Modulhandbuch

Masterstudiengang „Mathematik“

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Fakultät für Mathematik und Informatik

Fassung vom 09.02.2022 zur Prüfungsordnung vom 08.12.2016

Studienform: Vollzeit

Art des Studiengangs: Konsekutiv

Regelstudienzeit: 4 Semester

Anzahl der im Studiengang zu erwerbenden Leistungspunkte: 120

Einführungsdatum: 11.03.2009

Studienstandort: Heidelberg

Anzahl der Studienplätze: Keine Zulassungsbeschränkung

Gebühren/Beiträge: Gemäß allgemeiner Regelung der Universität Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

1 Qualifikationsziele, Profil und Besonderheiten des Masterstudiengangs Mathematik

1.1 Präambel - Qualifikationsziele der Universität Heidelberg

Anknüpfend an ihr Leitbild und ihre Grundordnung verfolgt die Universität Heidelberg in ihren Studiengängen fachliche, fachübergreifende und berufsfeldbezogene Ziele in der umfassenden akademischen Bildung und für eine spätere berufliche Tätigkeit ihrer Studierenden. Das daraus folgende Kompetenzprofil wird als für alle Disziplinen gültiges Qualifikationsprofil in den Modulhandbüchern aufgenommen und in den spezifischen Qualifikationszielen sowie den Curricula und Modulen der einzelnen Studiengänge umgesetzt:

- Entwicklung von fachlichen Kompetenzen mit ausgeprägter Forschungsorientierung;
- Entwicklung transdisziplinärer Dialogkompetenz;
- Aufbau von praxisorientierter Problemlösungskompetenz;
- Entwicklung von personalen und Sozialkompetenzen;
- Förderung der Bereitschaft zur Wahrnehmung gesellschaftlicher Verantwortung auf der Grundlage der erworbenen Kompetenzen.

1.2 Fachliche Qualifikationsziele des Studiengangs

Der konsekutive Masterstudiengang Mathematik hat das Ziel einer Erweiterung der mathematischen Grundkenntnisse sowie einer Vertiefung, die bis zum Kontakt mit aktueller Forschung in einem der in Heidelberg vertretenen Gebiete reicht. Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs sind in der Lage, mathematische Methoden und Modelle anzuwenden und selbständig auch für allgemeinere Fälle weiterzuentwickeln. Sie können sich weiterführende mathematische Methoden eigenständig erschließen. Durch die Anfertigung einer Masterarbeit werden in sehr großem Maße die Fähigkeiten zur selbständigen wissenschaftlichen Arbeit, zur Problemanalyse und -lösung und auch zur Organisation von Arbeit gestärkt. Der Masterstudiengang Mathematik unterscheidet sich vom ebenfalls angebotenen internationalen Masterstudiengang Scientific Computing dadurch, dass der Masterstudiengang Mathematik eher auf innermathematische Forschung ausgelegt ist, während beim internationalen Masterstudiengang Scientific Computing der Anwendungsbezug im Vordergrund steht.

1.3 Überfachliche Qualifikationsziele des Studiengangs

Die fachbezogenen Kompetenzen, die Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs Mathematik im Prozess der Aneignung und Anwendung mathematischer Inhalte und Methoden erworben haben, sind in vielfältiger Weise zugleich von überfachlicher Relevanz. Absolventinnen und Absolventen

- besitzen strukturelles Denken und Abstraktionsvermögen, sowie umfangreiche Problemlösungsstrategien und können diese Kompetenzen auch in neuen, unvertrauten Situationen anwenden
- sind in der Lage, umfangreiche wissenschaftliche Texte zu verfassen und Berichte, Sachverhalte und Ideen einem Publikum zu präsentieren
- können den eigenen Arbeitsprozess effektiv organisieren, eigene Wissenslücken erkennen und den eigenen Lernprozess aktiv steuern
- sind in der Lage, relevante Literatur zu recherchieren und sich selbständig neues Wissen und Fähigkeiten anzueignen auch auf Englisch
- können sich mit Fachvertretern und Laien über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen austauschen und in einem interdisziplinären/interkulturellen Kontext in einem Team erfolgreich arbeiten und Verantwortung übernehmen

1.4 Berufsfelder für Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs

Das erfolgreiche Studium des Studienganges ermöglicht eine Tätigkeit in verschiedenen beruflichen Bereichen, wie der Finanz- und Versicherungsbranche, Unternehmensberatung und Softwareentwicklung. Absolventinnen und Absolventen des forschungsorientierten Masterstudiengangs Mathematik sind besonders für Tätigkeiten im universitären oder außeruniversitären Forschungsumfeld qualifiziert.

1.5 Erläuterungen zum Studiengang und den Modulbeschreibungen

1.5.1 Begründung für Module mit weniger als 5 LP

In diesem Studiengang gibt es einige Module mit weniger als 5 Leistungspunkten. Bei diesen Modulen handelt es sich um inhaltlich abgeschlossene Studieneinheiten, die nicht sinnvoll mit anderen Modulen zusammengelegt werden können.

1.5.2 Beschreibung der Lehr- und Lernformen

Vorlesung: Präsentation des Lehrstoffs durch die Lehrperson mittels geeigneter Medien, Interaktion und Nachfragen möglich

Übung: Übungsaufgaben und kleinere Teile des Lehrstoffs werden erläutert, Nachfragen, Interaktion und Diskussion von und mit den Studierenden zum Verständnis des Lehrstoffs und der Beispielaufgaben

Seminar: Selbstständiges Erarbeiten eines wissenschaftlichen Themas, Erstellen einer Präsentation, Halten des Vortrags mit anschließenden Fragen und Diskussion der Teilnehmer zum Vortrag

Praktikum: Projektarbeit anhand einer Programmieraufgabe, selbstständiges Erstellen einer Software inklusive Dokumentation, Anfertigen eines Projektberichts und eines Vortrags, Halten des Vortrags zur Präsentation der Software

1.5.3 Prüfungsmodalitäten

Zu Beginn jeder Veranstaltung werden die Details und insbesondere Abweichungen zu den unten aufgeführten Prüfungsmodalitäten von der Lehrperson bekannt gegeben.

Viele Module haben eine einheitliche Regelung bei der Vergabe der LP, daher wird diese Regelung hier einmal ausführlich beschrieben und bei den Modulbeschreibungen dann nur hierher verwiesen.

Regelung zur Vergabe der LP: In diesem Modul werden die LP bei bestandener Abschlussprüfung vergeben. Die Details zur Abschlussprüfung stehen bei den einzelnen Modulen. In diesem Modul gibt es einen Übungsbetrieb mit der Bearbeitung von Übungsaufgaben. Um zur Abschlussprüfung zugelassen zu werden, sollen in der Regel 50% der Punkte in den Übungsaufgaben erreicht werden, nach Ermessen der Lehrenden kann in Einzelfällen davon abgewichen werden.

Prüfungsschema: Laut Prüfungsordnung gibt es nach dem ersten Versuch einen Wiederholungsversuch. Eine bestandene Prüfung kann nicht wiederholt werden.
Bei den generischen Grund-, Aufbau- und Spezialisierungsmodulen zählen die beiden Prüfungsversuche jeweils für die einzelnen Veranstaltungen.

Prüfungszeitraum: Für die schriftlichen Prüfungen (Klausuren) zum Ende jeden Semesters wurden zwei Prüfungszeiträume von jeweils 3 Wochen festgelegt. Der erste Prüfungszeitraum besteht aus der letzten Woche der Vorlesungszeit und den ersten beiden Wochen der vorlesungsfreien Zeit. Der zweite Prüfungszeitraum besteht aus den letzten 3 Wochen der vorlesungsfreien Zeit. In Ausnahmefällen können Prüfungen außerhalb dieser Prüfungszeiträume stattfinden.

Prüfungstermine: Bei Modulen die einmal jährlich oder seltener angeboten werden, werden im Anschluss an das Modul immer zwei Prüfungstermine angeboten. Bei schriftlichen Prüfungen liegen diese innerhalb der oben genannten Prüfungszeiträume. Bei mündlichen Prüfungen werden die Termine von den Lehrenden festgelegt.
Bei Modulen, die in jedem Semester angeboten werden, gibt es im Anschluss an das Modul nur einen Prüfungstermin.

Falls es Ausnahmen zu den Prüfungsterminen gibt, insbesondere wenn diese außerhalb der oben genannten Prüfungszeiträume liegen, müssen diese von der Lehrperson zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben werden.

2 Studienverlaufsplan und Mobilität

2.1 Studienverlaufsplan

1. Jahr:		
	Wahlpflicht Reine Mathematik	8 LP
	Wahlpflicht Angewandte Mathematik	8 LP
	Wahl Mathematik	16 LP
	Anwendungsgebiet	16 LP
	2 Seminare	12 LP
Summe		**60 LP**
2. Jahr:		
	Wahl Mathematik	16 LP
	Fachübergreifende Kompetenzen	6 LP
	Masterarbeit	30 LP
	Master-Seminar	6 LP
Summe		**60 LP**
Gesamt:		**120 LP**

2.2 Mobilitätsfenster

Das Mobilitätsfenster für den Masterstudiengang Mathematik liegt in der Regel im zweiten und dritten Fachsemester, aber auch in den anderen Semestern kann ein Studienaufenthalt an einer anderen Hochschule im In- und Ausland durchgeführt werden. Im Master gibt es nur wenige Pflichtmodule, bei Modulen aus dem Wahlpflicht- oder Wahlbereich, dem Bereich FÜK oder dem Anwendungsgebiet ist eine Anerkennung durch die Wahlmöglichkeiten tendenziell einfacher.
Die Planungen für einen solchen Studienaufenthalt sollten frühzeitig begonnen werden, gerade für einen Auslandsaufenthalt kann diese Organisationsphase durchaus ein Jahr betragen.
Informationen zum Auslandsstudium finden Sie auf den Seiten der Fakultät `https://www.mathinf.uni-heidelberg.de/de/exchangeprograms`.

3 Aufbau des Studiums

Das Fachstudium gliedert sich inhaltlich entsprechend den Forschungsschwerpunkten der Fakultät in die Bereiche:

A. Algebra und Arithmetik

B. Angewandte Analysis und Modellierung

C. Geometrie und Topologie

D. Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

E. Numerik und Optimierung

F. Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Innerhalb der Bereiche gliedern sich die Module nach dem Grad der Vertiefung und Spezialisierung. Die Leistungspunkte sind für typische Module jeder Kategorie angegeben. Es gibt insbesondere:

- Grundmodule (8 LP) führen auf der Basis der Bachelorausbildung in ein Teilgebiet ein
- Aufbaumodule (8 LP) vertiefen den Stoff eines Teilgebiets aufbauend auf einem Grundmodul.
- Spezialisierungsmodule (4-8 LP) führen in spezielle Aspekte eines Teilgebiets ein, die in der Regel eng an die aktuelle Forschung heranführen

Innerhalb dieser Module gibt es verschiedene Veranstaltungen, welche in den Modulbeschreibungen in den folgenden Kapiteln angegeben sind. Pro Modul können mehrere Veranstaltungen besucht werden. Die Zuteilung von einzelnen Veranstaltungen zu einem bestimmten Modul ist an dem Modulcode erkennbar. Bei fast allen Modulen des Masters Mathematik fängt der Modulcode mit **MM** an, gefolgt von zwei Ziffern. Dabei gibt die erste Ziffer die Kategorie an und die zweite Ziffer das Forschungsgebiet. Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick über die Module mit ihren Modulcodes:

Code	Name des Moduls
MM11	Grundmodul Algebra und Arithmetik
MM12	Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM13	Grundmodul Geometrie und Topologie
MM14	Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM15	Grundmodul Numerik und Optimierung
MM16	Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung
MM21	Aufbaumodul Algebra und Arithmetik
MM22	Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM23	Aufbaumodul Geometrie und Topologie
MM24	Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM25	Aufbaumodul Numerik und Optimierung
MM26	Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung
MM31	Spezialisierungsmodul Algebra und Arithmetik
MM32	Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM33	Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie
MM34	Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM35	Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung
MM36	Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Weiterhin sind im Kapitel *Ergänzungsmodule* weitere Module gelistet, die thematisch nicht in die obigen Bereiche eingeordnet werden können.

Nach Prüfungsordnung müssen je ein Wahlpflichtmodul (zu je 8 LP) in Reiner und Angewandter Mathematik absolviert werden. Als Wahlpflichtmodule können Grund- und Aufbaumodule gewählt werden. Dabei sind der Reinen Mathematik die Bereiche *Algebra und Arithmetik*, *Geometrie und Topologie* und *Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik* zugeordnet. Der Angewandte Mathematik sind die Bereiche *Angewandte Analysis und Modellierung*, *Numerik und Optimierung* und *Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung* zugeordnet.

Die Wahlmodule mit einem Gesamtumfang von 32 LP können beliebig aus den Grund-, Aufbau- und Spezialisierungsmodulen, sowie Ergänzungsmodulen gewählt werden.

Zur Verbreiterung der Grundlagenkenntnisse können bis zu zwei Wahlmodule aus dem Angebot des Bachelorstudiengangs Mathematik gewählt werden, soweit diese nicht in die Bachelorprüfung eingegangen sind. Dabei sind nur Module aus dem Wahlpflichtbereich 1 bis 3 zulässig. Alle anderen Module des Bachelorstudiengangs Mathematik sind nicht zur Verbreiterung der Grundlagenkenntnisse anrechenbar.

4 Grundmodule

Die in diesem Kapitel gelisteten Module bereiten als Einführung den Weg in ein Teilgebiet der Mathematik. Sie bauen typischerweise auf der Bachelorausbildung auf.
Im ersten Mastersemester sollten mindestens zwei Module aus dieser Kategorie absolviert werden. Pro Modul können mehrere Veranstaltungen besucht werden. Die Zuteilung von einzelnen Veranstaltungen zu einem bestimmten Modul ist an dem Modulcode erkennbar. Nachfolgend sind alle Grundmodule mit ihren Modulcodes gelistet:

Code	Name des Moduls
MM11	Grundmodul Algebra und Arithmetik
MM12	Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM13	Grundmodul Geometrie und Topologie
MM14	Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM15	Grundmodul Numerik und Optimierung
MM16	Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

In den Modulbeschreibungen sind die einzelnen Veranstaltungen jeweils mit einer kurzen Inhaltsangabe aufgeführt. Die Veranstaltungen werden in einem kürzeren oder längeren Turnus regelmäßig angeboten.

Grundmodul Algebra und Arithmetik

<table>
<tr><td>Code
MM11</td><td colspan="2">Name
Grundmodul Algebra und Arithmetik</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und Methoden eines Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, typische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen, eigene Kenntnislücken zu erkennen und selbständig zu schließen,
Selbstbewusster Umgang mit Lernstrategien und mathematischem Denken</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten:
Algebraische Geometrie I:
Diese Vorlesung vermittelt die Grundlagen sowie die algebraischen bzw. geometrischen Methoden zum Studium von Nullstellenmengen algebraischer Gleichungen.
Hauptthemen sind:
Garbentheorie, affine und allgemeine Schemata, Unterschemata, Faserprodukte, Morphismen (separierte, eigentliche, endliche, flache, ...), Bewertungskriterien, quasikohärente Modulgarben, Vektorraumbündel, insbesondere Geradenbündel und Divisoren.
Weitere Themen können sein: Projektive Schemata, Aufblasungen, Differentialgarben.

Algebraische Zahlentheorie I:
Diese Vorlesung enthält das Grundwissen über algebraische Zahlkörper.
Hauptthemen sind:
Ganzheit, Ideale, Dedekindringe, Primidealzerlegung, Minkowski-Theorie, Klassenzahl, Dirichletscher Einheitensatz, quadratische Zahlkörper, zyklotomische Körper, Erweiterungen von Dedekindringen, Lokalisierung, Bewertungen, Fortsetzungen von Bewertungen, Galoistheorie der Bewertungen, Hilbertsche Verzweigungstheorie.</td></tr>
</table>

Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Kenntnisse im Umfang der Vorlesungen Algebra I und II
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung

Code MM12	**Name** Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung	
LP 8 pro Veranstaltung	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	**Arbeitsaufwand** pro Veranstaltung: 240 h; davon 60 h Präsenz in der Vorlesung 30 h Präsenz in Übungen 120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten 30 h Prüfungsvorbereitung	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik, M.Sc. Scientific Computing
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und Methoden eines Forschungsgebietes der Mathematik, Fähigkeit, typische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen, eigene Kenntnislücken zu erkennen und selbständig zu schließen, Selbstbewusster Umgang mit Lernstrategien und mathematischem Denken	

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: Elliptische partielle Differentialgleichungen: Existenz von Lösungen linearer elliptischer Differentialgleichungen, Höhere Regularität in Sobolevräumen, Cacciopoli-Leray Ungleichung, Schaudertheorie, Campanatoräume, BMO, L^p-Theorie elliptischer Differentialgleichungen, Harmonischen Abbildungen. Evolutionsgleichungen: Bochner Integral, Aubin-Lions Lemma, Galerkinverfahren, Schwache Lösung für Parabolische Differentialgleichungen, Hyperbolische Differentialgleichungen, Navier Stokes Gleichung, Euler-Gleichung, Beispiele weitere nichtlineare Differentialgleichungen Nichtlineare Funktionalanalysis: Fixpunktsatz von Schauder, Theorie des Abbildungsgrades, Lemma von Sard, Theorie monotoner Operatoren, Anwendungen auf partielle Differentialgleichungen, Bifurkationstheorie, Hopf-Bifurkation Variationsrechnung und Modellierung: Variationsrechnung in mehreren Variablen, Motivierung aus Systemen der Natur, Direkte Methode, Euler-Lagrange Gleichung, Null-Lagrangians, Konvexitätsbegriffe, Gamma-Konvergenz, Homogenisierung, Gradientenflüsse
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: Kenntnisse der Analysis, linearen Algebra, Numerik und Funktionalanalysis
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Geometrie und Topologie

Code MM13	**Name** Grundmodul Geometrie und Topologie	
LP 8 pro Veranstaltung	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	**Arbeitsaufwand** pro Veranstaltung: 240 h; davon 60 h Präsenz in der Vorlesung 30 h Präsenz in Übungen 120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten 30 h Prüfungsvorbereitung	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und Methoden der Topologie und Differentialgeometrie, Fähigkeit, typische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen, eigene Kenntnislücken zu erkennen und selbständig zu schließen, Selbstbewusster Umgang mit Lernstrategien und mathematischem Denken	

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: Algebraische Topologie 2: Kohomologie, universelles Koeffiziententheorem, Produkte in der Kohomologie, Künneth-Theorem, topologische Mannigfaltigkeiten, Orientierung und Fundamentalklasse, Dualitätssätze für Mannigfaltigkeiten, Homotopietheorie: Satz von Hurewicz, Satz von Whitehead, Faserungen und Kofaserungen, Schleifenräume, Puppe-Sequenz, Eilenberg-MacLane Räume, Postnikov-Turm Differentialtopologie 1: differenzierbare Mannigfaltigkeiten und Tangentialräume, glatte Abbildungen (Submersionen, Immersionen, Einbettungen, Isotopien), reguläre Werte und Satz von Sard, Tubenumgebungen, Kragen, Transversalität, orientierte Mannigfaltigkeiten, Abbildungsgrad, Schnittzahlen, Vektorraumbündel, Vektorfelder, Indexsatz von Poincaré-Hopf, de Rham Kohomologie, Integration auf Mannigfaltigkeiten Differentialgeometrie 2: Mannigfaltigkeiten mit oberen und unteren Krümmungsschranken, Vergleichssätze von Alexandrov-Toponogov, Mannigfaltigkeiten nichtpositiver Krümmung, lokal-symmetrische und symmetrische Räume Geometrische Gruppentheorie 1: Cayleygraphen endlich erzeugter Gruppen, Wachstum von Gruppen, hyperbolische Gruppen Symplektische Geometrie: lineare symplektische Geometrie, symplektische Mannigfaltigkeiten, fastkomplexe Strukturen, symplektische Gruppenwirkungen, symplektische Faserungen, Konstruktionen symplektischer Mannigfaltigeiten Discrete Structures 2 (IDS2) aus der Informatik: Probabilistic Methods, Extremal graph theory, Expander graphs, Quasirandom graphs, Further advanced topics
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: Kenntnisse der Analysis und linearen Algebra für die Vorlesung Algebraische Topologie 2 sind die Kenntnisse aus Algebraische Topologie 1 empfohlen, für die Vorlesung Discrete Structures 2 ist die Vorlesung Discrete Structures 1 empfohlen

Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

<table>
<tr><td colspan="1">Code
MM14</td><td colspan="2">Name
Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und Methoden eines Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, typische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen, eigene Kenntnislücken zu erkennen und selbständig zu schließen,
Selbstbewusster Umgang mit Lernstrategien und mathematischem Denken</td></tr>
</table>

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: Modulformen 1: Valenzformel und Dimensionsformel für die volle Modulgruppe, Kongruenzuntergruppen, Hecketheorie, Atkin-Lehner-Theorie, Eisensteinreihen, Thetareihen, Eichler-Shimura-Isomorphismus Siegel'sche Modulformen: Siegel'sche und Minkowski'sche Reduktionstheorie, Koecherprinzip, Siegel'sche und Klingen'sche Eisensteinreihen, Zerlegungssätze, Thetareihen, Hecketheorie, Zetafunktionen, Siegel'scher Hauptsatz, Satakekompaktifizierung Riemann'sche Flächen 1: Überlagerungstheorie, Garben, Differentialformen, Kohomologie, Satz von Riemann-Roch, Serre'scher Dualitätssatz, Verteilungsprobleme, Großer Riemann'scher Abbildungssatz, Uniformisierung Darstellungstheorie 1: Struktur- und Darstellungstheorie von Lie-Algebren, Klassifikation, Geometrie und Darstellungstheorie von kompakten Lie-Gruppen, symmetrische Räume Analytische Zahlentheorie: L-Reihen und ihre Anwendungen, Primzahlverteilung (etwa die Primzahlsätze von Gaußund Dirichlet), binäre quadratische Formen Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher 1: Lokale Theorie komplexer Räume, Grundlagen der Funktionentheorie mehrerer Variabler, Abelsche Funktionen Zusätzlich aus der Physik: Quantenfeldtheorie 1
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: Kenntnisse der Analysis, linearen Algebra und Funktionentheorie I
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Numerik und Optimierung

<table>
<tr><td colspan="1">Code
MM15</td><td colspan="2">Name
Grundmodul Numerik und Optimierung</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik,
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und Methoden eines Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, typische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen, eigene Kenntnislücken zu erkennen und selbständig zu schließen,
Selbstbewusster Umgang mit Lernstrategien und mathematischem Denken</td></tr>
</table>

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: Finite Elemente: Überblick über die Theorie schwacher Lösungen elliptischer Differentialgleichungen, Galerkinapproximation von Variationsproblemen, Aufbau der Methode der finiten Elemente, das Bramble-Hilbert-Lemma, a priori und a posteriori Fehleranalyse, Lösung der diskreten Probleme, Mehrgitterverfahren, Aspekte der Implementation, adaptive Gitterverfeinerung, Einführung in parabolische Gleichungen Nichtlineare Optimierung: Endlich-dimensionale, glatte, kontinuierliche, nichtlineare Optimierungsprobleme, Optimalitäsbedingungen für unbeschränkte und beschränkte Optimierungsprobleme, Gradientenverfahren, Konjugierte Gradienten-(CG-)Verfahren, Line Search, Newton- und Quasi-Newton-SQP-Verfahren, Gauß-Newton-Verfahren, Behandlung von Ungleichungsbeschränkungen, Trust-Region- Verfahren, Automatische Differentiation Numerische Optimierung bei Differentialgleichungen I: Modellierung dynamischer Prozesse, Parameterschätzung (Einfachschießverfahren, Mehrzielmethode, Kollokation, Verallgemeinertes Gauß-Newton, Strukturausnutzende Lösung der linearisierten Subprobleme, Konvergenzeigenschaften), Optimalsteuerungsproblem (Problemformulierung, Direkte Methode zur Lösung von Optimalsteuerungsproblemen, Mehrzielmethode, SQP-Verfahren, Strukturausnutzende SQP-Verfahren für das diskretisierte Optimalsteuerungsproblem) Uncertainty Quantification 1: Im Rahmen dieser Veranstaltung werden methodische Ansätze vermittelt, die es ermöglichen, eine Quantifizierung der Unsicherheit im Zusammenhang mit komplexen numerischen Modellen zu gewinnen. Folgende Schwerpunkte werden behandelt: Rundungsfehler und Fehlerfortpflanzung in der Numerik, Kondition eines Problems; Stabilitätskonzepte, Monte-Carlo Methoden und Kollokationsverfahren, Polynomielle Chaosentwicklungen, Stochastische Galerkin Diskretisierung
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: Kenntnisse der Analysis, linearen Algebra und Numerik.
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.

Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

<table>
<tr><td>Code
MM16</td><td colspan="2">Name
Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik,
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und angewandten und theoretischen Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie und/oder Statistik, Fähigkeit, theoretische Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen und die Kenntnisse in praktischen Kontexten anzuwenden</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten:

Wahrscheinlichkeitstheorie II:
Theorie stochastischer Prozesse (Endlich-dimensionale Verteilungen, Existenzsatz von Kolmogorov, stetige Pfade, Konstruktion und Eigenschaften der Brownschen Bewegung, Gaußprozesse); Ergodentheorie (Stationäre und ergodische Prozesse, Ergodensätze); Invarianzprinzipien (Straffheit, schwache Konvergenz im Raum der stetigen Funktionen, Invarianzprinzip von Donsker, Theorie der empirischen Prozesse); stochastisches Integral (Martingale in stetiger Zeit, Itô-Integral, Itô-Formel)

Statistik II:
Asymptotische Statistik (asymptotische Normalität, Effizienz, Abstandsmaße, Modell-Fehlspezifikation, Tests von Hypothesen);
Nichtparametrische Statistik (Nichtparametrische Schätzer, Regularisierung, Konvergenzraten, Kernschätzer, Adaptivität, nichtparametrische Tests);
Statistik für komplexe Systeme (z.B. Statistik stochastischer Prozesse, inverse Probleme, hochdimensionale Statistik, Statistik bei Netzwerken)</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen sind Kenntnisse der Analysis und linearen Algebra, Wahrscheinlichkeitstheorie 1 und Statistik 1</td></tr>
</table>

Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

5 Aufbaumodule

Die Ausbaumodule vertiefen die Kenntnisse eines Teilgebiets aufbauend auf den Grundmodulen. Zusammen mit den Modulen Seminar und Spezialisierungsmodul bilden sie einen wichtigen Schritt zur Masterarbeit.
Pro Modul können mehrere Veranstaltungen besucht werden. Die Zuteilung von einzelnen Veranstaltungen zu einem bestimmten Modul ist an dem Modulcode erkennbar. Nachfolgend sind alle Aufbaumodule mit ihren Modulcodes gelistet:

Code	Name des Moduls
MM21	Aufbaumodul Algebra und Arithmetik
MM22	Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM23	Aufbaumodul Geometrie und Topologie
MM24	Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM25	Aufbaumodul Numerik und Optimierung
MM26	Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

In den Modulbeschreibungen sind die einzelnen Veranstaltungen jeweils mit einer kurzen Inhaltsangabe aufgeführt. Die Veranstaltungen werden in einem kürzeren oder längeren Turnus regelmäßig angeboten.

Aufbaumodul Algebra und Arithmetik

<table>
<tr><td>Code
MM21</td><td colspan="2">Name
Aufbaumodul Algebra und Arithmetik</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertieftes Verständnis der Strukturen, Sätze, Beweise und Methoden eines engeren Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, Aussagen aus dem Teilgebiet selbständig zu beweisen und Beweistechniken zu diskutieren, sowie Aufgaben auf ihre Charakteristika hin zu analysieren und zu klassifizieren um geeignete Lösungsmethoden zu wählen,
Fähigkeit, sich Teilaspekte des Themengebietes selbständig zu erarbeiten.</td></tr>
</table>

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: Algebraische Geometrie II: In dieser Vorlesung werden Schemata, insbesondere Kurven oder Flächen, mit Hilfe von Kohomologie-Theorien studiert. Hauptthemen sind: I. Kohomologie: Abgeleitete Funktoren, Garbenkohomologie, Cech-Kohomologie, Kohomologie des projektiven Raumes, Serre-Dualität II. Kurven: Riemann-Roch-Theorem, Hurwitz-Theorem, projektive Einbettungen, elliptische Kurven, Klassifikation Weitere Themen können sein: Flächen, Schnitt-Theorie, abelsche Varietäten Algebraische Zahlentheorie II: Die Vorlesung behandelt die lokale oder globale Klassenkörpertheorie. Die Inhalte werden aus den folgenden Themen gewählt und umfassen insbesondere wesentliche Teile von III oder IV: I. Kohomologie endlicher Gruppen: G-Moduln, Kohomologiegruppen, exakte Kohomologiesequenz, funktorielle Abbildungen, Cupprodukt, Kohomologie zyklischer Gruppen, Satz von Tate. II. Lokale Körper: Bewertungen, Vervollständigung, lokale Körper, multiplikative Gruppe eines p-adischen Zahlkörpers, unverzweigte und zahm verzweigte Erweiterungen. III. Lokale Klassenkörpertheorie: Galoiskohomologie, multiplikative Gruppe eines p-adischen Zahlkörpers, Klassenformation unverzweigter Erweiterungen, lokales Reziprozitätsgesetz, Existenzsatz. IV. Globale Klassenkörpertheorie: Idele und Idelklassen, Kohomologie der Idelgruppe und der Idelklassengruppe, globales Reziprozitätsgesetz, Existenzsatz, Zerlegungsgesetz.
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Kenntnisse im Umfang der Vorlesungen Algebra I und II, sowie Grundmodul Algebra und Arithmetik
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung

<table>
<tr><td>Code
MM22</td><td colspan="2">Name
Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertieftes Verständnis der Strukturen, Sätze, Beweise und Methoden eines engeren Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, Aussagen aus dem Teilgebiet selbständig zu beweisen und Beweistechniken zu diskutieren, sowie Aufgaben auf ihre Charakteristika hin zu analysieren und zu klassifizieren um geeignete Lösungsmethoden zu wählen,
Fähigkeit, sich Teilaspekte des Themengebietes selbständig zu erarbeiten.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten:

Mathematische Grundlagen der Fluid Dynamik:
Physikalische Motivation der Navier-Stokes Gleichung, Spezielle Lösungen, Kurzzeitexistenz schwacher Lösung, Langzeitexistenz schwacher Lösungen, Vortizität, Navier-Stokes Gleichung in zwei Dimensionen, Existenz von Lösungen der Eulergleichung

PDGs und Modellierung:
Modellierung physikalischer/biologischer Prozesse (z.B. Fluiddynamik, Materialwissenschaften, Biologie, ...), Grundlegende mathematische Theorie</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2">wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben</td></tr>
</table>

Aufbaumodul Geometrie und Topologie

<table>
<tr><td colspan="1">Code
MM23</td><td colspan="2">Name
Aufbaumodul Geometrie und Topologie</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertieftes Verständnis der Strukturen, Sätze, Beweise und Methoden der Topologie und Differentialgeometrie,
Fähigkeit, Aussagen aus diesen Gebieten selbständig zu beweisen und Beweistechniken zu diskutieren, sowie Aufgaben auf ihre Charakteristika hin zu analysieren und zu klassifizieren um geeignete Lösungsmethoden zu wählen,
Fähigkeit, sich Teilaspekte der Topologie und Differentialgeometrie selbständig zu erarbeiten.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten:

Differentialtopologie 2:
Mögliche Themen wären etwa:
Einführung in die Riemannsche Geometrie und Beziehungen zwischen Krümmung und Topologie einer Mannigfaltigkeit, Morse Theorie, Faserbündel, Charakteristische Klassen, Anwendungen auf Bordismustheorie, Exotische Differentialstrukturen auf Sphären, h-Kobordismen, Satz von Smale, Einführung in die Chirurgietheorie

Geometrische Gruppentheorie 2:
Fortgeschrittene Themen der geometrischen Gruppentheorie:
Hyperbolische Gruppen, CAT(0)-Komplexe, Gruppenwirkungen auf Räumen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen ist: Grundmodul Geometrie und Topologie</td></tr>
</table>

Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

<table>
<tr><td>Code
MM24</td><td colspan="2">Name
Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstalung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertieftes Verständnis der Strukturen, Sätze, Beweise und Methoden eines engeren Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, Aussagen aus dem Teilgebiet selbständig zu beweisen und Beweistechniken zu diskutieren, sowie Aufgaben auf ihre Charakteristika hin zu analysieren und zu klassifizieren um geeignete Lösungsmethoden zu wählen,
Fähigkeit, sich Teilaspekte des Themengebietes selbständig zu erarbeiten.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten:

- Modulformen 2
- Riemann'sche Flächen 2
- Darstellungstheorie 2
- Topologische Feldtheorie
- Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher 2: Theorie analytischer Garben, Endlichkeits- und Verschwindungssätze für kohärente Garben und Anwendungen, Theorem A und Theorem B, Abbildungssätze

Zusätzlich aus der Physik:
Quantenfeldtheorie 2</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen ist: Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
</table>

Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Numerik und Optimierung

<table>
<tr><td colspan="1">Code
MM25</td><td colspan="2">Name
Aufbaumodul Numerik und Optimierung</td></tr>
<tr><td>LP
8 pro Veranstaltung</td><td>Dauer
pro Veranstalung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format
pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
pro Veranstaltung:
240 h; davon
60 h Präsenz in der Vorlesung
30 h Präsenz in Übungen
120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten
30 h Prüfungsvorbereitung</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertieftes Verständnis der Strukturen, Sätze, Beweise und Methoden eines engeren Forschungsgebietes der Mathematik,
Fähigkeit, Aussagen aus dem Teilgebiet selbständig zu beweisen und Beweistechniken zu diskutieren, sowie Aufgaben auf ihre Charakteristika hin zu analysieren und zu klassifizieren um geeignete Lösungsmethoden zu wählen,
Fähigkeit, sich Teilaspekte des Themengebietes selbständig zu erarbeiten.</td></tr>
</table>

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: * Gemischte Finite Elemente: Stokes- und Navier-Stokes-Gleichungen, Sattelpunktprobleme, das closed range theorem und inf-sub-Stabilität, Taylor-Hood- Elemente, Darcy-Gleichungen für Strömung durch poröse Medien, finite element exterior calculus, discontinuous Galerkin methods * Parallele Löser für Finite Elemente: abstrakte Unterraumkorrekturverfahren, überlappende Schwarz-Verfahren, geometrische und algebraische Mehrgitter- verfahren, nichtüberlappende Gebietszerlegungsverfahren, Konvergenztheorie der Unterraumkorrekturverfahren, Implementation und parallele Skalierbarkeit * Numerische Optimierung bei Differentialgleichungen II: Parameterschätzung mit Beschränkungen und Konvergenzanalyse für Verallgemeinerte (beschränkte) Gauß-Newton-Verfahren, Statistische Sensitivitätsanalyse (Vertrauens-/ Konfidenzgebiete, Kovarianz-Analyse), optimale Versuchsplanung (Problemformulierung, Sequentielle Versuchsplanung, Numerische Lösung mit SQP-Verfahren, effiziente Ableitungsberechnung), Globalisierung der Konvergenz bei Newton-Verfahren für sehr nichtlineare Probleme (Abstiegsstrategien, Natürliche Niveaufunktionen, Restriktiver Monotonie-Test (RMT) und praktische Realisierung), Fortsetzungsmethoden (Allgemeine Strategie, Verfahren höherer Ordnung, Schrittweitensteuerung), Effiziente Ableitungsberechnung (Vorwärts- und Rückwärtsmodus, Anwendung auf gewöhnliche Differentialgleichungen und Diskretisierungs-Verfahren dafür) * Uncertainty Quantification 2: Im Rahmen dieser Veranstaltung werden methodische Ansätze vermittelt, die die Quantifizierung von Unsicherheiten im Zusammenhang mit Differentialgleichungen ermöglichen. Folgende Schwerpunkte werden u.a. behandelt: Karhunen-Loève Expansion, Kollokation bzw. hochdimensionale Quadratur und Interpolation, Dünne Gitter, Stochastische Galerkin Diskretisierung für partielle Differentialgleichungen, Bayessche Formulierung inverser Probleme * Informationsgeometrie und Maschinelles Lernen: - Differentialgeometrie: Mannigfaltigkeiten, Untermannigfaltig- keiten, Vektor-, Kovektor- und Tensorfelder, Riemannsche Metriken, affine Zusammenhänge, Geodäten, Krümmungstensor) - Informationsgeometrie: Maße auf endlichen Mengen, Fisher-Rao Metrik, alpha-Zusammenhänge, Divergenzfunktionen, Informationsprojektionen, graphische Modelle, Exponentialfamilie, statistische Mannigfaltigkeiten - Maschinelles Lernen: ausgewählte Probleme der Inferenz, des überwachten und unbewachten Lernens als Anwendungsbeispiele
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen ist: Grundmodul Numerik und Optimierung
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.

Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Code MM26	**Name** Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	
LP 8 pro Veranstaltung	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format pro Veranstaltung: Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	**Arbeitsaufwand** pro Veranstaltung: 240 h; davon 60 h Präsenz in der Vorlesung 30 h Präsenz in Übungen 120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten 30 h Prüfungsvorbereitung	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Vertieftes Verständnis der grundlegenden Strukturen, Sätze und angewandten und theoretischen Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie und/oder Statistik, Fähigkeit, theoretisch zu argumentieren, neue Aussagen mit den erlernten Methoden selbständig zu beweisen und das Potential der Methoden in praktischen Kontexten zu erkennen	

Lerninhalte	In diesem Modul werden folgende Veranstaltungen angeboten: 1. Fortgeschrittene Zeitreihenanalyse 2. Statistik zeitstetiger Prozesse 3. Angewandte Statistik 4. Lokale asymptotische Normalität und Semiparametrik: Asymptotische Entscheidungstheorie für lokal asymptotisch normale Experimente, Differenzierbarkeit im quadratischen Mittel, Kontiguität, Semiparametrik, asymptotische Effizienz in semiparametrischen Modellen 5. Empirische Prozesse: Glivenko-Cantelli Sätze, Vapnik-Cervonenskis Theorie, Konzentrationsungleichungen für empirische Prozesse, Donsker Theoreme, Entropieabschätzungen für Funktionenklassen, Konvergenzraten in der Nichtparametrik 6. Nichtparametrische Minimaxtheorie 7. Statistik inverser Probleme: Lineare schlecht-gestellte inverse Probleme, spektrale Regularisierungsverfahren, Projektionsverfahren, linearer Galerkinansatz, nicht-parametrische Kurvenschätzung, Orakel-Optimalität, Minimax Theorie, Datengetriebene Schätzverfahren, Gauß'sche inverse Regression, Dekonvolution, funktionale lineare Regression, nicht-parametrische instrumentale Regression 8. Bayesstatistik 9. Hoch-dimensionale Statistik: Hoch-dimensionale lineare Modelle, Schätzverfahren in hoch-dimensionalen linearen Modellen, insbesonders LASSO-Schätzer, Konfidenzbereiche und Testverfahren in hoch-dimensionalen linearen Modellen, Modellwahlverfahren, Kleinste Quadrate Schätzer mit Komplexitätsstraftermen, Klassifikationsverfahren
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen ist eine Veranstaltung des Grundmoduls Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.

Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

6 Spezialisierungsmodule

Die hier gelisteten Module führen in spezielle Aspekte eines Teilgebietes ein, die in der Regel eng an die aktuelle Forschung heranführen. Typischerweise erfordern sie aufbauende Veranstaltungen aus den Grund- und Aufbaumodulen in diesem Teilgebiet.

Pro Modul können mehrere Veranstaltungen besucht werden. Die Zuteilung von einzelnen Veranstaltungen zu einem bestimmten Modul ist an dem Modulcode erkennbar. Nachfolgend sind alle Spezialisierungsmodule mit ihren Modulcodes gelistet:

Code	Name des Moduls
MM31	Spezialisierungsmodul Algebra und Arithmetik
MM32	Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung
MM33	Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie
MM34	Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik
MM35	Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung
MM36	Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Die Veranstaltungen in den Spezialisierungsmodulen sind keinem Turnus unterworfen, das heißt, sie können regelmäßig, unregelmäßig oder auch nur einmalig angeboten werden.

Für die Spezialisierungsmodule gelten folgende Angaben für das Format, die LP und den Arbeitsaufwand der einzelnen Veranstaltungen in den Modulbeschreibungen:

Format und LP	Vorlesung 2 SWS (4 LP)
Arbeitsaufwand	120 h; davon 30 h Präsenz in der Vorlesung, 75 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten, 15 h Prüfungsvorbereitung
Format und LP	Vorlesung 2 SWS+Übung 2 SWS (6 LP)
Arbeitsaufwand	180 h; davon 30 h Präsenz in der Vorlesung, 30 h Präsenz in Übungen, 105 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten, 15 h Prüfungsvorbereitung
Format und LP	Vorlesung 4 SWS (6 LP)
Arbeitsaufwand	180h; davon 60 h Präsenz in der Vorlesung, 90 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten, 30 h Prüfungsvorbereitung
Format und LP	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS (8 LP)
Arbeitsaufwand	240 h; davon 60 h Präsenz in der Vorlesung, 30 h Präsenz in Übungen, 120 h Hausaufgaben und selbständiges Nacharbeiten, 30 h Prüfungsvorbereitung
Format und LP	Hauptseminar 2 SWS + Tutorium 2 SWS (6 LP)
Arbeitsaufwand	180 h; davon 30 h Präsenz im Hauptseminar, 150 h selbständiges Erarbeiten des Stoffes, Tutorium und Vorbereitung des Vortrags

Spezialisierungsmodul Algebra und Arithmetik

Code MM31	**Name** Spezialisierungsmodul Algebra und Arithmetik	
LP	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format	**Arbeitsaufwand**	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken eines aktuellen Forschungsthemas der Mathematik, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren.	
Lerninhalte	Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Algebra und Arithmetik	
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung

Code MM32	**Name** Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung	
LP	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format	**Arbeitsaufwand**	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken eines aktuellen Forschungsthemas der Mathematik, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren.	
Lerninhalte	Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Analysis und Modellierung	
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie

Code MM33	**Name** Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie	
LP	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format	**Arbeitsaufwand**	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken der Topologie und Differentialgeometrie, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren.	
Lerninhalte	Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Geometrie und Topologie	
Vergabe der LP und Mo-dulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

<table>
<tr><td>Code
MM34</td><td colspan="2">Name
Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik</td></tr>
<tr><td>LP</td><td>Dauer
pro Veranstaltung: ein Semester</td><td>Angebotsturnus
mindestens jährlich</td></tr>
<tr><td>Format</td><td>Arbeitsaufwand</td><td>Verwendbarkeit
Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden.
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken eines aktuellen Forschungsthemas der Mathematik, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2">wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben</td></tr>
</table>

Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung

Code MM35	**Name** Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung	
LP	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format	**Arbeitsaufwand**	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken eines aktuellen Forschungsthemas der Mathematik, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren.	
Lerninhalte	Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden. Angeboten werden folgende Veranstaltungen: Fundamentals of Computational Environmental Physics (every wintersemester, 4 SWS lecture + 2 SWS exercise session, 8 LP): Elementary linear models: Flow in porous media, elliptic partial differential equations (PDEs), Scalar transport, first-order hyperbolic PDEs, Contaminant Transport, parabolic PDEs, Coupled elementary models, active transport, Fluid dynamics, Stokes and Navier-Stokes equations	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Numerik und Optimierung	
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

Code MM36	**Name** Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	
LP	**Dauer** pro Veranstaltung: ein Semester	**Angebotsturnus** mindestens jährlich
Format	**Arbeitsaufwand**	**Verwendbarkeit** Es können mehrere verschiedene Veranstaltungen in diesem Modul absolviert werden. M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** wechselnd	**Prüfungsschema**
Lernziele	Umfassende Kenntnisse und Verständnis der Strukturen, Aussagen, Methoden und Beweistechniken der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie, Fähigkeit, sich komplexe mathematische Sachverhalte selbst zu erarbeiten und zu diskutieren	
Lerninhalte	Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	
Vergabe der LP und Modulendnote	Jede Veranstaltung wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur	wird im LSF oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

7 Ergänzungsmodule

In diesem Kapitel werden Module gelistet, die nicht einem der sechs Bereiche zugeordnet werden können. Hierbei entspricht ein Modul immer einer Veranstaltung. Diese Module können als Wahlmodule angerechnet werden.

Berechenbarkeit und Komplexität I

<table>
<tr><td>Code
MM41</td><td colspan="2">Name
Berechenbarkeit und Komplexität I</td></tr>
<tr><td>LP
8</td><td>Dauer
ein Semester</td><td>Angebotsturnus
unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Format
Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
240 h; davon
90 h Präsenz
60 h Prüfungsvorbereitung (und Prüfung)
90 h Selbststudium und Aufgabenbearbeitung (eventuell in Gruppen)</td><td>Verwendbarkeit
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Angewandte Informatik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch</td><td>Lehrende
Wolfgang Merkle</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Grundkenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">Die Berechenbarkeitstheorie liefert den formalen Rahmen, die Lösbarkeit algorithmischer Probleme zu untersuchen, die Komplexitätstheorie stellt Methoden und Konzepte zur Analyse des erforderlichen Aufwands algorithmischer Problemlösungen zur Verfügung. Ziel des Moduls ist es die Studierenden mit den zentralen Konzepten und Methoden der Berechenbarkeits- und der Komplexitätstheorie vertraut zu machen. In der Berechenbarkeitstheorie stehen Methoden zum Nachweis der Unentscheidbarkeit im Mittelpunkt, in der Komplexitätstheorie liegt der Schwerpunkt auf dem Vergleich und der strukturellen Analyse der polynomiell beschränkten Komplexitätsklassen. Insbesondere werden das P-NP- Problem und die NP-Vollständigkeit behandelt.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen sind Grundkenntnisse aus der Theoretischen Informatik</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Das Modul wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Die Modulendnote wird durch die Note der Prüfung festgelegt. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Berechenbarkeit und Komplexität II

<table>
<tr><td>Code
MM42</td><td colspan="2">Name
Berechenbarkeit und Komplexität II</td></tr>
<tr><td>LP
8</td><td>Dauer
ein Semester</td><td>Angebotsturnus
unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Format
Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
240 h; davon
90 h Präsenz
60 h Prüfungsvorbereitung (und Prüfung)
90 h Selbststudium und Aufgabenbearbeitung (eventuell in Gruppen)</td><td>Verwendbarkeit
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Angewandte Informatik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch</td><td>Lehrende
Wolfgang Merkle</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Vertiefte Kenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">In diesem Modul werden ausgewählte fortgeschrittene Themen aus dem Bereich der Berechenbarkeits- und Komplexitästheorie behandelt.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen sind: Berechenbarkeit und Komplexität I</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Das Modul wird mit einer benoteten mündlichen oder schriftlichen Prüfung abgeschlossen. Die Modulendnote wird durch die Note der Prüfung festgelegt. Weitere Details werden von der bzw. dem Lehrenden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Optimization for Machine Learning

<table>
<tr><td>Code
IOML</td><td colspan="2">Name
Optimization for Machine Learning</td></tr>
<tr><td>LP
8</td><td>Dauer
one semester</td><td>Angebotsturnus
every winter semester</td></tr>
<tr><td>Format
Lecture 4 SWS + Exercise course 2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
240 h; thereof
60 h lectures
30 h exercises
24 h preparation for exam
126 h self-study and working on assignments/projects (optionally in groups)</td><td>Verwendbarkeit
M.Sc. Angewandte Informatik
M.Sc. Data and Computer Science
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
English</td><td>Lehrende
Bogdan Savchynskyy</td><td>Prüfungsschema
1+1</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">The students
- can analyze optimization methods for machine learning problems and estimate the area of their potential application
- can competently apply existing algorithms and program packages for inference and learning with graphical models and neural networks
- know typical optimization techniques for inference and learning with graphical models and neural networks
- understand the basics of convex analysis, convex optimization, convex duality theory, (integer) linear programs and their geometry</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">The course presents various existing optimization techniques for such important machine learning tasks, as inference and learning for graphical models and neural networks. In particular, it addresses such topics as combinatorial algorithms, integer linear programs, scalable convex and non-convex optimization and convex duality theory. Graphical models and neural networks play a role of working examples along the course. The content of the course includes:
- Convex analysis and optimization: convex sets and functions, polyhedra, (integer) linear programs, basic first-order convex optimization methods and their stochastic variants, LP and Lagrange relaxations
- Graphical Models: dynamic programming, sub-gradient and block-coordinate ascent inference methods, min-cut/max-flow based inference, structured risk minimization for graphical models
- neural networks: architectures, backpropagation algorithm, stochastic gradient descent and its variants for training neural networks.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">recommended are: linear algebra, analysis and any universal programming language (e.g. C/C++/Pascal/python)</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">The module is completed with a graded oral exam. The final grade of the module is determined by the grade of the exam. The requirements for the assignment of credits follows the regulations in section modalities for exams.</td></tr>
</table>

Nuetzliche Literatur	will beannounced by the lecturer at the beginning of the course

8 Pflichtmodule

Dieses Kapitel umfasst die Pflichtmodule *Seminar*, *Masterarbeit* und *Master-Seminar*.
Nach Prüfungsordnung müssen zwei Seminare, die Masterarbeit und das Master-Seminar absolviert werden.
Für die Masterarbeit kann die Betreuerin bzw. der Betreuer bis zu 16 LP in spezifischen Veranstaltungen als Bedingung für die Betreuung machen. Das Master-Seminar wird bei der Betreuerin bzw. dem Betreuer der Masterarbeit abgeleistet.

Seminar

Code MS	**Name** Seminar	
LP 6	**Dauer** ein Semester	**Angebotsturnus** jedes Semester
Format Seminar 2 SWS + Tutorium 2 SWS, aktive und passive Teilnahme an Vorträgen	**Arbeitsaufwand** 180 h, davon 60 h Seminar und Tutorium 120 h Vorbereitung inkl. Betreuung	**Verwendbarkeit** B.Sc. Mathematik M.Sc. Mathematik Lehramt Mathematik (GymPO)
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** je nach Angebot	**Prüfungsschema**
Lernziele	Befähigung mathematische Literatur (in der Regel ein anspruchsvollerer Text) zu lesen, sich selbständig mit einer mathematischen Fragestellung zu beschäftigen und hierüber vorzutragen. Befähigung mathematische Argumente klar und verständlich einem kleineren Kreis von Hörern mitzuteilen.	
Lerninhalte	nach Absprache mit der bzw. dem Lehrenden, insbesondere ein dem Vortrag vorausgehendes umfangreiches Beratungsgespräch.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlene Vorkenntnisse werden von der bzw. dem Lehrenden bekanntgegeben	
Vergabe der LP und Modulendnote	Das Modul wird mit einer benoteten Prüfung abgeschlossen. Diese Prüfung umfasst die Ausarbeitung und das Halten eines Vortrages von etwa 45 bis 90 Minuten Dauer. Zur Vergabe der LP muss die Prüfung bestanden werden und aktive und passive Teilnahme an weiteren Vorträgen erforderlich. Die Modulendnote wird durch die Note der Prüfung festgelegt.	
Nuetzliche Literatur	wird von der bzw. dem Lehrenden bekanntgegeben	

Masterarbeit

<table>
<tr><td>Code
MMA</td><td colspan="2">Name
Masterarbeit</td></tr>
<tr><td>LP
30</td><td>Dauer
6 Monate</td><td>Angebotsturnus</td></tr>
<tr><td>Format
Betreutes Selbststudium
2 SWS</td><td>Arbeitsaufwand
900 h Bearbeitung eines individuellen Themas (Forschungs- und Entwicklungsarbeiten) und schriftliche Ausarbeitung</td><td>Verwendbarkeit
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
je nach Angebot</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Einsatz der erlernten Fachkenntnisse und Methoden zum selbstständigen Lösen einer komplexen Problemstellung aus der Mathematik und ihren Anwendungen
Fähigkeit, in großem Umfang selbstständig eine anspruchsvolle wissenschaftlichen Arbeit zu erstellen</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">selbstständiges wissenschaftliches Bearbeiten einer Aufgabenstellung aus der Mathematik und ihren Anwendungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">nach Prüfungsordnung mindestens 45 LP; weiterhin kann die Betreuerin bzw. der Betreuer bis zu 16 LP in spezifischen Veranstaltungen zur Bedingung der Betreuung machen</td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Zur Vergabe der LP ist das Bestehen der benoteten Masterarbeit nötig. Die Masterarbeit umfasst regelmäßige Treffen mit der Betreuerin bzw. dem Betreuer und die schriftliche Ausarbeitung.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Master-Seminar

Code MMS	**Name** Master-Seminar	
LP 8	**Dauer** ein Semester	**Angebotsturnus**
Format Seminar 2 SWS, aktive + passive Teilnahme an Vorträgen	**Arbeitsaufwand** 240 h, davon 30 h Seminar 210 h Selbstständige Ausarbeitung des Vortrags zur Master-Arbeit	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** je nach Angebot	**Prüfungsschema**
Lernziele	Erwerb und Kommunikation komplexer mathematischer Sachverhalte Befähigung, einen umfangreichen mathematischen Themenkreis klar und verständlich einem kleineren Kreis von Hörern zu vermitteln	
Lerninhalte	Vorstellung der Masterarbeit vor der Betreuerin bzw. dem Betreuer und anderen Masterstudierenden in Form eines Vortrags	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlene Vorkenntnisse werden von der Betreuerin bzw. dem Betreuer bekanntgegeben	
Vergabe der LP und Modulendnote	Das Modul wird mit einer benoteten mündlichen Prüfung abgeschlossen. Diese Prüfung umfasst einen etwa 1-stündigen Vortrag über die Masterarbeit. Die Modulendnote wird durch die Note der Prüfung festgelegt.	
Nuetzliche Literatur	wird von der Betreuerin bzw. dem Betreuer bekanntgegeben	

9 Fachübergreifende Kompetenzen

Im Master Mathematik sind 6 LP im Bereich der Fachübergreifenden Kompetenzen zu erbringen. Dazu gibt es laut Prüfungsordnung die folgenden Möglichkeiten:

Mathematisches Kolloquium, je nach Semesterzahl	2 – 6 LP
Software-Praktikum, je nach Umfang	3 – 6 LP
Industrie-Praktikum, ja nach Umfang	3 – 6 LP
Teilnahme an Ferienkursen bzw. Summer School	3 – 6 LP
Auslandssemester, je Semester 3 LP	3 – 6 LP
FÜK aus dem Angebot der Universität	bis zu 6 LP

Weiterhin sind die nachfolgend gelisteten Module anrechenbar.

Tutorenschulung Mathematik

<table>
<tr><td>Code
MTuSchu</td><td colspan="2">Name
Tutorenschulung Mathematik</td></tr>
<tr><td>LP
2 FÜK</td><td>Dauer
ein Semester</td><td>Angebotsturnus
zu Beginn jedes Wintersemesters</td></tr>
<tr><td>Format
Schulung</td><td>Arbeitsaufwand
60 h; davon
15 h Präsenzzeit Schulung
2 h Präsenzzeit Kollegiale Kurshospitation
5 h Präsenzzeit Kollegiale Praxisberatung
38 h Abschlussreflexion</td><td>Verwendbarkeit
B.Sc. Mathematik,
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch</td><td>Lehrende</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Die Teilnehmenden haben ihr didaktisches Handlungsrepertoire in Bezug auf die Gestaltung von Lehr-Lern-Situationen erweitert, indem sie:
- didaktische Grundkonzepte beschreiben und in der eigenen Veranstaltungsplanung umsetzen können
- Methoden zur Aktivierung von Teilnehmenden erlebt haben und deren Bedeutung für den Lernprozess einordnen können
- unterschiedliche Rollenmodelle diskutieren und sich in Bezug auf diese verorten können
- sich und andere in Unterrichtssituationen beobachten und daraus Rückschlüsse für ihr eigenes Handeln ziehen können
- sich über im Tutorium erlebte herausfordernde Situationen austauschend beraten können.</td></tr>
</table>

Lerninhalte	Die Schulung besteht aus folgenden Teilen: - Allgemeine Didaktik-Schulung 1 Tag - Fachdidaktik-Schulung Mathematik 1 Tag - Kollegiale Kurshospitation (jeweils 1 h) - Kollegiale Praxisberatung (1/2 Tag), während des Semesters - Didaktische Reflexion und Dokumentation (Schreiben einer ca. 5-6 seitigen Abschlussreflektion über die eigene Erfahrung) Inhalte allgemeiner Didaktikteil: - Leitungsrolle als Tutor - Grundlagen Lehr-Lern-Konzepte - herausfordernde Situationen im Tutorium meistern aktive Lernumgebung schaffen Inhalte Fachdidaktikteil Mathematik: - Übungszettel korrigieren - Was macht ein gutes Tutorium aus? - Umgang mit Präsenzaufgaben - Lernen an Lösungsbeispielen
Teilnahme-voraus-setzungen	Das Halten eines Tutoriums im Wintersemester wird empfohlen, da sonst die Teile Kollegiale Kurshospitation und Praxisberatung sowie die Abschlussreflexion nicht absolviert werden können.
Vergabe der LP und Modulendnote	Das Modul wird mit einer unbenoteten Abschlussreflexion abgeschlossen. Weitere Details werden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Nuetzliche Literatur	

Ausgewählte Kapitel der Finanz- und Versicherungsmathematik

<table>
<tr><td>Code
MFIN</td><td colspan="2">Name
Ausgewählte Kapitel der Finanz- und Versicherungsmathematik</td></tr>
<tr><td>LP
2 FÜK</td><td>Dauer
ein Semester</td><td>Angebotsturnus
jedes Semester</td></tr>
<tr><td>Format
Block-
veranstaltung
während der
vorlesungsfrei-
en
Zeit</td><td>Arbeitsaufwand
60 h; davon
15 h Präsenzzeit
30 h Nacharbeiten, Hausaufgaben und Selbststudium
15 h Prüfungsvorbereitung/Hausarbeit</td><td>Verwendbarkeit
B.Sc. Mathematik
M.Sc. Mathematik</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch</td><td>Lehrende
Johannes Bartels</td><td>Prüfungsschema</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">Transfer von mathematischen Aussagen und Methoden auf Anwendungen aus der Finanz- und Versicherungswirtschaft.
Grundlagen der Anwendung mathematischer Methoden und Konzepte in der Finanz- und Versicherungswirtschaft, Bedeutung der Mathematik für die Anwendungen, Verständnis für kaufmännische und rechtliche Rahmenbedingungen.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">Zu diesen Veranstaltungen lädt die Fakultät ausgewählte Dozenten aus dem staatlichen und privaten Finanz- und Versicherungssektor ein, die aus Ihrer praktischen Erfahrung den Bezug zu Studieninhalten herstellen. Die konkreten Inhalte der Veranstaltung richten sich dabei nach den Dozenten

Inhalte sind z. B. die mathematische Darstellung von Lebensversicherungen, versicherungsmathematische Bilanzgleichungen, die Mathematik hinter Geschäftsberichten, Risikoberechnung von Kapitalanlagen, risk management, Mathematik von Derivaten.

Zusätzlich zu den Anwendungen der Mathematik in ihren Bereichen geben die Dozenten Einblicke in kaufmännische, rechtliche und politische Rahmenbedingungen.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-
voraus-
setzungen</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Vergabe der LP und Modulendnote</td><td colspan="2">Die Details zur Abschlussprüfung und der Vergabe der LP werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nuetzliche Literatur</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

10 Anwendungsgebiete

Im Anwendungsgebiet müssen 16 LP erbracht werden.
Auf Antrag des Studierenden kann das Anwendungsgebiet durch Module aus dem Master Mathematik im Umfang von 16 LP ersetzt werden.
Informationen zum Anwendungsgebiet sollten schon zum Studienbeginn eingeholt werden.

Unten sind die laut Prüfungsordnung zugelassenen Anwendungsgebiete gelistet. Als Orientierung dienen die Anwendungsgebiete des Bachelorstudiengangs Mathematik mit einem Fachanteil von 100%. Weitere Anwendungsgebiete können auf Antrag an den Prüfungsausschuss genehmigt werden.

Die Anwendungsgebiete sind in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt:

Astronomie
Biowissenschaften
Chemie
Informatik
Philosophie
Physik
Wirtschaftswissenschaften