistische Inverse Probleme
3. Inverse Probleme für partielle Differentialgleichungen
4. Inverse Probleme in Banachräumen

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students acquire advanced knowledge in various areas of inverse problems and are introduced to current research. Possible lectures are:

1. regularization theory
2. statistical inverse problems
3. inverse problems for partial differential equations
4. inverse problems in Banach spaces

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung und Übung

### Arbeitsaufwand

90-270 Stunden (davon 30-90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

3-9, je nach Arbeitsaufwand.

### Prüfungsform

Mündliche Prüfung

## Ausgewählte Themen der Optimierung

### Titel Englisch

Special topics in optimization

### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Optimierung

### Lernziele

Souveräner Umgang mit Begriffen, Methoden und Resultaten aus dem Bereich Optimierung. Diese Kenntnisse sollen zu einer Master-Arbeit führen und/oder der Verbreiterung des mathematischen Horizontes dienen.

- Verständnis komplexer Beweise
- Anwenden der erlernten Methoden in neuen Zusammenhängen
- Präsentation eigener Ansätze und Beweise
- Vertrautheit mit einigen typischen Fragestellungen der Theorie und von Anwendungen

### Inhalt

Die Studierenden erwerben vertieftes Wissen in verschiedenen Bereichen der Optimierung und werden bis an die aktuelle Forschung herangeführt. Mögliche Vorlesungen sind z.B.:

1. Optimierung mit Komplementaritätsbedingungen
2. Optimale Steuerung von hyperbolischen Gleichungen

### 3. Formoptimierung

### 4. Stochastische Optimierung II

### 5. Robuste Optimierung

### 6. Moderne Verfahren der nichtglatten Optimierung

### 7. Mengenwertige Analysis

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students acquire advanced knowledge in various areas of optimization and are introduced to current research. Possible lectures are:

### 1. optimization with complementarity conditions

### 2. optimal control of hyperbolic equations

### 3. shape optimization

### 4. stochastic optimization II

### 5. robust optimization

### 6. modern methods of nonsmooth optimization

### 7. set-valued analysis

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung und Übung

### Arbeitsaufwand

90-270 Stunden (davon 30-90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

3-9, je nach Arbeitsaufwand.

### Prüfungsform

Mündliche Prüfung

### Bemerkungen

Bei sehr kleinen Gruppengrößen kann die Veranstaltung in Form eines Lesekurses durchgeführt werden.

## 3.5 Schwerpunkt Stochastik

Mathematik

### Ausgewählte Themen der angewandten Stochastik

#### Titel Englisch

Special topics in applied stochastics

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Mikhail Urusov

#### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht jährlich

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Wahrscheinlichkeitstheorie I

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Vertiefungsbereich

#### Schwerpunkt

Stochastik

#### Lernziele

Die aufgeführten Inhalte sollen beherrscht und in den begleitenden Übungen selbstständig vertieft werden.

#### Inhalt

In dieser Vorlesung werden einige der folgenden oder verwandte Inhalte behandelt:

Verfahren in stochastischer Finanzmathematik, Finanzmathematik mit Python, optimale Handelsausführung, optimales Stoppen, Bandit-Algorithmen.

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

In this lecture, some of the following or related topics are treated:

methods in stochastic finance, finance with Python, optimal trading execution, optimal stopping, bandit algorithms.

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Vorlesung (ggf. mit integriertem Blockseminar)

#### Arbeitsaufwand

Je nach Umfang 90, 180 oder 270 Stunden (davon 30, 60 oder 90 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

Je nach Umfang 3, 6 oder 9 ECTS-Punkte.

#### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Aspekte des Risikomanagements

Titel Englisch	Inhalt
Aspects in risk management	1. Vergleich von Risiken 2. Risikomaße 3. Bewertung aggregierter Risiken 4. Kapital- und Risikoallokationen
Verantwortlich	
PD Dr. Volker Krätschmer	
Angebotsturnus	
Wintersemester, alle 1-2 Jahre	
Studierbar ab Fachsemester	
M 2	
Zulassungsvoraussetzungen	
Analysis I – III, Wahrscheinlichkeitstheorie I	
Voraussetzungen (empfohlen)	
Funktionalanalysis	
Sprache	
Deutsch oder Englisch.	
Status	
Wahlpflichtmodul	
Bereich	
Vertiefungsbereich	
Schwerpunkt	
Stochastik	
Lernziele	
Gemäß der Abkommen von Basel II/III und Solvency II zur Regulierung des Banken- und Versicherungswesens sind Kapitalreservebildungen, sogenannte Risikobewertungen, gesetzlich vorgeschriebene grundlegende Aufgaben für das Risikomanagement von Banken und Versicherungen. Ein wesentliches Lernziel besteht darin, grundlegende Aspekte der Risikobewertung in eine geeignete stochastische Modellierung zu übersetzen. Weiterhin sollen sowohl wichtige stochastische Konzepte zur Modellierung kennen gelernt als auch Methoden zur Bearbeitung entwickelt werden. Neben der Beherrschung und den Verknüpfungen der behandelten Methoden soll auch die Fähigkeit zur Einordnung ihrer Reichweite gefördert werden. Das Modul dient der Vorbereitung auf die Masterarbeit.	
Die vorlesungsbegleitenden Übungen bilden einen unverzichtbaren Bestandteil des Moduls. Durch selbständige Bearbeitung von Hausaufgaben sollen die Lehrinhalte eingeübt und vertieft werden. Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse soll in den Übungsstunden erlernt werden.	
Inhalt (Englische Übersetzung)	
	1. comparison of risks 2. risk measures 3. evaluation of aggregated risks 4. capital and risk allocation
Literaturbeispiele	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Föllmer, H./Schied, A.: Stochastic Finance, de Gruyter Verlag, Berlin/New York, 2011 (3. Aufl.)</li> <li>• McNeil, A./Frey, R./Embrechts, P.; Quantitative Risk Management, Princeton University Press, Princeton, 2005.</li> <li>• Rüschendorf, L.: Mathematical Risk Analysis, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2013.</li> </ul> <p>Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.</p>
Lehrform	
	Vorlesung/ 4 SWS und Übung/ 2 SWS
Arbeitsaufwand	
	270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)
ECTS-Punkte	
	9.
Prüfungsform	
	Schriftliche oder mündliche Prüfung im Anschluss an die Veranstaltung.

## Maschinelles Lernen

### Titel Englisch

Machine learning

### Verantwortlich

Prof. Dr. Denis Belomestny

### Angebotsturnus

Sommersemester, unregelmäßig

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Mathematische Statistik

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

### Lernziele

Den Studierenden sollen einige repräsentativen Modelle, Methoden und Algorithmen aus dem Themenbereich des maschinellen Lernens vermittelt werden. Dabei lernen sie zusätzlich Anwendungen in Modellierung, Vorhersage und Steuerung von multimodalen Informationssystemen kennen.

Die vorlesungsbegleitenden Übungen bilden einen unverzichtbaren Bestandteil des Moduls. Durch selbständige Bearbeitung von Hausaufgaben sollen die Lehrinhalte eingeübt und vertieft werden. Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse soll in den Übungsstunden erlernt werden.

### Inhalt

1. Lineare Modelle und k-nearest neighbor und das Problem von bias und variance
2. Stützvektormethode (SVM) und strukturelle Risikominimierung mit verschiedenen Algorithmen zur Lösung des Optimierungsproblems
3. Klassifikation von Texten
4. Entscheidungsbäume

### 5. Merkmalsselektion

### 6. Graphische Modelle

### 7. K-Means Clustering

### 8. Tag Clustering

### Inhalt (Englische Übersetzung)

1. linear models and k-nearest neighbor and the problem of bias and variance
2. support vector machine (SVM) and structural risk minimization with various algorithms for solving the optimization problem
3. text classification
4. decision trees
5. feature selection
6. graphical models
7. k-means clustering
8. tag clustering

### Literaturbeispiele

- Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer series in statistics. Springer, New York, USA, 2001
- Machine Learning, Tom Mitchell, McGraw Hill, 1997.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/ 4 SWS und Übung/ 2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. In-

nerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Numerik stochastischer Prozesse

### Titel Englisch

Numerical stochastic processes

### Verantwortlich

Prof. Dr. Denis Belomestny

### Angebotsturnus

WS oder SS, nicht regelmäßig

### Studierbar ab Fachsemester

M1

### Zulassungsvoraussetzungen

Grundlagen der Analysis, Grundlagen der Linearen Algebra

### Voraussetzungen (empfohlen)

Kompetenzen, die in den Grundmodulen sowie in den Aufbaumodulen zur Wahrscheinlichkeitstheorie vermittelt werden.

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

### Lernziele

Die Studierenden sollen  
Grundlagen der Simulation von Zufallszahlen und  
stochastischen  
Prozessen erwerben,  
effiziente Verfahren zur Berechnung von finanzmathematisch  
relevanten Größen kennenlernen,  
an ein aktuelles wissenschaftliches Gebiet heran-  
geführt werden,  
mathematische Arbeitsweisen einüben (Entwickeln von  
mathematischer Intuition und deren formaler Be-  
gründung, Schulung  
des Abstraktionsvermögens, Beweisführung) so-  
wie  
in den Übungen ihre mündliche Kommunikations-  
fähigkeit durch  
Einüben der freien Rede vor einem Publikum und  
bei der Diskussion  
verbessern.

### Inhalt

- Numerik stochastischer Differentialgleichungen
- Zufallszahlengeneratoren
- Monte-Carlo Verfahren, insbesondere multilevel Monte-Carlo Verfahren
- Varianzreduktion
- Starke/schwache Approximation von Lösungen  
Optional:
- Numerische Verfahren höherer Ordnung
- Romberg Extrapolation

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- numerics of stochastic differential equations
- random number generators
- Monte Carlo methods, in particular multilevel Monte Carlo methods
- variance reduction
- strong/weak approximation of solutions  
Optional:
- numerical methods of higher order
- Romberg extrapolation

### Literaturbeispiele

- Kloeden, P., Platen, E., „Numerical Solution of Stochastic Differential Equations“. Springer 1995.
- Glasserman, P., „Monte Carlo Methods in Financial Engineering“. Springer 2003.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen be-  
kanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung (2 SWS) und Übung (2 SWS) oder Vor-  
lesung (3 SWS) und Übung (1 SWS)

**Arbeitsaufwand**

60 Std. Präsenzzeit und 120 Std. Zeit für das Selbststudium

**ECTS-Punkte**

6.

**Prüfungsform**

Die Modulprüfung besteht aus einer Klausur oder einer mündlichen Prüfung. Für die Modulprüfung ist das Lösen und die Präsentation von Übungsaufgaben Zulassungsvoraussetzung.

## Theorie der großen Abweichungen

### Titel Englisch

Theory of large deviations

### Verantwortlich

Prof. Dr. Anita Winter

### Angebotsturnus

Sommer, nicht jährlich

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

### Lernziele

Die aufgeführten Lehrinhalte sollen beherrscht und in den begleitenden Übungen selbstständig vertieft werden.

Die Vorlesung wird von einem Blockseminar/Lesekurs begleitet, in denen die Studierenden die komplexe Theorie

anhand einer mathematischen Originalarbeit durchdringen können. Durch diesem Kurs werden Studierende befähigt, eine Master- bzw. Promotionsarbeit in der Wahrscheinlichkeitstheorie zu schreiben.

### Inhalt

Die Theorie der großen Abweichungen beschäftigt sich mit der Asymptotik der Wahrscheinlichkeiten seltener Ereignisse. Die exponentielle Abfallrate dieser Wahrscheinlichkeiten wird in Termen einer Variationsformel ausgedrückt, deren Wert und deren Minimierer interessante Rückschlüsse auf die Ereignisse zulassen. Die Theorie der großen Abweichungen gibt damit die mathematische Grundlage sehr weit reichender Anwendungen in Wahrscheinlichkeitstheorie, Finanzmathematik, Risikotheorie, Statistik, Operations Research, Ergodentheorie, Informationstheorie, Statistischer Physik, Theoretischer Chemie, und so weiter. In dieser Vorlesung soll die zum Teil abstrakte Theorie vorgestellt und

exemplarisch an Modellen erläutert werden, in denen die Theorie großer Abweichungen einen entscheidenden Beitrag leistet.

1. Satz von Cramer
2. Satz von Sanov
3. Kontraktionsprinzip
4. Lemma von Varadhan
5. Gärtner-Ellis Theorem Ausgewählte Anwendungen: Ruinwahrscheinlichkeiten, Warteschlangen, Zufällig gestörte dynamische Systeme, Aufenthaltmaße zeitstetiger Irrfahrten, Spektrum zufälliger Matrizen, Curie-Weiss-Modell, ...

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The theory of large deviations deals with the asymptotics of the probabilities of rare events. The exponential decay rate of these probabilities is expressed in terms of a variation formula, whose value and minimizer provide interesting insights into the events. The theory of large deviations provides the mathematical foundation for very wide-ranging applications in probability theory, financial mathematics, risk theory, statistics, operations research, ergodic theory, information theory, statistical physics, theoretical chemistry, and so on.

In this lecture, the somewhat abstract theory is presented and exemplified by models in which the theory of large deviations makes a decisive contribution.

1. Cramer's theorem
2. Sanov's theorem
3. contraction principle
4. Varadhan's lemma
5. Gärtner-Ellis theorem Selected applications: ruin probabilities, queues, randomly disturbed dynamical systems, residence measures of time-homogeneous random walks, spectrum of random matrices, Curie-Weiss model, ...

**Literaturbeispiele**

- Amir Dembo and Ofer Zeitouni; Large Deviations: Techniques and Applications, 1998
- Jean Dominique Deuschel and Daniel Strook; Large Deviations, 1984
- Jin Feng and Thomas G. Kurtz, Large Deviations for Stochastic Processes, AMS 2006

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung mit integriertem Seminar/Lesekurs

**Arbeitsaufwand**

180-270 Stunden

**ECTS-Punkte**

6-9 ECTS (je nach Aufwand).

**Prüfungsform**

Schriftlich oder mündlich am Ende des Kurses oder aufgrund einer Präsentation im Blockseminar.

## Zeitreihenanalyse

### Titel Englisch

Time series analysis

### Verantwortlich

Prof. Dr. Denis Belomestny

### Angebotsturnus

Einmal pro Jahr

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Wahrscheinlichkeitstheorie I oder Mathematische Statistik

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

Zuordnungen zu weiteren Schwerpunkten: Stochastik

### Lernziele

Im Rahmen der Zeitreihenanalyse geht es vor allem darum, eine Zeitreihe an ein statistisches Modell anzupassen, um mit dessen Hilfe mögliche zukünftige Werte prognostizieren zu können. Von weiterem Interesse sind auch die Eigenschaften der Daten einer Zeitreihe selbst. Prognose und Datenanalyse sind daher die Ziele der hier vorgestellten Methoden. Die Studierenden sollen durch die Veranstaltung zum einen lernen, selbständig zeitreihenanalytische statistische Modelle aufzustellen. Zum anderen sollen Sie auch befähigt werden, die gewählten Modelle unter Zuhilfenahme geeigneter Software (hier R) zu schätzen, und darauf aufbauend Prognosen zu erstellen. Vorbereitend dafür sollen die Studierenden die Fertigkeit erwerben, Eigenschaften von Zeitreihen aufzudecken, um dann das geeignete Analyseinstrument heranzuziehen.

Die vorlesungsbegleitenden Übungen bilden einen unverzichtbaren Bestandteil des Moduls. Durch selbständige Bearbeitung von Hausaufgaben sollen die Lehrinhalte eingeübt und vertieft werden. Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse soll in den Übungsstunden erlernt werden.

### Inhalt

#### 1. Grundlagen

- Sichtweisen auf Zeitreihen
- Lineare Differenzengleichungen
- Der Lagoperator
- Lineare Filter

#### 2. Univariate Prozesse

- Stochastische Prozesse
- Lineare stochastische Prozesse
- Schätzung von ARMA-Prozessen
- Prognose mit ARMA-Prozessen
- Spektralanalyse
- Nicht-Stationäre Prozesse

#### 3. Multivariate Prozesse

- Vektorwertige autoregressive Prozesse
- Kointegration
- Zustandsraummodelle und der Kalman-Filter

### Inhalt (Englische Übersetzung)

#### 1. basics

- perspectives on time series
- linear difference equations
- the Lag operator
- linear filters

#### 2. univariate processes

- stochastic processes
- linear stochastic processes
- estimation of ARMA processes
- prediction with ARMA processes
- spectral analysis
- non-stationary processes

#### 3. multivariate processes

- vector-valued autoregressive processes
- cointegration
- state-space models and the Kalman filter

**Literaturbeispiele**

- Box, George E.P., Gwilym M. Jenkins und Gregory C. Reinsel. 1994. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd Ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- Davidson, Russel und James G. MacKinnon. 1993. Estimation and Inference in Econometrics. New York und Oxford: Oxford University Press.
- Enders, Walter. 2005. Applied Econometric Time Series, 2nd edition. New York: John Wiley.

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

**Lehrform**

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

**Arbeitsaufwand**

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

**ECTS-Punkte**

9.

**Prüfungsform**

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Zeitstetige Finanzmathematik

### Titel Englisch

Continuous-time financial mathematics

### Verantwortlich

Prof. Dr. Mikhail Urusov

### Angebotsturnus

SS, alle 1-2 Jahre

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Wahrscheinlichkeitstheorie I, Wahrscheinlichkeits-theorie II

### Voraussetzungen (empfohlen)

Diskrete Finanzmathematik

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

### Lernziele

Verständnis der grundlegenden Begriffe und Sätze in der stochastischen Analysis in stetiger Zeit (insbesondere Martingaltheorie sowie stochastische Integration) und deren Anwendung für finanzmathematische Modellierung (insbesondere Absicherung von Derivaten). In den Übungen lernen die Studenten die Anwendung der Theorie kennen.

### Inhalt

- Stochastisches Integral
- Ito-Formel und Anwendungen
- Bewertung und Absicherung von Derivaten

### Inhalt (Englische Übersetzung)

- stochastic integral
- Ito formula and applications
- valuation and hedging of derivatives

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung/4 SWS und Übung/2 SWS

### Arbeitsaufwand

270 Stunden (davon 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

9.

### Prüfungsform

Schriftliche oder mündliche Prüfung im Anschluss an die Veranstaltung.

## Ausgewählte Themen der Stochastischen Analysis

### Titel Englisch

Special topics in stochastic analysis

### Verantwortlich

Prof. Dr. Martin Hutzenthaler

### Angebotsturnus

Sommer alle 1-2 Jahre, Winter nicht regelmäßig

### Studierbar ab Fachsemester

M2

### Zulassungsvoraussetzungen

Wahrscheinlichkeitstheorie II

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Wahlpflichtmodul

### Bereich

Vertiefungsbereich

### Schwerpunkt

Stochastik

### Lernziele

Die aufgeführten Lehrinhalte sollen beherrscht und in den begleitenden Übungen selbstständig vertieft werden.

Die Studierenden sollen, aufbauend auf dem Erweiterungsbereich Wahrscheinlichkeitstheorie II, wichtige Konzepte der stochastischen Analysis studieren. Durch diesem Kurs werden Studierende befähigt, eine Master- bzw. Promotionsarbeit in der Stochastischen Analysis zu schreiben.

### Inhalt

Die stochastische Analysis basiert auf Integration und Differentiation nach der Brownschen Bewegung.

Inhalt dieses Moduls ist eines der folgenden Themen:

- stochastische Differentialgleichungen
- stochastische partielle Differentialgleichungen
- stochastische Rückwärts-Differentialgleichungen
- Malliavin-Kalkül
- Theorie der großen Abweichungen

### Inhalt (Englische Übersetzung)

Stochastic analysis is based on integration and differentiation with respect to the Brownian motion.

The content of this module is one of the following topics:

- stochastic differential equations
- stochastic partial differential equations
- stochastic backward differential equations
- Malliavin calculus
- theory of large deviations

### Literaturbeispiele

- Oksendal, B: Stochastic differential equations.
- Prevot, C and Röckner, M: A Concise Course on stochastic partial differential equations
- Nualart, D: The Malliavin Calculus and Related Topics.
- den Hollander, F: Large Deviations

Weitere Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Vorlesung (evtl mit integriertem Blockseminar)

### Arbeitsaufwand

Je nach Umfang 90, 180, oder 270 Stunden (davon 30, 60, oder 90 Stunden Präsenz)

### ECTS-Punkte

Je nach Umfang 3, 6 oder 9 Ects Punkte.

### Prüfungsform

Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.

## Ausgewählte Themen stochastischer Prozesse

<b>Titel Englisch</b>	<b>Inhalt</b>
Special topics in stochastic processes	In dieser Vorlesung werden eine bis drei der folgenden Prozess-Klassen behandelt: Gaußsche Prozesse, Lévy Prozesse und Markov-Prozesse.
<b>Verantwortlich</b>	<b>Inhalt (Englische Übersetzung)</b>
Prof. Dr. Anita Winter	In this lecture, one to three of the following process classes are treated: Gaussian processes, Lévy processes, and Markov processes.
<b>Angebotsturnus</b>	<b>Literaturbeispiele</b>
Sommer jährlich, Winter nicht regelmäßig	Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.
<b>Studierbar ab Fachsemester</b>	<b>Lehrform</b>
M2	Vorlesung (ggf. mit integriertem Blockseminar)
<b>Sprache</b>	<b>Arbeitsaufwand</b>
Deutsch oder Englisch.	Je nach Umfang 90, 180, oder 270 Stunden (davon 30, 60, oder 90 Stunden Präsenz)
<b>Status</b>	<b>ECTS-Punkte</b>
Wahlpflichtmodul	Je nach Umfang 3, 6, oder 9 ECTS.
<b>Bereich</b>	<b>Prüfungsform</b>
Vertiefungsbereich	Die ECTS-Punkte werden auf Grund einer mündlichen oder schriftlichen Prüfung innerhalb von drei der Veranstaltung folgenden Monaten vergeben. Innerhalb von sechs Monaten nach der Prüfung besteht Möglichkeit zur Nachprüfung. Die Prüfungsleistung wird benotet. Die Lehrenden werden die Modalitäten der Prüfung zu Beginn der Veranstaltungen festlegen.
<b>Schwerpunkt</b>	
Stochastik	
<b>Lernziele</b>	
Die Studierenden sollen aufbauend auf dem Erweiterungsbereich Wahrscheinlichkeitstheorie II wichtige Prozessklassen der modernen Wahrscheinlichkeitstheorie im Detail studieren. Es wird jeweils um die formale Konstruktion der Prozesse, Existenz und Eindeutigkeitsaussagen und Regularität der Pfadeigenschaften gehen sowie ein Bezug zu einem aktuellen Forschungsthema gegeben.	

## 4 Seminarbereich

Die fünf, nach den üblichen Schwerpunkten bezeichneten Masterseminare des Seminarbereichs können bei wesentlich verschiedenen Themen mehrfach belegt werden. Je nach Arbeitsaufwand können je Veranstaltung 6 oder 9 Credits erworben werden. Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.

Im Masterstudiengangs Mathematics sind insgesamt 18 bis 45 Credits zu erbringen.

Wir verweisen für detaillierte Informationen zum Studienablauf auf die Prüfungsordnungen.

## 4.1 Schwerpunkt Algebra

Mathematik

### Master-Seminar Algebra

#### Titel Englisch

Master's seminar in algebra

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Georg Hein

#### Angebotsturnus

jedes Semester

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Die Voraussetzungen werden von den Lehrenden bei der Ankündigung bekannt gegeben.

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Seminarbereich

#### Schwerpunkt

Algebra

#### Lernziele

Durch die erfolgreiche Teilnahme am Master-Seminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Algebra verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Vergleich zum Bachelor-Seminar werden im Master-Seminar üblicherweise anspruchsvollere Themen höherer Aktualität behandelt und eine höhere Selbstständigkeit in der Bearbeitung durch die Studierenden erwartet. Damit trägt das Master-Seminar zur Befähigung zu selbstständigem wissenschaftlichem Arbeiten bei.

#### Inhalt

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Algebra ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Hinzu kommt weiterhin eine schriftliche Ausarbeitung, die innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist zu erstellen ist. Das Seminar soll auf einer Vorlesung im Erweiterungsbereich oder dem Vertiefungsbereich aus einem der folgenden Unterbereiche der Algebra aufbauen:

- Algebra
- Algebraische Geometrie
- Algebraische Topologie
- Arithmetik
- Komplexe Geometrie
- Zahlentheorie

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students work on a limited topic from a research area in algebra, prepare a presentation on it, hold it, and answer related questions. In addition, a written paper is to be prepared within a given time frame. The seminar is to be based on a lecture in the extension area or the specialization area from one of the following subareas of algebra:

- algebra
- algebraic geometry
- algebraic topology
- arithmetic
- complex geometry
- number theory

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Seminar/2 SWS

<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>Prüfungsform</b>
180 oder 270 Stunden (davon 30 Stunden Präsenz)	Beurteilung von Vortrag, Ausarbeitung und Diskussion.
<b>ECTS-Punkte</b>	Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.
6 oder 9.	

## 4.2 Schwerpunkt Analysis

Mathematik

### Master-Seminar Analysis

#### Titel Englisch

Master's seminar in analysis

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Frank Müller

#### Angebotsturnus

jedes Semester

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Die Voraussetzungen werden von den Lehrenden bei der Ankündigung bekannt gegeben.

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Seminarbereich

#### Schwerpunkt

Analysis

#### Lernziele

Durch die erfolgreiche Teilnahme am Master-Seminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Analysis verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Vergleich zum Bachelor-Seminar werden im Master-Seminar üblicherweise anspruchsvollere Themen höherer Aktualität behandelt und eine höhere Selbständigkeit in der Bearbeitung durch die Studierenden erwartet. Damit trägt das Master-Seminar zur Befähigung zu selbständigem wissenschaftlichem Arbeiten bei.

#### Inhalt

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Analysis ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Hinzu kommt weiterhin eine schriftliche Ausarbeitung, die innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist zu erstellen ist. Das Seminar soll auf einer Vorlesung im Erweiterungsbereich oder dem Vertiefungsbereich aufbauen.

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students work on a limited topic from a research area in analysis, prepare a presentation on it, hold it, and answer related questions. In addition, a written paper is to be prepared within a given time frame. The seminar is to be based on a lecture in the extension area or the specialization area.

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Seminar/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

180 oder 270 Stunden (davon 30 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

6 oder 9, je nach Arbeitsaufwand.

#### Prüfungsform

Beurteilung von Vortrag, Ausarbeitung und Diskussion

Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.

### 4.3 Schwerpunkt Numerik

Mathematik

#### Master-Seminar Numerische Mathematik

##### Titel Englisch

Master's seminar in numerical mathematics

##### Verantwortlich

Prof. Dr. Gerhard Starke

##### Angebotsturnus

jedes Semester

##### Studierbar ab Fachsemester

M1

##### Voraussetzungen (empfohlen)

Die Voraussetzungen werden von den Lehrenden bei der Ankündigung bekannt gegeben.

##### Sprache

Deutsch oder Englisch.

##### Status

Wahlpflichtmodul

##### Bereich

Seminarbereich

##### Schwerpunkt

Numerik

##### Lernziele

Durch die erfolgreiche Teilnahme am Master-Seminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der numerischen Mathematik verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Vergleich zum Bachelor-Seminar werden im Master-Seminar üblicherweise anspruchsvollere Themen höherer Aktualität behandelt und eine höhere Selbstständigkeit in der Bearbeitung durch die Studierenden erwartet. Damit trägt das Master-Seminar zur Befähigung zu selbstständigem wissenschaftlichen Arbeiten bei.

##### Inhalt

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der numerischen Mathematik ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Hinzu kommt weiterhin eine schriftliche Ausarbeitung, die innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist zu erstellen ist. Abhängig von der Thematik des Seminars kann auch die selbstständige Durchführung numerischer Experimente gefordert werden. Das Seminar soll auf einem Erweiterungs- oder Vertiefungsmodul aufbauen.

##### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students work on a limited topic from a research area in numerical mathematics, prepare a presentation on it, hold it, and answer related questions. In addition, a written paper is to be prepared within a given time frame. Depending on the topic of the seminar, self-contained numerical experiments may also be required. The seminar is to be based on an extension or specialization module.

##### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

##### Lehrform

Seminar/2 SWS

##### Arbeitsaufwand

180 oder 270 Stunden (davon 30 Stunden Präsenz)

##### ECTS-Punkte

6 oder 9, je nach Arbeitsaufwand.

##### Prüfungsform

Beurteilung von Vortrag, Ausarbeitung und Diskussion

Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.

## 4.4 Schwerpunkt Optimierung

Mathematik

### Master-Seminar Optimierung

#### Titel Englisch

Master's seminar in optimization

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Arnd Rösch

#### Angebotsturnus

jedes Semester

#### Studierbar ab Fachsemester

M1

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Die Voraussetzungen werden von den Lehrenden bei der Ankündigung bekannt gegeben.

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Seminarbereich

#### Schwerpunkt

Optimierung

#### Lernziele

Durch die erfolgreiche Teilnahme am Master-Seminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Optimierung verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Vergleich zum Bachelor-Seminar werden im Master-Seminar üblicherweise anspruchsvollere Themen höherer Aktualität behandelt und eine höhere Selbstständigkeit in der Bearbeitung durch die Studierenden erwartet. Damit trägt das Master-Seminar zur Befähigung zu selbstständigem wissenschaftlichem Arbeiten bei.

#### Inhalt

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Optimierung ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Hinzu kann weiterhin eine schriftliche Ausarbeitung kommen, die innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist zu erstellen ist. Abhängig von der Thematik des Seminars kann auch die selbstständige Durchführung numerischer Experimente gefordert werden. Das Seminar soll auf einer Vorlesung im Erweiterungsbereich oder dem Vertiefungsbereich aufbauen.

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students work on a limited topic from a research area in optimization, prepare a presentation on it, hold it, and answer related questions. In addition, a written paper may be required within a given time frame. Depending on the topic of the seminar, self-contained numerical experiments may also be required. The seminar is to be based on a lecture in the extension area or the specialization area.

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Seminar/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

180 oder 270 Stunden (davon 30 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

6 oder 9, je nach Arbeitsaufwand.

#### Prüfungsform

Beurteilung von Vortrag, Ausarbeitung und Diskussion

Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.

## 4.5 Schwerpunkt Stochastik

Mathematik

### Masterseminar Stochastik

#### Titel Englisch

Master's seminar in stochastics

#### Verantwortlich

Prof. Dr. Anita Winter

#### Angebotsturnus

jedes Semester

#### Studierbar ab Fachsemester

M2

#### Zulassungsvoraussetzungen

eine Veranstaltung des Erweiterungsbereiches oder des Vertiefungsbereiches im Schwerpunkt Stochastik

#### Voraussetzungen (empfohlen)

Die Voraussetzungen werden von den Lehrenden bei der Ankündigung bekannt gegeben.

#### Sprache

Deutsch oder Englisch.

#### Status

Wahlpflichtmodul

#### Bereich

Seminarbereich

#### Schwerpunkt

Stochastik

#### Lernziele

Durch die erfolgreiche Teilnahme am Masterseminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Stochastik verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Vergleich zum Bachelor-Seminar werden im Master-Seminar üblicherweise anspruchsvollere Themen höherer Aktualität behandelt und eine höhere Selbstständigkeit in der Bearbeitung durch

die Studierenden erwartet. Damit trägt das Masterseminar zur Befähigung zu selbstständigem wissenschaftlichem Arbeiten bei.

#### Inhalt

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema eines Forschungsgebiets aus der Stochastik ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Sie nehmen aktiv an einer wissenschaftlichen Diskussion zu den Präsentationen der anderen Seminarteilnehmer\*innen teil. Das Seminar soll auf einer Vorlesung im Erweiterungsbereich oder dem Vertiefungsbereich aufbauen.

#### Inhalt (Englische Übersetzung)

The students work on a limited topic from a research area in stochastics, prepare a presentation on it, hold it, and answer related questions. They actively participate in a scientific discussion on the presentations of the other seminar participants. The seminar is to be based on a lecture in the extension area or the specialization area.

#### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

#### Lehrform

Seminar/2 SWS

#### Arbeitsaufwand

180 oder 270 Stunden (davon 30 Stunden Präsenz)

#### ECTS-Punkte

6 oder 9, je nach Arbeitsaufwand.

#### Prüfungsform

Beurteilung von Vortrag, Ausarbeitung und Diskussion

Dabei gilt, dass für ein Masterseminar mit 6 Credits ein eigenständiger Vortrag auszuarbeiten und zu halten ist. Studierende, die mindestens zwei Themen präsentieren erhalten 9 Credits.

---

## 5 Masterarbeit

Die Masterarbeit schließt die wissenschaftliche Ausbildung im Rahmen des Masterstudiums ab. Sie wird in einem der fünf bekannten Schwerpunkte geschrieben. In diesem Schwerpunkt müssen insgesamt mindestens 27 Credits durch Module des Erweiterungs-, Vertiefungs- und Seminarbereichs erbracht worden sein. Mindestens 9 Credits müssen aus diesen Bereichen in einem anderen Schwerpunkt erworben worden sein.

Wir verweisen für detaillierte Informationen zum Studienablauf auf die Prüfungsordnungen.

## Masterarbeit

### Titel Englisch

Master's thesis

### Verantwortlich

Prof. Dr. Frank Müller

### Angebotsturnus

permanent

### Studierbar ab Fachsemester

M4

### Voraussetzungen (empfohlen)

Qualifikationen basierend auf allen Veranstaltungen bis zum Beginn der Master-Arbeit

### Sprache

Deutsch oder Englisch.

### Status

Pflichtmodul

### Bereich

Masterarbeit

### Lernziele

Mit der Master-Arbeit zeigen die Studierenden, dass sie in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem der Mathematik selbstständig auf der Grundlage der bis dahin im Master-Studiengang erzielten Qualifikationen zu bearbeiten. Im Vergleich zur Bachelor-Arbeit wird ein anspruchsvollereres Thema auf einem wissenschaftlich höheren Niveau über einen längeren Zeitraum bearbeitet. Durch die zusätzlich erwartete höhere Selbstständigkeit belegen die Studierende ihre Fähigkeit zu wissenschaftlichem Arbeiten und unterstützen damit die wissenschaftliche Weiterentwicklung des Fachgebiets.

### Inhalt

Die Master-Arbeit schließt die wissenschaftliche Ausbildung im Master-Studiengang Mathematics ab. Über einen Zeitraum von 26 Wochen bearbeitet der oder die Studierende selbstständig unter wissenschaftlicher Betreuung ein Thema, welches an

die neuesten Forschungsergebnisse des gewählten Schwerpunkts angelehnt ist. Mögliche Schwerpunkte sind dabei:

- Algebra
- Analysis
- Numerische Mathematik
- Optimierung
- Stochastik

### Inhalt (Englische Übersetzung)

The master's thesis concludes the scientific education in the master's program in mathematics. Over a period of 26 weeks, the student works independently under scientific supervision on a topic that is related to the latest research results in the chosen area of specialization. Possible areas of specialization are:

- algebra
- analysis
- numerical mathematics
- optimization
- stochastics

### Literaturbeispiele

Literatur wird in den Veranstaltungen bekanntgegeben.

### Lehrform

Master-Arbeit

### Arbeitsaufwand

900 Stunden

### ECTS-Punkte

30.

### Prüfungsform

Begutachtung der Master-Arbeit