Modulhandbuch

Masterstudiengang „Mathematik“

Universität Heidelberg
Fakultät für Mathematik und Informatik

Fassung vom 15.04.2026 zur Prüfungsordnung vom 05.10.2022

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: Die LP werden 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 von 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 x Seminar im Master	12 LP
Summe		**60 LP**
2. Jahr:		
	Wahl Mathematik	16 LP
	Fachübergreifende Kompetenzen	6 LP
	Masterarbeit	30 LP
	Präsentation zur Masterarbeit	8 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/outreach/internationales/austauschprogramme.

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 Angewandten 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 Teilbereich Reine und Angewandte Mathematik 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>LV-Nr.
11001211XX</td><td>Name
Grundmodul Algebra und Arithmetik</td><td>Kuerzel
MM11</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
1+1 pro Veranstaltung</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: 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.
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung

LV-Nr. 11001212XX	**Name** Grundmodul Angewandte Analysis und Modellierung	**Kuerzel** MM12
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** 1+1 pro Veranstaltung
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, weitere Beispiele nichtlinearer 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 Nonlinear Partial Differential Equations: Investigated PDEs include a subset of prototypical models from different topics such as Gradient Flows, Fluid Dynamics, Reaction-Diffusion equations, Hanilton-Jacobi Equations Partial Differential Equations in Data Science (MLC3) aus dem MMLDS: Introduction to Calculus of Variations, Introduction to Optimal Transport, some measure theoretical methods for PDEs, PDEs on measure spaces
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Geometrie und Topologie

LV-Nr. 11001213XX	**Name** Grundmodul Geometrie und Topologie	**Kuerzel** MM13
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** 1+1 pro Veranstaltung
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: Grundlegende Differentialgeometrie, inklusive Riemannscher Mannigfaltigkeiten, Krümmung, Hauptfaserbündel und Vektorbündel; Hyperbolische, Euklidische, sphärische Geometrie; Vergleichssätze; Konkrete Beispiele für Metriken, z.B. Fubini-Study, Wasserstein oder Fisher-Rao Metriken; Lie Gruppen und homogene Räume; CAT(k) Geometrie Geometrische Gruppentheorie 1: Cayleygraphen endlich erzeugter Gruppen, Gruppenwirkungen, Satz von Milnor-Svarc, Quasi-Isometrie und quasi-isometrische Invarianten, wie zB Wachstum oder Enden von Gruppen, Beispiele interessanter Klassen von Gruppen Geometric Foundations for Machine Learning (MLC1) aus dem MMLDS: - Basic differential geometry, including Riemannian manifolds and curvature, principal and vector bundles - Hyperbolic, Euclidean, spherical geometry; comparison theorems - Information geometry e.g., Wasserstein and Fisher-Rao metrics - Lie groups and homogeneous spaces, examples relevant to machine learning - Optional: graphs and synthetic notions of curvature, Simplicial approximations 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 Vorlesungen Differentialgeometrie und Geometrische Gruppentheorie 1 ist die Vorlesung Grundlagen Geometrie und Topologie 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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

LV-Nr. 11001214XX	**Name** Grundmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik		**Kuerzel** MM14
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** 1+1 pro Veranstaltung
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: 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 Variablen, 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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Numerik und Optimierung

LV-Nr.	Name	Kuerzel
11001215XX	Grundmodul Numerik und Optimierung	MM15
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** 1+1 pro Veranstaltung
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: 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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

LV-Nr. 11001216XX	**Name** Grundmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	**Kuerzel** MM16
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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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.	

Lerninhalte	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) Mathematical statistics: decision theory and asymptotics: 1 Part Decision theory 1.1 Decision theory: statistical experiment, Minimax- und Bayes approach, Stein phenomenom 1.2 Estimatiion theory: sufficiency, completeness, exponential families, unbiasedness, information inequalities, translations-equivariance 1.3 Test theory: Neyman-Pearson, conditional tests, likelihood-ratio-tests, rank-tests 2 Part Asymptotic theory 2.1 General estimation methods: moment estimators, MLE, Minimum-kontrast (M and Z- estimators), consistency, aqsymoptotic normality 2.2 Asymptotic properties of tests: Contiguity, Local asymptotic normality (LAN), Asymptotic relative efficiency, Asymptotic power of rank tests, LeCam Theory; Optimality theory in LAN experiments Statistical Learning (MLC4) aus dem MMLDS: I.Statistical learning: Linear models, high-dimensional models, Lasso, kernel methods for nonparametric density and data fitting II. Empirical process theory: Uniform laws of large numbers (Bracketing, finite dimensional approximation), Symmetrisation, Univariate exponential inequalities (Inequalities of Hoeffding, Bennett, Prokhorov, Bernstein), Set indexed empirical processes (Glivenko-Cantelli classes, Vapnik-Cervonenkis classes), Uniform laws of large numbers (Covering numbers), Concentration inequalities (Tsirelson-Ibragimov-Sudakov inequality, Talagrand?s inequality)
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Kenntnisse der Analysis und Linearen Algebra, Wahrscheinlichkeitstheorie 1
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

5 Aufbaumodule

Die Aufbaumodule 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

LV-Nr. 11001221XX	**Name** Aufbaumodul Algebra und Arithmetik	**Kuerzel** MM21
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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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.	

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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung

LV-Nr. 11001222XX	**Name** Aufbaumodul Angewandte Analysis und Modellierung	**Kuerzel** MM22
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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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.	
Lerninhalte	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	
Teilnahme-voraus-setzungen	Grundmodul Angewandte 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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Geometrie und Topologie

LV-Nr. 11001223XX	**Name** Aufbaumodul Geometrie und Topologie	**Kuerzel** MM23
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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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.	

Lerninhalte	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 wie zum Beispiel: Weitere quasi isometrische Invarianten; Konzepte synthetischer Krümmung, wie zum Beispiel Vergleichsgeometrie, systolische Geometrie, injektive metrische Räume, kubische Komplexe; spezielle Klassen und Konstruktionsweisen von Gruppen wie zum Beispiel hyperbolische Gruppen, graphical groups, Mapping class groups, CAT(0)-Gruppen Symplektische Geometrie: lineare symplektische Geometrie, symplektische Mannigfaltigkeiten, fastkomplexe Strukturen, symplektische Gruppenwirkungen, symplektische Faserungen, Konstruktionen symplektischer Mannigfaltigeiten
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: passende Vorlesung(en) aus dem Grundmodul Geometrie und Topologie (z.B. für Symplektische Geometrie die Vorlesung Differentialgeometrie)
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

LV-Nr. 11001224XX	**Name** Aufbaumodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik	**Kuerzel** MM24
LP 8 pro Veranstaltung	**Dauer** pro Veranstalung: 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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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.	
Lerninhalte	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	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen ist: Grundmodul Komplexe Analysis, Automorphe Formen und Mathematische Physik	
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Numerik und Optimierung

LV-Nr. 11001225XX	**Name** Aufbaumodul Numerik und Optimierung	**Kuerzel** MM25
LP 8 pro Veranstaltung	**Dauer** pro Veranstalung: 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** 1+1 pro Veranstaltung
Lernziele	- 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 Themengebiets selbständig zu erarbeiten.	

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 Unterraum-korrekturverfahren, 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 Versuchs-planung, Numerische Lösung mit SQP-Verfahren, effiziente Ableitungs-berechnung), Globalisierung der Konvergenz bei Newton-Verfahren für sehr nichtlineare Probleme (Abstiegsstrategien, Natürliche Niveaufunk- tionen, 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) - Unendlich-dimensionale Optimierung: Existenz optimaler Lösungen, Differenzierbarkeitsbegriffe, notwendige und hinreichende Optimalitätsbedingungen, numerische Lösungsverfahren, Anwendungen in der optimalen Steuerung und Bildverarbeitung - Informationsgeometrie und Maschinelles Lernen: Differentialgeometrie (Mannigfaltigkeiten, Untermannigfaltigkeiten, 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) - High-dimensional Numerics (MLC2) aus dem MMLDS: Uncertainty Quantification (Parametric Models, Model problems, Parameter regularity), High-dimensional integration (Monte Carlo methods, Sampling from random fields, Quasi-Monte Carlo, Sparse-grids, Multilevel methods), High-dimensional approximation (Regularity for infinite-parametric functions, Stochastic collocation, Low-rank tensor approximation, Random features) - Variational Methods and Optimization in Machine Learning (MLC5) aus dem MMLDS: The lecture covers variational and optimization methods in the context of major tasks of data science and machine learning: data embedding and representation; supervised, semi-supervised and unsupervised learning; classification, regression and density estimation using discriminative and generative models; structured prediction. Besides established classical methods, deep learning will be a central theme, including applications to numerical optimization.

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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben

Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

LV-Nr. 11001226XX	**Name** Aufbaumodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	**Kuerzel** MM26
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** 1+1 pro Veranstaltung
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: - Fortgeschrittene Zeitreihenanalyse - Statistik zeitstetiger Prozesse - Angewandte Statistik - Lokale asymptotische Normalität und Semiparametrik: Asymptotische Entscheidungstheorie für lokal asymptotisch normale Experimente, Differenzierbarkeit im quadratischen Mittel, Kontiguität, Semiparametrik, asymptotische Effizienz in semiparametrischen Modellen - Empirische Prozesse: Glivenko-Cantelli Sätze, Vapnik-Cervonenskis Theorie, Konzentrationsungleichungen für empirische Prozesse, Donsker Theoreme, Entropieabschätzungen für Funktionenklassen, Konvergenzraten in der Nichtparametrik - Nichtparametrische Minimaxtheorie - 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 - Bayesstatistik - 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 in HeiCO 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

LV-Nr. 11001231XX	**Name** Spezialisierungsmodul Algebra und Arithmetik	**Kuerzel** MM31
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** 1+1 pro Veranstaltung
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung

<table>
<tr><td>LV-Nr.
11001232XX</td><td>Name
Spezialisierungsmodul Angewandte Analysis und Modellierung</td><td>Kuerzel
MM32</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
M.Sc. Scientific Computing</td></tr>
<tr><td>Sprache
Deutsch oder Englisch</td><td>Lehrende
wechselnd</td><td>Prüfungsschema
1+1 pro Veranstaltung</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 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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben</td></tr>
</table>

Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie

<table>
<tr><td>LV-Nr.
11001233XX</td><td>Name
Spezialisierungsmodul Geometrie und Topologie</td><td>Kuerzel
MM33</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
1+1 pro Veranstaltung</td></tr>
<tr><td>Lernziele</td><td colspan="2">- 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.</td></tr>
<tr><td>Lerninhalte</td><td colspan="2">Aktuelle Forschungsthemen aus den Arbeitsgebieten der Dozierenden.
Angeboten werden zum Beispiel folgende Veranstaltungen:
- Topological Classification of high-dimensional Manifolds
- Coxetergruppen und Gebäude
- Kontaktgeometrie
- Hamiltonsche dynamische Systeme
- Metrische Geometrie
- Artingruppen
- CAT(0) kubische Komplexe</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraus-setzungen</td><td colspan="2">empfohlen sind Veranstaltung(en) aus dem Grund- und Aufbaumodul Geometrie und Topologie</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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben</td></tr>
</table>

Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik

LV-Nr. 11001234XX	**Name** Spezialisierungsmodul Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik	**Kuerzel** MM34
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** 1+1 pro Veranstaltung
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 Komplexe Analysis, automorphe Formen und Mathematische Physik	
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung

LV-Nr. 11001235XX	**Name** Spezialisierungsmodul Numerik und Optimierung	**Kuerzel** MM35
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** 1+1 pro Veranstaltung
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 in HeiCO oder auf der Homepage der Vorlesung angegeben	

Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung

LV-Nr. 11001236XX	**Name** Spezialisierungsmodul Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung	**Kuerzel** MM36
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** 1+1 pro Veranstaltung
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 in HeiCO 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.

Applied Mathematics in Biology: Single-cell omics

LV-Nr. L 1100124000 E 1100124001	**Name** Applied Mathematics in Biology: Single-cell omics	**Kuerzel**
LP 6	**Dauer**	**Angebotsturnus** every summersemester
Format Lecture 2 SWS + Exercise 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 180 h; thereof 30 h lecture 30 h exercise 15 h preparation for exam 105 h self-study and working on assignments (optionally in groups)	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache English	**Lehrende** Simon Anders	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	Modern molecular biology has much need for computational expertise, providing opportunities for researchers from mathematics, physics, scientific computing or other computational sciences. This lecture aims to provide knowledge and skills to get started with such interdisciplinary work – by diving into one specific topic, namely the analysis of single-cell omics data, i.e., mRNA sequencing data with single-cell resolution, a technique used to characterize the molecular state of cells in tissue samples, in order to understand biological processes in health and disease. Students will learn how to work in a foreign scientific domain of knowledge (biology), apply mathematical concepts there, bridge terminology gaps and other overcome challenges of interdisciplinary work. We will explore "real-world" applications of mathematical methods, especially from high-dimensional statistics, and learn how to use exploratory data analysis to turn domain-language (here: biological) questions into mathematical hypotheses on the structure of the given data manifolds, and how to translate results back to make them understandable for domain experts. Students will gain practical experience in scientific programming, applied linear algebra, machine learning, data reduction and interpretation, and, most importantly, in interdisciplinary research work, as well as insights into opportunities for computational scientists to work in the life sciences.	

Lerninhalte	Content of this lecture is: - basic concepts of molecular biology and transcriptomics - assay techniques in single cell (sc) biology - stochastic models for omics data - the concept of feature space, as used for omics data and in machine learning - methods to explore high-dimensional data - linear and non-linear methods for dimension reductions - clustering in high-dimensional space - non-linear regression methods - graph-based methods in omics data analysis - applications of machine learning methods to sc omics - deep learning (esp. variational autoencoders) and related methods - techniques for handling big data - interactive visualization for exploratory data analysis
Teilnahme-voraus-setzungen	recommended is a basic knowledge in (finite-dimensional) linear algebra (matrix calculus, eigendecomposition, etc), experience with at least one programming language and interest in biology
Vergabe der LP und Modulendnote	The module is completed with a graded written or oral examination. The grade of this examination gives the grade for this module. Details for this examination as well as the requirements for the assignment of credits will be given by the lecturer an the beginning of this course.
Nuetzliche Literatur	

Berechenbarkeit und Komplexität I

LV-Nr.	Name	Kuerzel
LV-Nr. V 1100124002 Ü 1100124003	**Name** Berechenbarkeit und Komplexität I	**Kuerzel** MM41
LP 8	**Dauer** ein Semester	**Angebotsturnus** unregelmäßig
Format Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 240 h; davon 90 h Präsenz 60 h Prüfungsvorbereitung (und Prüfung) 90 h Selbststudium und Aufgabenbearbeitung (eventuell in Gruppen)	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch	**Lehrende** Wolfgang Merkle	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	Grundkenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität	
Lerninhalte	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.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind Grundkenntnisse aus der Theoretischen Informatik	
Vergabe der LP und Modulendnote	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.	
Nuetzliche Literatur		

Berechenbarkeit und Komplexität II

LV-Nr.	**Name** Berechenbarkeit und Komplexität II	**Kuerzel** MM42
LP 8	**Dauer** ein Semester	**Angebotsturnus** unregelmäßig
Format Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 240 h; davon 90 h Präsenz 60 h Prüfungsvorbereitung (und Prüfung) 90 h Selbststudium und Aufgabenbearbeitung (eventuell in Gruppen)	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch	**Lehrende** Wolfgang Merkle	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	Vertiefte Kenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität	
Lerninhalte	In diesem Modul werden ausgewählte fortgeschrittene Themen aus dem Bereich der Berechenbarkeits- und Komplexitästheorie behandelt.	
Teilnahme-voraus-setzungen	empfohlen sind: Berechenbarkeit und Komplexität I	
Vergabe der LP und Modulendnote	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.	
Nuetzliche Literatur		

Algorithmic Randomness and Computable Analysis

LV-Nr. L 1100222040	**Name** Algorithmic Randomness and Computable Analysis	**Kuerzel** IARCA
LP 4	**Dauer** one semester	**Angebotsturnus** irregular
Format Lecture 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 120h; thereof 30h lectures, 15h exam preparations, 75h lecture wrap-up and homework	**Verwendbarkeit** M.Sc. Data and Computer Science M.Sc. Mathematik M.Sc. Scientific Computing
Sprache English	**Lehrende** Ivan Titov	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	The students will learn basics of computability theory and information theory and obtain basic knowledge of algorithmic randomness and computable analysis; after passing the course, they will be able to differentiate between various randomness concepts and relate them to notions of approximability of real numbers.	
Lerninhalte	Turing machines and Computability. Various notions of Kolmogorov complexity. The main approaches to characterize effective randomness: typicality, unpredictability and incompressibility. Effective approximability of real numbers and randomness of reals. Relative randomness and reducibilities. Basics of computable analysis.	
Teilnahme-voraus-setzungen	recommended are: basic knowledge of Turing machines and computability theory	
Vergabe der LP und Modulendnote	The module is completed with a graded oral examination. The final grade of the module is determined by the grade of the examination.	
Nuetzliche Literatur	Rodney G. Downey and Denis R. Hirschfeldt, Algorithmic Randomness and Complexity. Theory and Applications of Computability, Springer, New York, 2010. MR 2732288 Alexander Shen, Vladimir Andreevich Uspensky, Nikolay Vereshchagin. Kolmogorov Complexity and Algorithmic Randomness. AMS, 2017, ISBN 9781470431822 Klaus Weihrauch. Computable Analysis: An Introduction. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000. DOI:10.1007/978-3-642-56999-9	

Applied Combinatorial Optimization

<table>
<tr><td>LV-Nr.
1300282205</td><td>Name
Applied Combinatorial Optimization</td><td>Kuerzel
IACO</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. Data and Computer Science
M.Sc. Mathematik
M.Sc. Scientific Computing

Cannot be combined with Optimization for Machine Learning.</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 combinatorial optimization methods and estimate the area of their potential application;
- can competently apply existing optimization algorithms and program packages;
- know typical combinatorial optimization techniques and have a sufficient background for an independent literature search;
- understand the basics of convex analysis, convex optimization, convex duality theory, (integer) linear programs and their geometry.</td></tr>
</table>

Lerninhalte	The course is devoted to combinatorial optimization, which includes but not limited to algorithms on graphs, integer linear programming, pseudo-boolean optimization, matroids and submodularity. A distinctive feature of this course is its motivation by machine learning applications, which shifts the optimization focus from attaining an optimal solution to a problem, to obtaining an accurate enough solution very fast. The reason for this shift is complexity of models used in modern artificial intelligence-related branches and the lesson they teach us: Better results can be easier attained by more accurate models rather than by more accurate optimization. To build an accurate problem model, the latter must be learnable. To be used in learning pipelines, combinatorial algorithms must be fast. To attain the best practical results, the algorithms must be accurate enough. Fast, accurate enough and learnable algorithms are three aspects we address in this lecture. - Combinatorial problems and their computational complexity: Overview - Linear and integer linear programs and their geometry: Convexity, polyhedra, LP relaxation. - Lifting of variables: Quadratic to linear problem transform, Sherali-Adams hierarchy - Lagrange duality: Subgradient, optimality conditions, relation to LP relaxation, reduced costs. - Systematic exact combinatorial methods: Branching and cutting. - Scalable dual techniques: Non-smooth first order methods, smoothing, primal-dual algorithm. - Greedy algorithms: (Sub-)Optimality, matroids. - Quadratic pseudo-boolean optimization: Algorithms, applications, submodularity. - Scalable primal heuristics: Greedy generation, local search and optimal recombination. Memetic algorithms. - Min-cost-flow: Problem subclasses, theoretical properties and practical algorithms. - Learning parameters of combinatorial problems from training data: Black-box differentiation and recent advances in the literature.
Teilnahme-voraus-setzungen	recommended are: basic cources: Linear Algebra, Analysis (or, equivalently, Mathematics for computer science) and Algorithms and data structures.
Vergabe der LP und Modulendnote	The module is completed with a graded oral examination. The final grade of the module is determined by the grade of the examination. The requirements for the assignment of credits follows the regulations in section modalities for examinations.

Nuetzliche Literatur	Savchynskyy, Bogdan. Discrete graphical models?an optimization perspective. Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision 11.3-4 (2019): 160-429. Boyd, Stephen P., and Lieven Vandenberghe. Convex optimization. Cambridge university press, 2004. Korte, Bernhard H. Combinatorial optimization. Berlin: Springer, 2011. Beck, Amir. First-order methods in optimization. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2017. Bertsekas, Dimitri P. Nonlinear programming. Journal of the Operational Research Society 48.3 (1997): 334-334. Ahuja, Ravindra K., Thomas L. Magnanti, and James B. Orlin. Network flows. (1988). Papadimitriou, Christos H., and Kenneth Steiglitz. Combinatorial optimization: algorithms and complexity. Courier Corporation, 1998.

8 Pflichtmodule

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

Seminar im Master

LV-Nr.	**Name**	**Kuerzel**
1100143XXX 1100144XXX	Seminar im Master	MSM
LP	**Dauer**	**Angebotsturnus**
6	ein Semester	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** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** je nach Angebot	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	Die Studierenden sind in der Lage - mathematische Literatur (in der Regel ein vertiefender Text) zu lesen, sich selbständig mit einer komplexeren mathematischen Fragestellung zu beschäftigen und hierüber vorzutragen, - mathematische Argumente klar und verständlich einem kleineren Kreis von Hörern mitzuteilen, - Fragen zu den vorgetragenen mathematischen Themen zu stellen und zu beantworten.	
Lerninhalte	- Vortrag über das eigene Seminarthema, insbesondere ein dem Vortrag vorausgehendes umfangreiches Beratungsgespräch bei der bzw. dem Lehrenden - Fragen zu den vorgetragenen mathematischen Themen zu stellen und Fragen zum eigenen Vortrag zu beantworten	
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 40 bis 90 Minuten Dauer. Zur Vergabe der LP muss die Prüfung bestanden werden und aktive und passive Teilnahme an weiteren Vorträgen ist erforderlich. Die Modulendnote wird durch die Note der Prüfung festgelegt. Die bzw. der Lehrende kann eine Frist festsetzen bis zu welcher die Studierenden von ihrem angemeldeten Vortrag zurücktreten können. Nach Ablauf dieser Frist ist ein Zurücktreten nicht mehr möglich und bei nichtgehaltenem Vortrag gilt die Prüfung als nicht bestanden.	
Nuetzliche Literatur	wird von der bzw. dem Lehrenden bekanntgegeben	

Masterarbeit

LV-Nr.	**Name** Masterarbeit	**Kuerzel**
LP 30	**Dauer** 6 Monate	**Angebotsturnus**
Format Betreutes Selbststudium 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 900 h Bearbeitung eines individuellen Themas (Forschungs- und Entwicklungsarbeiten) und schriftliche Ausarbeitung	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** je nach Angebot	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	- 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 wissenschaftliche Arbeit zu erstellen	
Lerninhalte	selbstständiges wissenschaftliches Bearbeiten einer Aufgabenstellung aus der Mathematik und ihren Anwendungen	
Teilnahme-voraus-setzungen	nach Prüfungsordnung mindestens 45 LP; weiterhin kann die Betreuerin bzw. der Betreuer bis zu 16 LP in spezifischen Veranstaltungen zur Bedingung der Betreuung machen	
Vergabe der LP und Modulendnote	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.	
Nuetzliche Literatur		

Präsentation zur Masterarbeit

LV-Nr.	Name Präsentation zur Masterarbeit	Kuerzel
LP 8	**Dauer**	**Angebotsturnus** jedes Semester
Format Seminar 2 SWS	**Arbeitsaufwand** 240 h; davon 30 h Seminar 180 h umfangreiche Literaturrecherche im Umfeld des Themas der Masterarbeit 30 h Selbstständige Ausarbeitung des Vortrags zur Masterarbeit	**Verwendbarkeit** M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch oder Englisch	**Lehrende** je nach Angebot	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	Die Studierenden - trainieren und zeigen die Fähigkeit, eigene mathematische Forschungsarbeiten in einem wissenschaftlichen Vortrag darzustellen und mathematisch komplexe Sachverhalte klar und verständlich einem Kreis von Hörern zu vermitteln, - sind in der Lage, sich in ihrem Gebiet der Masterarbeit zu positionieren, dies zu kommunizieren, und die Ergebnisse der eigenen Arbeit im wissenschaftlichen Kontext einzuordnen, sowie das künftige Potenzial der eigenen Ergebnisse zu beurteilen, - üben die Fähigkeit zur umfangreichen und tiefgehenden selbstständigen Literaturrecherche im Themengebiet der Masterarbeit.	
Lerninhalte	- Umfangreiche und tiefgehende selbstständige Literaturrecherche im Themengebiet der Masterarbeit, - Präsentation des Inhaltes der Masterarbeit und Einordnung der Ergebnisse im wissenschaftlichen Kontext im Rahmen eines Vortrags vor der Betreuerin bzw. dem Betreuer und anderen Studierenden.	
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	Literaturempfehlung wird von der Betreuerin bzw. dem Betreuer bekanntgegeben	

9 Übergreifende Kompetenzen

Im Master Mathematik sind 6 LP im Bereich der Übergreifenden Kompetenzen zu erbringen. In diesem Kapitel sind die Module aufgeführt, die von Studierenden im Rahmen der ÜK aus dem Angebot der Fakultät für Mathematik und Informatik belegt werden können. Module aus der Mathematik oder dem Anwendungsfach können nicht als ÜK angerechnet werden. Bei der Belegung von Software-Praktika ist zu beachten, dass nur eines der Module IAP oder IFM im Rahmen der ÜK im Masterstudium Mathematik angerechnet werden kann.

Im Rahmen der ÜK können auch Veranstaltungen aus dem Studienangebot der Universität, die nicht zum Studiengang oder zum Anwendungsgebiet gehören, absolviert werden. Dies umfasst auch Sprachkurse. Dabei werden die Leistungspunkte des Angebots übernommen (insbesondere auch für Sprachkurse).

Bildung durch Sommerschule, Ferienkurs oder Konferenz

LV-Nr.	**Name** Bildung durch Sommerschule, Ferienkurs oder Konferenz	**Kuerzel**
LP 1 LP FÜK pro 30h	**Dauer**	**Angebotsturnus**
Format Teilnahme an einer im Block durchgeführten Mathematik-Veranstaltung mit Inhalten, die im Studiengang Mathematik nicht vermittelt werden	**Arbeitsaufwand** Mindestens 30 h Präsenzzeit bei der Veranstaltung	**Verwendbarkeit** B.Sc. Mathematik M.Sc. Mathematik
Sprache	**Lehrende** Prüfungsausschussvorsitzender	**Prüfungsschema**
Lernziele	Erfahrung mit über das Studium hinausgehenden fachlichen Inhalten und intensiven Diskussionen dazu	
Lerninhalte		
Teilnahmevoraussetzungen		
Vergabe der LP und Modulendnote	Das Modul wird mit einer unbenoteten Prüfung abgeschlossen. Diese Prüfung umfasst einen schriftlichen Bericht über die Veranstaltung und dabei gesammelte Erfahrungen (ca. 1 Seite pro LP). Zur Vergabe der LP muss dieser Bericht bestanden werden.	
Nuetzliche Literatur		

Industriepraktikum

LV-Nr.	Name Industriepraktikum	Kuerzel
LP 4 bis 8	**Dauer** 4 - 8 Wochen	**Angebotsturnus**
Format Praktikum mit Abschlussbericht	**Arbeitsaufwand** 120-240 h; davon 5-10 h Verfassung des Abschlussberichts	**Verwendbarkeit** B.Sc. Mathematik M.Sc Mathematik
Sprache	**Lehrende**	**Prüfungsschema**
Lernziele	- Erfahrung von Anwendungen mathematischer Methoden und Konzepte in der industriellen, handwerklichen und kaufmännischen Praxis, - Fähigkeit, mathematische Methoden auf konkrete Probleme anzuwenden, - Fähigkeit, mathematische Sachverhalte auch Fachfremden kommunizieren zu können. - Team- und Kooperationsfähigkeit, Kommunikations- und Transferkompetenzen.	
Lerninhalte	Der Inhalt wird zwischen Studierenden, dem Unternehmen, bei dem das Praktikum geleistet wird und einem betreuenden Dozierenden individuell vereinbart. Dazu wird vor Beginn des Praktikums ein Praktikumsplan mit Inhalten und Zeitverlauf vereinbart und vom betreuenden Dozierenden nach Prüfung bezüglich der Lernziele genehmigt. Die Studierenden fertigen während des Praktikums einen Erfahrungsbericht im Umfang von 600 bis 1000 Wörtern an, der nach dem Praktikum dem betreuenden Dozierenden zur Abnahme vorgelegt wird. Der Bericht muss insbesondere den Bezug des Praktikums zum Studium widerspiegeln. Hinweis: Studierende mit Interesse an einem Industriepraktikum sollten zunächst selbständig einen Praktikumsplatz finden, sich dann an einen Dozierenden ihrer Wahl wenden und die Betreuung vereinbaren. Dessen Aufgaben beschränken sich hierbei auf die Genehmigung des Praktikumsplans und die Abnahme des Berichts.	
Teilnahmevoraussetzungen	Mindestens vier Pflichtmodule des Bachelorstudiengangs Mathematik; Angebot eines mit den Lernzielen verträglichen Praktikumsplatzes	
Vergabe der LP und Modulendnote	Das Modul ist unbenotet und wird mit einem Bericht abgeschlossen. Dieser Erfahrungsbericht im Umfang von 600 bis 1000 Wörtern soll insbesondere den Bezug des Praktikums zum Studium widerspiegeln. Die Vergabe der LP erfolgt bei bestandenem Bericht.	
Nuetzliche Literatur		

Ausgewählte Kapitel der Finanz- und Versicherungsmathematik

LV-Nr.	Name	Kuerzel
	Ausgewählte Kapitel der Finanz- und Versicherungsmathematik	
LP	**Dauer**	**Angebotsturnus**
2 FÜK	ein Semester	jedes Semester
Format Block-veranstaltung während der vorlesungsfrei-en Zeit	**Arbeitsaufwand** 60 h; davon 15 h Präsenzzeit 30 h Nacharbeiten, Hausaufgaben und Selbststudium 15 h Prüfungsvorbereitung/Hausarbeit	**Verwendbarkeit** B.Sc. Mathematik M.Sc. Mathematik
Sprache Deutsch	**Lehrende** Johannes Bartels	**Prüfungsschema** 1+1
Lernziele	- 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.	
Lerninhalte	Zu diesen Veranstaltungen lädt die Fakultät ausgewählte Dozierende 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 Dozierenden 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 Dozierenden Einblicke in kaufmännische, rechtliche und politische Rahmenbedingungen.	
Teilnahme-voraus-setzungen		
Vergabe der LP und Modulendnote	Die Details zur Abschlussprüfung und der Vergabe der LP werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.	
Nuetzliche Literatur		

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