EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Fachbereich Mathematik

Modulhandbuch

Mathematik
Master of Science

Sommersemester 2019

Stand 17. Oktober 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Beschreibung des Studiengangs

1.1 Studiengangskonzept und Qualifikationsziele

Der Studiengang Master of Science Mathematik ist ein wissenschaftlich-forschungsorientierter Studiengang, der gleichermaßen auf eine Tätigkeit im Bereich der Forschung und Hochschullehre vorbereitet, wie auf eine Tätigkeit in Wirtschaft und Industrie. Die Absolventinnen und Absolventen sind in hohem Maße in der Lage, sich in spezifische Arbeitsgebiete einzuarbeiten, komplexe Probleme zu analysieren und Lösungsstrategien zu entwickeln. Sie sind geschult in strukturiertem und konzeptionellem Denken und ihr Abstraktionsvermögen ist in besonderer Weise ausgeprägt. Daneben verfügen sie über wichtige allgemeine Qualifikationen wie Kreativität, Kommunikations- und Teamfähigkeit, Ausdauer und eine hohe Frustrationstoleranz.

Der Studiengang ist auf vier Semester ausgelegt und ist ein konsekutiver Studiengang, der den erfolgreichen Abschluss des sechssemestrigen Studiengangs Bachelor of Science Mathematik an der Universität Tübingen oder einen gleichwertigen Abschluss voraussetzt. Ein Spezifikum des Masterstudiengangs ist die Verbindung aus mathematischer Breite mit gleichzeitiger Vertiefung in einem ausgewählten mathematischen Gebiet. Die Absolventinnen und Absolventen erwerben fundierte Kenntnisse in mehreren verschiedenen Gebieten der Mathematik sowie der mathematischen Modellbildung, und sie spezialisieren sich in einem ausgewählten Gebiet so weit, dass sie sich mit aktuellen Forschungsfragen auseinander setzen können. Ihre im Bachelorstudium erworbenen analytischen Fähigkeiten werden wesentlich ausgebaut, und sie werden zur wissenschaftlichen Arbeit befähigt. Sie lernen Theorien und Ansätze kritisch zu hinterfragen und zu bewerten sowie erste eigene Ansätze zu entwickeln. Der Studiengang versetzt sie in die Lage, sich offen und kreativ auf neue Bedingungen im Berufsleben einzustellen und dabei wissenschaftliche Erkenntnisse kritisch einzuordnen und zielgerichtet einzusetzen.

Im Mathematikstudium lernen die Studierenden die Welt durch eine mathematische Brille wahrzunehmen. Das Erkennen von mathematischen Strukturen in der Umwelt und das Abbilden der Umwelt in vereinfachten mathematischen Modellen ist eine wesentliche Kompetenz, die im Mathematikstudium vermittelt wird, und sie macht die Absolventinnen und Absolventen für eine Vielzahl von Berufsfeldern attraktiv. Typische Arbeitgeber für unsere Absolventinnen und Absolventen sind Forschungs- und Entwicklungsabteilungen in der Industrie, Dienstleistungsunternehmen wie Banken oder Versicherungen, Unternehmensberatungen, Softwareentwicklungsunternehmen und Meinungsforschungsinstitute; auch weniger naheliegende Tätigkeitsfelder wie der Wissenschaftsjournalismus oder die Museumspädagogik stehen unseren Absolventinnen und Absolventen offen. Zudem wird ein Teil von ihnen nach anschließender Promotion den Weg in die Wissenschaft an einer nationalen oder internationalen Hochschule oder Forschungseinrichtung einschlagen.

1.2 Struktur des Studiengangs

Das Lehrangebot des Fachbereichs Mathematik im Studiengang Master of Science Mathematik ist jeweils einem oder mehreren der folgenden fünf Studienschwerpunkte zugeordnet, die sich in natürlicher Weise aus den am Fachbereich vertretenen Forschungsschwerpunkten ableiten:

- Algebra und Geometrie,
- Analysis und Differentialgeometrie,
- Mathematische Physik,
- Numerische Mathematik,
- Stochastik.

Gleich zu Beginn des Studiums wählt jede oder jeder Studierende einen der Studienschwerpunkte als seinen *persönlichen Studienschwerpunkt* aus. In diesem Studienschwerpunkt erbringt die oder der Studierende 18 Leistungspunkte durch den Besuch vertiefender Vorlesungen mit zugehörigen Übungen, sie oder er belegt ein Seminar aus dem Studienschwerpunkt und auch die Module im Abschnitt Wissenschaftliches Arbeiten, insbesondere die Masterarbeit, werden sich mit Themen aus dem Gebiet des Studienschwerpunktes beschäftigen. In diesem Gebiet der Mathematik wird die oder der Studierende bis an Fragen der aktuellen Forschung herangeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die oder der Studierende bereits während seines Bachelorstudiums grundlegende Kenntnisse im Gebiet des Studienschwerpunktes erworben hat, wie sie in den Modulen des jeweiligen Studienschwerpunktes zur Mathematischen Breitenbildung (siehe Liste der Module zur Mathematischen Breitenbildung, S. 21) angeboten werden. Im Abschnitt *Studienschwerpunkt* können deshalb nur Vertiefungsmodule (siehe Liste der Vertiefungsmodule, S. 67) und keine Module zur Mathematischen Breitenbildung eingebracht werden. Sollte eine Studierende oder ein Studierender nicht die erforderlichen Vorkenntnisse im Studienschwerpunkt mitbringen, kann er sie im Rahmen des Masterstudiums dennoch erwerben und die entsprechenden Module im Abschnitt *Freier Wahlbereich* einbringen.

Die im Masterstudium zu erbringenden Leistungen sind in vier Abschnitte gegliedert:

- Studienschwerpunkt,
- Vertiefungswissen Mathematik,
- Freier Wahlbereich,
- Wissenschaftliches Arbeiten.

In den Abschnitten *Studienschwerpunkt* und *Wissenschaftliches Arbeiten* sind, wie erläutert, die Leistungen im gewählten persönlichen Studienschwerpunkt des Studierenden zusammengefasst. Daneben sind im Abschnitt *Vertiefungswissen Mathematik* Leistungen im Umfang von 30–33 Leistungspunkten in mindestens zwei weiteren Studienschwerpunkten des Fachbereichs zu erbringen, wobei die genauen Regeln hierfür einerseits den Einstieg in ein neues mathematisches Gebiet erlauben, andererseits aber auch die wünschenswerte Tiefe sicherstellen (siehe Abschnitt 2, S. 14). Im verbleibenden Abschnitt *Freier Wahlbereich* können die Studierenden ihrem Studium ein sehr individuelles Profil geben, indem sie ausgewählte Leistungen aus Studiengängen anderer Fachbereiche einbringen und damit ihre evtl. im Bachelorstudium erworbene Expertise in einem Nebenfach ausbauen oder indem sie ihre Kompetenzen in bestimmten Bereichen der Mathematik, ggf. auch im persönlichen Studienschwerpunkt, durch die Belegung weiterer Module aus dem Masterstudiengang vertiefen (siehe Abschnitt 3, S. 14). Um sicherzustellen, dass die Wahl allein unter dem Gesichtspunkt der Ausprägung eines individuellen Profils des Studiengangs getroffen werden kann, gehen die Noten der Module im *Freien Wahlbereich* im Gegensatz zu den Noten in den Modulen der drei anderen Abschnitte nicht in die Berechnung der Endnote ein.

1.3 Mentorinnen und Mentoren, Studien- und Prüfungspläne

Die genauen einschränkenden Regeln für die Auswahl von Veranstaltungen in den vier Abschnitten des Studiengangs sind zu Beginn des jeweiligen Abschnitts in Kapitel 3 Modulbeschreibungen zu finden. Um sicherzustellen, dass die Studierenden ihr Studium von Anfang an sinnvoll gestalten und alle Regeln einhalten, wird jeder und jedem Studierenden mit Aufnahme des Studiengangs eine Mentorin oder ein Mentor, möglichst aus dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkt, zur Seite gestellt. Mit dieser Mentorin oder diesem Mentor trifft sich die oder der Studierende zu Beginn des Studiums, um einen persönlichen Studien- und Prüfungsplan zu erstellen, der alle im Studium geplanten Module enthält. Der Studien- und Prüfungsplan ist der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses zur Prüfung vorzulegen; im Falle der Teilnahme an einem Double-Degree-Programm (siehe Kapitel 4) sind u. U. weitere Personen oder Gremien am Genehmigungsprozess beteiligt. In den Folgesemestern trifft sich die oder der Studierende jeweils mindestens einmal mit seiner Mentorin oder seinem Mentor, um den Studien- und Prüfungsplan anzupassen. Die angepassten Studien- und Prüfungspläne sind wieder zur Genehmigung vorzulegen. Auch eine Änderung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes ist im Rahmen der Änderung des Studien- und Prüfungsplanes auf Antrag möglich.

Bei der Erstellung oder Anpassung des Studien- und Prüfungsplans kann auch ein sinnvolles Zeitfenster für einen Studienanteil an einer ausländischen Hochschule eingeplant werden. Grundsätzlich eignet sich hierfür jedes Fachsemester. Die Entscheidung wird im Einzelnen von den bereits erbrachten Leistungen der oder des Studierenden und dem Angebot an der gewählten ausländischen Hochschule abhängen. Auch die Erstellung der Masterarbeit während des Auslandsaufenthaltes und unter Kobetreuung durch eine dortige Lehrende oder einen dortigen Lehrenden ist möglich.

2 Studienverlaufsplan

2.1 Übersicht nach Modulen

Wir geben hier eine Übersicht über den Studienverlauf in Form einer Tabelle, die die im Studiengang zu belegenden Module aufzeigt.

Empfohlenes Fachsemester	**Modulnummer**	**Modultitel**	**Art der Veranstaltungen**	**Art des Moduls**	**Studienleistung**	**Prüfungsform**	**ECTS-Punkte**
Abschnitt 1: Studienschwerpunkt							
1-3		Zusätzlich zum Modul Seminar Studienschwerpunkt Vertiefungsmodule im Umfang von 18 LP gemäß der näheren Regelungen in 3 Modulbeschreibungen		WPM			18
2-3	MAT-40-01	Seminar Studienschwerpunkt	S	PMW	s.M.	R	3
Abschnitt 2: Vertiefungswissen Mathematik							
1-3		Module der Mathematischen Breitenbildung und Vertiefungsmodule im Umfang von 30-33 LP gemäß der näheren Regelungen in 3 Modulbeschreibungen		WPM			30-33
Abschnitt 3: Freier Wahlbereich							
1-3		Module aus den Studiengängen des Fachbereichs Mathematik oder anderer Fachbereiche (nähere Regelung s.u. 3 Modulbeschreibungen)		WPM			27-30
Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten							
3	MAT-40-02	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten	P	PM	s.M.	-	9
4	MAT-40-03	Abschlussmodul M.Sc. Mathematik	MA	PM	s.M.	MA	30

Erläuterung der Abkürzungen:

Art des Moduls : PM=Pflichtmodul, PMW=Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit, WPM=Wahlpflichtmodul
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Studienleistung : ÜN=Übungsnachweis
Sonstiges : o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung

2.2 Übersicht nach Studienverlauf

Wir geben zunächst einen allgemeinen Studienverlaufsplan, der die zeitliche Verteilung der Leistungspunkte nach Abschnitten aufzeigt. Auf den folgenden Seiten finden sich dann beispielhafte Studienverlaufspläne für unterschiedliche Studienschwerpunkte.

<table>
<tr><th colspan="5">Schematischer Studienverlaufsplan</th></tr>
<tr><th>FS</th><th>LP</th><th colspan="2">Kernbereich Mathematik</th><th>Freier Wahlbereich</th></tr>
<tr><td>1</td><td>30</td><td rowspan="2">Studienschwerpunkt
(21 LP)</td><td rowspan="3">Vertiefungswissen Mathematik
(30-33 LP)</td><td rowspan="3">Freier Wahlbereich
(27-30 LP)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>30</td></tr>
<tr><td>3</td><td>30</td><td rowspan="2">Wissenschaftliches Arbeiten
(39 LP)</td></tr>
<tr><td>4</td><td>30</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="5">Erläuterung der Abkürzungen:
FS=Fachsemester, LP=Leistungspunkte (ECTS-Punkte)</td></tr>
</table>

2.3 Auswahl möglicher Studienverläufe

Unspezifischer exemplarischer Studienverlaufsplan

Der folgende exemplarische Studienverlaufsplan zeigt, wie die zu erbringenden Leistungen über die vier Semester verteilt werden könnten, ohne konkrete Module zu benennen.

<table>
<tr><th colspan="6">Unspezifischer exemplarischer Studienverlaufsplan</th></tr>
<tr><th>FS</th><th>LP</th><th colspan="3">Kernbereich Mathematik</th><th>Freier Wahlbereich</th></tr>
<tr><td>1</td><td>30</td><td>Studienschwerpunkt: Vertiefende Vorlesung
(9 LP)</td><td>Vertiefungswissen Mathematik: Einführende Vorlesung
(9 LP)</td><td>Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung
(3 LP)</td><td rowspan="3">Freier Wahl-bereich
(27-33 LP)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>30</td><td>Studienschwerpunkt: Vertiefende Vorlesung
(9 LP)</td><td>Studienschwerpunkt: Seminar
(3 LP)</td><td>Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung
(9 LP)</td></tr>
<tr><td>3</td><td>30</td><td>Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten
(9 LP)</td><td>Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung
(9 LP)</td><td>Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung
(3 LP)</td></tr>
<tr><td>4</td><td>30</td><td colspan="4">Masterarbeit
(30 LP)</td></tr>
</table>

Exemplarische Studienverlaufspläne für die Studienschwerpunkte

Wir wollen nun noch für jeden der Studienschwerpunkte einen exemplarischen Studienverlaufsplan listen, um zu zeigen, wie ein solcher Studienverlauf konkret aussehen könnte. Da die Wahl der Module aber von sehr vielen Faktoren abhängt (Vorkenntnisse aus dem Bachelorstudium, aktuelles Lehrangebot, persönliche Interessen), sind diese nicht als Empfehlung zu verstehen und in aller Regel in der Zusammenstellung auch nicht studierbar.

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie					
FS	**LP**	**Kernbereich Mathematik**			**Freier Wahlbereich**
1	33	Algebraische Geometrie (9 LP)	Wahrscheinlichkeitstheorie (9 LP)	Geometry in Physics (9 LP)	Advanced Module: Written Communication and Translation (B.A. Anglistik) (6 LP)
2	30	Computeralgebra (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Partielle Differentialgleichungen (9 LP)	Algebraische Transformationsgruppen (9 LP)
3	27	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Perkolationstheorie (3 LP)	Geometrische Evolutionsgleichungen (3 LP)	Descriptive Linguistics (M.A. English Linguistics) (12 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie					
FS	**LP**	**Kernbereich Mathematik**			**Freier Wahlbereich**
1	30	Harmonische Analysis auf abelschen Gruppen (9 LP)	Kommutative Algebra (9 LP)	Seminar Vertiefungswissen Mathematik (3 LP)	Kern- und Teilchenphysik (B.Sc. Physik) (9 LP)
2	30	Harmonische Analyse auf allgemeinen Gruppen (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Algebraische Geometrie (9 LP)	Physik der Nanostrukturen (B.Sc. Physik) (9 LP)
3	30	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Mathematical Quantum Theory (9 LP)	Numerik stochastischer Differentialgleichungen (3 LP)	Mathematical Relativity (9 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Mathematische Physik					
FS	**LP**	**Kernbereich Mathematik**			**Freier Wahlbereich**
1	30	Mathematical Quantum Theory (9 LP)	Konvexe Geometrie (9 LP)	Seminar Vertiefungswissen Mathematik (3 LP)	Kondensierte Materie (B.Sc. Physik) (9 LP)
2	30	Mathematical Relativity (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Numerik stationärer Differentialgleichungen (9 LP)	Klassische Feldtheorie (B.Sc. Physik) (9 LP)
3	30	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Numerik instationärer Differentialgleichungen (9 LP)	Ausgewählte Kapiel aus der Theorie dynamischer Systeme (3 LP)	Wahrscheinlichkeitstheorie (9 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik					
FS	**LP**	**Kernbereich Mathematik**			**Freier Wahlbereich**
1	30	Optimierung mit Differentialgleichungen (9 LP)	Einführung in die partiellen Differentialgleichungen (9 LP)	$\mathrm{SL}_2(\mathbb{R})$ (3 LP)	Algorithmen (B.Sc. Informatik) (9 LP)
2	30	Stochastische Differentialgleichungen (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Algebraische Zahlentheorie (9 LP)	Machinelles Lernen: Algorithmen und Theorie (M.Sc. Informatik) (9 LP)
3	30	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Mathematische Statistik (9 LP)	Elastische Kurven (3 LP)	Modellierung und Simulation (M.Sc. Informatik) (9 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Stochastik					
FS	**LP**	**Kernbereich Mathematik**			**Freier Wahlbereich**
1	30	Stochastische Prozesse (9 LP)	Funktionalanalysis (9 LP)	$\mathrm{SL}_2(\mathbb{R})$ (3 LP)	Einführung in die partiellen Differentialgleichungen (9 LP)
2	30	Mathematische Statistik (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Computeralgebra (9 LP)	Mikroökonomie (B.Sc. Economics and Business Administration) (9 LP)
3	30	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Operatoralgebren (9 LP)	Geometrische Variationsprobleme (3 LP)	Makroökonomie (B.Sc. Economics and Business Administration) (9 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

2.4 Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen

Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen

		Prüfungsleistung				Lehrform				Semester			
		Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Gewichtung bei der Abschlussnote	Art der Lehrform	Status	SWS	Summe der ECTS-Punkte (LP)	Die Zuordnung der Prüfungen / ECTS-Punkte zu Semestern hat empfehlenden Charakter. Die Zuordnung von ECTS-Punkten zu Veranstaltungen haben informativen Charakter. Die Gutschrift von Leistungspunkten erfolgt erst nach Abschluss des Moduls.			
										1. LP	2. LP	3. LP	4. LP
Abschnitt 1: Studienschwerpunkt									**21**				
Hier müssen neben dem Modul Seminar Studienschwerpunkt Module im Umfang von 18 Leistungspunkten aus dem gewählten Studienschwerpunkt unter Beachtung der einschränkenden Vorgaben auf Seite 12 eingebracht werden. Im Folgenden ist eine mögliche Verteilung der Leistungspunkte auf die Fachsemester angegeben.													
1. Vertiefungsmodul aus dem Studienschwerpunkt								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4		6			
2.	Übung					Ü	o	2		3			
2. Vertiefungsmodul aus dem Studienschwerpunkt								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	f	4			6		
2.	Übung					Ü	f	2			3		
Seminar Studienschwerpunkt								2	3				
1.	Seminar	R	45–90	b	3	S	o	2			3		
Abschnitt 2: Vertiefungswissen Mathematik									**30–33**				
Hier können die Module im Umfang von 30–33 Leistungspunkten aus dem Angebot des Fachbereichs Mathematik unter Beachtung der einschränkenden Vorgaben auf Seite 14 eingebracht werden. Im Folgenden ist eine mögliche schematische Verteilung der Leistungspunkte auf die Fachsemester angegeben.													
Modul aus dem Angebot der Mathematischen Breitenbildung								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4		6			
2.	Übung					Ü	o	2		3			
1. Vertiefungsmodul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								2	3				
1.	Vorlesung	mP	20–30	b	3	V	o	2		3			
2. Vertiefungsmodul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4			6		
2.	Übung					Ü	o	2			3		
3. Vertiefungsmodul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90–120 o. 20–30	b	9	V	o	4				6	
2.	Übung					Ü	o	2				3	

Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen													
		Prüfungsleistung				**Lehrform**				**Semester**			
		Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Gewichtung bei der Abschlussnote	Art der Lehrform	Status	SWS	Summe der ECTS-Punkte (LP)	Die Zuordnung der Prüfungen / ECTS-Punkte zu Semestern hat empfehlenden Charakter. Die Zuordnung von ECTS-Punkten zu Veranstaltungen haben informativen Charakter. Die Gutschrift von Leistungspunkten erfolgt erst nach Abschluss des Moduls.			
										1. LP	2. LP	3. LP	4. LP
4. Vertiefungsmodul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								2	3				
1.	Vorlesung	mP	20–30	b	3	V	o	2				3	
Abschnitt 3: Freier Wahlbereich									**27–30**				
Hier können die Module im Umfang von 27–30 Leistungspunkten aus dem Angebot des Fachbereichs Mathematik und anderer Fachbereich unter Beachtung der einschränkenden Vorgaben auf Seite 14 eingebracht werden.													
Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten									**39**				
Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten									9				
1.	Projekt	Proj.		nb	9		o					9	
Abschlussmodul									30				
1.	Masterarbeit	MA		b	30		o						30

Erläuterung der Abkürzungen:
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform : V=Vorlesung, Proj.=Projektarbeit, Koll.=Kolloqium, Ü=Übungen, S=Seminar
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges : o.=oder, SWS=Semesterwochenstunden, LP=Leistungspunkte=ECTS-Punkte

3 Modulbeschreibungen

Abschnitt 1: Studienschwerpunkt

Im Abschnitt *Studienschwerpunkt* sind insgesamt Leistungen im Umfang von 21 Leistungspunkten zu erbringen. Dabei entfallen 3 Leistungspunkte auf das Modul *Seminar Studienschwerpunkt*. Im Rahmen dieses Moduls ist ein Seminar zu belegen, das inhaltlich dem persönlichen Studienschwerpunkt zugeordnet ist.

Die verbleibenden 18 Leistungspunkte sind durch Module aus der Liste der *Vertiefungsmodule* zu Vorlesungen mit oder ohne Übungen zu erbringen, die durch mündliche Prüfungen oder Klausuren abschließen. Inhaltlich müssen die Module dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkt zuzuordnen sein (siehe Modulbeschreibung). Module aus der Liste der Module zur Mathematischen Breitenbildung können hier nicht eingebracht werden. Auch können keine weiteren Seminare eingebracht werden oder Module, die durch andere als die angegebenen Leistungsüberprüfungen abschließen.

Modulnummer: **MAT-40-01**	**Modultitel:** Seminar Studienschwerpunkt		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	2-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Seminar, Vortrag, Präsentation, E-Learning, Blended Learning		
Modulinhalt	Verschiedene Themen aus dem gewählten Studienschwerpunkt.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich eigenständig vertiefende Fragestellungen aus dem Gebiet ihres Studienschwerpunktes und bereiten diese in einer didaktisch ansprechenden und wissenschaftlich fundierten Form vor. Sie schulen ihre Präsentationstechniken und schärfen ihren fachlichen Diskussionsstil. Je nach Wahl des Themas werden sie an aktuelle Forschungsfragen herangeführt und auf die Masterarbeit vorbereitet.		

<table>
<tr><td rowspan="3">Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td>Seminar</td><td>S</td><td>o</td><td>2</td><td>3</td><td>ja</td><td>R</td><td>60-90</td><td>b</td><td>100</td></tr>
<tr><td colspan="10">Der Erwerb der Leistungspunkte setzt neben einem erfolgreichen Vortrag auch die regelmäßige aktive Teilnahme an der Veranstaltung voraus, etwa in Form von Fragen und Diskussionsbeiträgen oder durch die Bearbeitung von Aufgaben. Zudem kann eine schriftliche Ausarbeitung des eigenen Vortrages oder das Erstellen eines Handouts für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu den zu erbringenden Leistungen gehören. Diese zusätzlichen Leistungen stellen die Studienleistung des Moduls dar.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="10">Der erfolgreiche Abschluss des Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme am Abschlussmodul M.Sc. Mathematik.</td></tr>
<tr><td>Teilnahmevoraussetzungen</td><td colspan="10">Die Teilnahme am Modul setzt den Erwerb von 9 Leistungspunkten aus Modulen des Studienschwerpunktes voraus.</td></tr>
<tr><td>Modulverantwortliche</td><td colspan="10">Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Abschnitt 2: Vertiefungswissen Mathematik

Im Abschnitt *Vertiefungswissen Mathematik* sind Leistungen im Umfang von 30–33 Leistungspunkten zu Modulen aus den Listen zur Mathematischen Breitenbildung oder zu Vertiefungsmodulen zu erbringen. Dabei sind folgende einschränkenden Vorgaben zu beachten:

- die Module müssen in anderen als dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkten einbringbar sein (siehe Modulbeschreibung);
- mindestens 27 Leistungspunkte müssen durch Module zu Vorlesungen mit oder ohne Übungen erbracht werden, die durch mündliche Prüfungen oder Klausuren abschließen;
- es müssen Module aus mindestens zwei voneinander und vom gewählten Studienschwerpunkt verschiedenen Studienschwerpunkten im Umfang von je mindestens 9 Leistungspunkten eingebracht werden;
- es dürfen maximal 9 Leistungspunkte zu Modulen aus der Liste der Module zur Mathematischen Breitenbildung eingebracht werden.

Durch die einschränkenden Vorgaben wird sichergestellt, dass das Profil des Studiengangs die nötige Breite hinsichtlich der studierten mathematischen Gebiete sowie innerhalb der einzelnen studierten Gebiete die notwendige Tiefe aufweist. Darüber hinaus bietet der Ansatz den Studierenden die Möglichkeit, ihr Studium sehr flexibel und individuell zu gestalten; und er bietet dem Fachbereich die Möglichkeit, immer wieder durch neue Angebote den aktuellen Entwicklungen innerhalb der Mathematik Rechnung zu tragen und ein stets interessantes Angebot bereit zu stellen.

Abschnitt 3: Freier Wahlbereich

Im Abschnitt *Freier Wahlbereich* sind Leistungen im Umfang von 27–30 Leistungspunkten zu erbringen. Auf Antrag können Angebote aus Studiengängen aller Fachbereiche der Universität Tübingen, den Studiengang Master of Science Mathematik eingeschlossen, eingebracht werden. Bei der Erstellung des Studien- und Prüfungsplans ist dabei darauf zu achten, dass die vorgesehene Wahl zu einem sinnvollen Gesamtprofil des Studiengangs beiträgt. Zudem sind folgende Anmerkungen zu beachten:

- es sollen Module im Umfang von mindestens 9 Leistungspunkten aus Studiengängen anderer Fachbereiche (nicht Mathematik) eingebracht werden;
- es können Module aus höchstens zwei Studiengängen anderer Fachbereiche eingebracht werden; Ausnahmen hiervon kann der Prüfungsausschuss in begründeten Fällen genehmigen;
- die Module aus den Studiengängen anderer Fachbereiche sollen auf den im Bachelor of Science eingebrachten Modulen aus Studiengängen anderer Fachbereiche aufbauen;
- aus dem Studiengang Master of Science Mathematik können auch Module aus der Liste von Modulen der Mathematischen Breitenbildung und Module aus dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkt eingebracht werden;
- die Noten der benoteten Module im Abschnitt Freier Wahlbereich gehen bei der Berechnung der Endnote nicht ein.

Die gemachten Einschränkungen sollen gewährleisten, dass die Studierenden in ihrem Gesamtstudium, bestehend aus dem Bachelor und dem Master of Science, über ihr Kernfach Mathematik hinaus Kompetenzen auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen und möglichen Anwendungsfeldern der Mathematik erwerben und dass sie dabei sinnvolle Schwerpunkte setzen. Abhängig von der individuellen Zielsetzung sollen die Studierenden dabei auch die Möglichkeit haben, ihr innermathematisches Wissen zu erweitern und u. U. fehlende Voraussetzungen im gewählten Studienschwerpunkt aus dem Bachelorstudium, die sich etwa bei einem Wechsel der Hochschule leicht ergeben können, im Rahmen des Masterstudiums nachholen zu können.

Welche Module in anderen Studiengängen angeboten werden, ist prinzipiell dem Modulhandbuch des jeweiligen Studiengangs zu entnehmen, ebenso wie die das jeweilige Modul betreffenden Informationen. Soweit Module aus Fächern gewählt werden, die noch nicht im Rahmen des Bachelorstudiums studiert wurden, finden sich im Modulhandbuch für den Bachelor of Science Mathematik für die am häufigsten gewählten Fächer Empfehlungen, welche Module ggf. als Einstieg in das jeweilige Fach geeignet sind. Weitere Informationen sind von den Studienfachberaterinnen und Studienfachberatern der jeweiligen Studiengänge erhältlich, siehe auch:

https://www.uni-tuebingen.de/studium/beratung-und-info/studienfachberatung.html

Modulnummer: MAT-00-14	**Modultitel:** Wissenschaftskommunikation in MINT Fächern		**Art des Moduls:** Wahlpflichtmodul
ECTS-Punkte	1		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 30 h	Kontaktzeit: 15 h	Selbststudium: 15 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	3-4		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Präsentation, Gruppenarbeit, blended learning, praktische Übungen.		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Einführung in Berufsfelder in der Wissenschaftskommunikation. • Praktisches Training in der Wissenschaftskommunikation.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die aktuelle Situation der Wissenschaftskommunikation und verschiedene Karrierewege in diesem Bereich. Sie sind vertraut mit den Herausforderungen der unterschiedlichen Formate und Medien (Printmedien, Museumspädagogik, interaktive Formate usw.). Zudem haben die Studierenden praktische Aspekte kennen gelernt, die für Wissenschaftskommunikatoren wichtig sind, wie freie Lizenzen und Beschäftigungsverhältnisse. Sie haben ihre Kompetenzen in verschiedenen Bereichen der Wissenschaftskommunikation durch praktische Übungen geschult.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Wissenschaftskommunikation in MINT Fächern	S	f	1	1	ja	keine	-	nb	-

Im Rahmen des Moduls ist eine Studienleistung in Form aktiver Teilnahme und einer schriftlichen Ausarbeitung zu einem Projekt zu erbringen. Das Modul schließt ohne Prüfung ab.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Sam Illingworth, Grant Allen: Effective science communication IOP Publishing 2016. • Beatrice Dernbach, Christian Kleinert, Herbert Münder: Handbuch Wissenschaftskommunikation. Springer 2013.
Verwendbarkeit	Das Modul ist im Abschnitt *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten

Der Abschnitt *Wissenschaftliches Arbeiten* bereitet die Studierenden in besonderer Weise auf das wissenschaftliche Arbeiten vor. Er enthält zwei Module.

Im Modul *Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten* werden die Studierenden inhaltlich an das Themenumfeld ihrer Masterarbeit herangeführt. Sie werden mit den wesentlichen Prinzipien der eigenständigen Literaturrecherche im wissenschaftlichen Kontext vertraut gemacht und lernen die wesentlichen Grundzüge des Schreibens wissenschaftlicher mathematischer Texte kennen. Neben der Projektarbeit ist der Reading Course als angeleitetes Lesen wissenschaftlicher Texte eine wesentliche Lehr-Lernform. Das *Abschlussmodul* stellt den Rahmen für die Erstellung der Masterarbeit und schließt mit dieser als Prüfungsleistung ab. In beiden Modulen sind Themen aus dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkt zu bearbeiten.

Modulnummer: **MAT-40-02**	**Modultitel:** Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten		**Art des Moduls:** Pflichtmodul
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 240 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Individuelle Betreuung, Studium wissenschaftlicher Arbeiten.		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Einarbeitung in ein Teilgebiet der Mathematik, das in aller Regel zum Themenfeld der Masterarbeit gehört. • Formulierung einer fortgeschrittenen wissenschaftlichen Aufgabenstellung in Abstimmung mit der Betreuerin oder dem Betreuer. • Eigenständige Suche und Studium relevanter wissenschaftlicher Literatur. • Formulierung spezifischer Fragestellungen und methodischer Ansätze zu deren Lösung. • Schriftliche Darstellung des Projekts im Kontext des aktuellen Forschungsstandes. Dieses Modul dient der Vorbereitung auf die Masterarbeit.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben gelernt, sich in ein neues Teilgebiet der Mathematik systematisch einzuarbeiten und die relevanten Fragestellungen und zentralen Methoden des Gebietes zu identifizieren. Sie sind in der Lage, die dargestellten Theorien und Ansätze kritisch zu hinterfragen und ansatzweise zu bewerten. Zudem sind sie vertraut mit den wesentlichen Prinzipien der eigenständigen Literaturrecherche in einem wissenschaftlichen Kontext und haben die wesentlichen Grundzüge des Schreibens wissenschaftlicher mathematischer Texte kennengelernt.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Wissenschaftliches Projekt	P	o	1	9	ja	-	-	nb	-

Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss dieses Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme am Abschlussmodul.
Teilnahmevoraussetzungen	Erwerb von mindestens 30 Leistungspunkten aus den Abschnitten Studienschwerpunkt und Vertiefungswissen Mathematik.
Modulverantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-40-03**	**Modultitel:** Abschlussmodul M.Sc. Mathematik	**Art des Moduls:** Pflichtmodul
ECTS-Punkte	30	
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 900 h / Kontaktzeit: 0 h	Selbststudium: 900 h
Moduldauer	1 Semester	
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester	
Fachsemester	4	
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch	
Lehr- / Lernformen	Masterarbeit	
Modulinhalt	Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Studierenden haben unter Anleitung durch eine Betreuerin oder einen Betreuer eine begrenzte Aufgabenstellung aus der Mathematik, die sie an die aktuelle Forschung heranführt, mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten und schriftlich darzustellen. Im Einzelnen umfasst dies: • die Formulierung einer wissenschaftlichen Fragestellung in Abstimmung mit der Betreuerin oder dem Betreuer; • die eigenständige Suche nach und das Studium von relevanter wissenschaftlicher Literatur; • die Formulierung geeigneter Fragestellungen und methodischer Ansätze zu deren Lösung; • die eigenständige Durchführung des Projekts, die schriftliche Darstellung des Projekts und der Ergebnisse im Kontext des aktuellen Forschungsstandes. Die Ergebnisse sollen zur wissenschaftlichen Erkenntnis beitragen.	
Qualifikationsziele	Die Studierenden • sind in der Lage, sich innerhalb einer vorgegebenen Frist in eine Problemstellung, die bis an die aktuelle Forschung heranreicht, einzuarbeiten und eigenständig einen Lösungsansatz zu entwickeln, • können geeignete wissenschaftliche Methoden zunehmend selbständig anwenden und die Ergebnisse in wissenschaftlich angemessener Form darstellen, • können ein wissenschaftliches Thema selbständig bearbeiten und dabei ihr mathematisches Methodenwissen anwenden, • vertiefen ihre Problemlösekompetenz und können ihr Methodenwissen transferieren, • können die Ergebnisse ihres Projektes einem Fachpublikum präsentieren.	

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Masterarbeit	MA	o	-	30	nein	MA	-	b	100

Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Fachliche Zulassungsvoraussetzung für die Zulassung zum Abschlussmodul ist neben den im Allgemeinen Teil der Studien- und Prüfungsordnung genannten Voraussetzungen der erfolgreiche Abschluss des Moduls Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten, der Erwerb der 21 Leistungspunkte aus dem Studienschwerpunkt sowie von weiteren mindestens 30 Leistungspunkten.
Modul-verantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Module vom Typ Mathematische Breitenbildung

Bei den Modulen zur *Mathematischen Breitenbildung* handelt es sich überwiegend um Einführungsveranstaltungen in je ein weiterführendes Gebiet der Mathematik. Viele dieser Gebiete können im Rahmen der angebotenen Studienschwerpunkte vertieft werden. Die den Modulen zugrundeliegenden Veranstaltungen können auch in den Modulen des dritten Studienjahres im Studiengang Bachelor of Science Mathematik eingebracht werden. Wurden die Lehrveranstaltungen bereits im Rahmen eines Moduls im Bachelor of Science Mathematik eingebracht, kann das Modul im Master of Science Mathematik nicht mehr eingebracht werden. Den Modulbeschreibungen ist zu entnehmen, welchen Studienschwerpunkten das jeweilige Modul zugeordnet ist; dabei kann die Zuordnung von der Belegung weiterer Module abhängig sein.

Die Modulbeschreibungen auf den folgenden Seiten sind sortiert nach Modulnummern. Der Übersichtlichkeit halber geben wir zunächst hier eine Auflistung der Module nach ihrem Titel in alphabetischer Reihenfolge und sortiert danach, ob sie in regelmäßigem Turnus oder unregelmäßig angeboten werden. Anschließend werden noch Auflistungen der Module nach Einbringbarkeit in den Studienschwerpunkten gegeben.

Module, die in regelmäßigem Turnus (mindestens alle zwei Jahre) angeboten werden

Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden

Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Mathematische Physik einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Stochastik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Stochastik einbringbar.

Modulbeschreibungen (Mathematische Breitenbildung)

Modulnummer: **MAT-30-30**	**Modultitel:** Seminar mathematische Bereiche		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Seminar, Vortrag, Präsentation, E-Learning, Blended Learning		
Modulinhalt	Verschiedene Themen aus den weiterführenden Bereichen der Mathematik.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich eigenständig ein zusammenhängendes Thema der Mathematik und bereiten dies in einer didaktisch ansprechenden Form vor. Sie lernen, wie man vor einer Gruppe ihre Arbeit präsentiert, wie man auf sachliche Fragen eingeht und wie man eine fachliche Diskussion führt. Sie erlernen außerdem ein technisch anspruchsvolles Schreibprogramm und stellen damit ein digitales Medium her, welches auch später noch als Lehr- und Lernform eingesetzt werden kann.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Seminar	S	o	2	3	ja	R	60-90	b	100

Der Erwerb der Leistungspunkte setzt neben einem erfolgreichen Vortrag auch die regelmäßige aktive Teilnahme an der Veranstaltung voraus, etwa in Form von Fragen und Diskussionsbeiträgen oder durch die Bearbeitung von Aufgaben. Zudem kann eine schriftliche Ausarbeitung des eigenen Vortrages oder das Erstellen eines Handouts für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu den zu erbringenden Leistungen gehören. Diese zusätzlichen Leistungen stellen die Studienleistung des Moduls dar.

Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Teilnahmevoraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-45-01**	**Modultitel:** Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester (im Wechsel mit dem Modul MAT-45-02)		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Ringe und Ideale. • Gröbnerbasen. • Lokalisierung. • Noethersche Ringe und Moduln. • Ganze Ringerweiterungen. • Krullscher Hauptidealsatz und Dimensionstheorie. • Hilbertscher Nullstellensatz und Noether-Normalisierung. • Affine Varietäten, Zariski-Topologie, Morphismen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben zentrale Begriffe, Ergebnisse und Methoden der kommutativen Algebra und der affinen algebraischen Geometrie kennengelernt. Dabei haben sie das tiefliegende Wechselspiel von Algebra und Geometrie am Beispiel der affinen Varietäten erlebt. Die Studierenden erkennen zudem, wie das Einnehmen eines höheren Standpunktes, sprich die Abstraktion der Problemstellung, es erlaubt, auf den ersten Blick vollkommen verschiedene Fragestellungen gleichzeitig zu behandeln und zu lösen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Michael Francis Atiyah, Ian G. Macdonald: Introduction to commutative algebra. Addison Wesley 1969.
- David A. Cox, John B. Little, Donal O'Shea: Ideals, varieties, and algorithms. Springer 2008.
- David Eisenbud: Commutative algebra with a view toward algebraic geometry. Springer 1995.
- Ernst Kunz: Einführung in die kommutative Algebra und algebraische Geometrie. Vieweg 1980.
- Miles Reid: Undergraduate Commutative Algebra. Cambridge University Press 1997.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Kommutative Algebra' eingebracht werden.

Teilnahmevoraussetzungen

Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.

Modulverantwortliche

Jürgen Hausen

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-45-02</td><td colspan="2">Modultitel:
Kommutative Algebra</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig im Wintersemester (im Wechsel mit dem Modul MAT-45-01)</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
Ringe und Ideale.
Lokalisierung und lokale Ringe.
Noethersche und Artinsche Ringe und Moduln.
Ganze Ringerweiterungen und die Cohen-Seidenberg Sätze.
Krullscher Hauptidealsatz und Dimensionstheorie.
Primärzerlegung.
Normalität, Regularität und Diskrete Bewertungsringe.
Hilbertscher Nullstellensatz und Noether-Normalisierung.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der kommutativen Algebra kennengelernt. Sie haben dabei erste Einblicke in innermathematische Anwendungsfelder der Theorie erhalten und sie erkennen, wie das Einnehmen eines höheren Standpunktes, sprich die Abstraktion der Problemstellung, es erlaubt, auf den ersten Blick vollkommen verschiedene Fragestellungen gleichzeitig zu behandeln und zu lösen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Kommutative Algebra	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Michael Francis Atiyah, Ian G. Macdonald: Introduction to commutative algebra. Addison Wesley 1969.
- David A. Cox, John B. Little, Donal O'Shea: Ideals, varieties, and algorithms. Springer 2008.
- David Eisenbud: Commutative algebra with a view toward algebraic geometry. Springer 1995.
- Ernst Kunz: Einführung in die kommutative Algebra und algebraische Geometrie. Vieweg 1980.
- Miles Reid: Undergraduate Commutative Algebra. Cambridge University Press 1997.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie' eingebracht werden.

Teilnahmevoraussetzungen

Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.

Modulverantwortliche

Victor Batyrev, Thomas Markwig

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-45-22**	**Modultitel:** Zahlentheorie und Kryptographie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • RSA-Kryptosystem, Primzahltests, AKS-Algorithmus. • Faktorisierungsverfahren, Zahlkörpersieb. • Quadratische Reziprozität in der Kryptographie. • Berechnung des diskreten Logarithmus. • Dynamische Systeme und die Pollard-Rho-Methode. • Elliptische-Kurven-Kryptographie. • Gitter und Post-Quanten-Kryptographie. • Zero-Knowledge-Beweis, digitale Signaturen und Hashfunktionen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die grundlegenden Begriffe der elementaren Zahlentheorie und ihre Anwendungen auf die Kryptographie kennengelernt. Sie haben ihre Kenntnisse über Nachbardisziplinen vertieft und erweitert: Sie begegnen Methoden der Theorie dynamischer Systeme und lernen elliptische Kurven über endlichen Körpern kennen. Sie verstehen, wie grundlegende kryptographische Protokolle funktionieren. Durch die Beschäftigung mit zahlreichen offenen Problemen der Kryptographie, deren Lösungsansätze überraschenderweise aus unterschiedlichsten Bereichen der Mathematik stammen können, üben die Studierenden kritisch zu denken. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

<table>
<tr><td rowspan="4">Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Number Theory and Cryptography</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="10">In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="10">Exemplarische Literatur:
• Jeffrey Hoffstein, Jill Pipher, Joseph H. Silverman: An introduction to mathematical cryptography. Springer 2008.
• Stefan Müller-Stach, Jens Piontkowski: Elementare und algebraische Zahlentheorie. Vieweg+Teubner 2011.
• Joseph H. Silverman, John T. Tate: Rational points on elliptic curves. Springer 1992.
• Nigel Smart: Cryptography: An introduction. McGraw-Hill 2003. (online version: https://www.cs.bris.ac.uk/~nigel/Crypto_Book/).
• Lawrence C. Washington: Elliptic curves: Number theory and cryptography. Chaman & Hall/CRC 2008.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="10">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahmevoraussetzungen</td><td colspan="10">Die Inhalte des Moduls Algebra aus dem Studiengang Bachelor of Science werden vorausgesetzt.</td></tr>
<tr><td>Modulverantwortliche</td><td colspan="10">Elena Klimenko, Thomas Markwig</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-01	**Modultitel:** Geometrie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Axiomatische Grundlegung der ebenen Geometrie. • Euklidische und nicht-euklidische Geometrie. • Parametrisierte Kurven und Flächen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden vertiefen die axiomatische Denkweise und können präzise beweisen. Sie kennen die Grundprinzipien der Geometrie, sind in der Lage, konkrete Probleme zu lösen und kennen die Grundzusammenhänge zwischen Geometrie und Topologie. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Michele Audin: Geometry. Springer 2003. • Marcel Berger: Geometry Revealed: A Jacob's Ladder to Modern Higher Geometry. Springer 2010. • David A. Brannan, Matthew F. Esplen, Jeremy J. Gray: Geometry. Cambridge University Press 2012. • John Stillwell: The four pillars of geometry. Springer 2005.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum, Christoph Bohle, Hannah Markwig, Ivo Radloff

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-02	**Modultitel:** Konvexe Geometrie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Kegel, Polytope, Polyeder, Fächer, Polyederkomplexe. • Normalenfächer von Polygonen. • Triangulierungen, Unterteilungen, Sekundärfächer, Diskriminanten.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen in der Vorlesung grundlegende Begriffe, Ergebnisse und Methoden der konvexen Geometrie kennen. Sie entwickeln ein vertieftes Verständnis für den Begriff der Dualität mathematischer Objekte am Beispiel von Polytopen und Fächern. Ferner schulen sie ihr geometrisches Anschauungs- und ihr räumliches Vorstellungsvermögen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Konvexe Geometrie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Günter M. Ziegler: Lectures on Polytopes. Springer 1998.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Hannah Markwig

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-10	**Modultitel:** Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Mannigfaltigkeiten und Untermannigfaltigkeiten. • Vektorfelder und Flüsse. • Metriken, Grundlagen der Riemannschen Geometrie. • Vektorbündel und Zusammenhänge. • Komplexe Strukuren. • Satz von Gauß-Bonnet auf Flächen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe der reellen und komplexen Differentialgeometrie und die grundlegenden Techniken im Umgang mit ihnen. Sie sind zu einem vertieften Verständnis insbesondere der Differential- und Integralrechnung gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie die mathematischen Konzepte in natürlicher Weise in der Geometrie Anwendung finden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe unten		

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Sylvestre Gallot, Dominique Hulin, Jacques Lafontaine: Riemannian Geometry. Springer 2004. • John M. Lee: Introduction to Smooth Manifolds. Springer 2012. • Liviu I. Nicolaescu: Lectures On The Geometry Of Manifolds. World Scientific 1996. • Clifford Henry Taubes: Differential Geometry: Bundles, Connections, Metrics and Curvature. Oxford University Press 2011.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Geometry in Physics' und 'Einführung in die Differentialgeometrie' eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Christoph Bohle, Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-20	**Modultitel:** Topologie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	6		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Rückblick auf metrische Räume: Abgeschlossene Mengen, Umgebung, Stetigkeit, vollständige metrische Räume, Kompaktheit in metrischen Räumen. • Mengentheoretische Topologie: Topologische Räume, Stetigkeit und Konvergenz, Kompaktheit, Trennungsaxiome. • Räume stetiger Funktionen: Das Lemma von Urysohn und Anwendungen, Stone-Cech-Kompaktifizierung, der Satz von Stone-Weierstraß, Konvergenzbegriffe in Funktionenräumen, Kompaktheit in Funktionenräumen. • Bairesche Räume und die Anwendung der Baireschen Theorie: Bairesche Funktionenklassen, Existenzsätze. • Ausblick auf die algebraische Topologie.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der mengentheoretischen Topologie kennengelernt und verstanden, dass man mit Hilfe dieser Theorie viele Phänomene in verschiedenen Teilgebieten der Mathematik beschreiben kann. Sie vernetzen so ihr Wissen zu sehr unterschiedlichen Teilgebieten der Mathematik. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe unten		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Topologie	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Felix Hausdorff: Grundzüge der Mengenlehre. Von Veit & Comp. 1914. • Boto von Querenburg: Mengentheoretische Topologie. Springer 2001. • Volker Runde: A Taste of Topology. Springer 2005.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* sowie *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es sind keine weiteren Voraussetzungen erforderlich.
Modulverantwortliche	Rainer Nagel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-50-21**	**Modultitel:** Algebraische Topologie 1		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Mengentheoretische Topologie. • Grundlagen der Kategorientheorie. • Die Fundamentalgruppe eines punktierten topologischen Raumes. • Überlagerungstheorie. • Grundlagen der singulären Homologietheorie. • Anwendungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erlernen, wie man Ideen in der Topologie, z. B. das Detektieren von Löchern bei topologischen Räumen, auch mit einer anspruchsvollen Technik in eine präzise Theorie umsetzen kann. Dabei erkennen sie insbesondere, wie abstrakte Begriffsbildungen, z. B. aus der Kategorientheorie und der Homologischen Algebra, effektive Sprechweisen zur Verfügung stellen, die es ermöglichen, die Ideenbildung auch adäquat umzusetzen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algebraische Topologie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Allen Hatcher: Algebraic topology. Cambridge University Press 2009. • Horst Schubert: Topologie. Teubner 1971. • Edwin H. Spanier: Algebraic topology. McGraw-Hil 1966. • Ralph Stöcker, Heiner Zieschang: Algebraische Topologie. Teubner 1994.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar, Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-01	**Modultitel:** Funktionalanalysis		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Normierte Räume, Banachräume, Dualräume. • Satz von Hahn-Banach, Prinzip der gleichmäßigen Beschränktheit. • Satz vom abgeschlossenen Graphen, Satz der offenen Abbildung, Satz von Banach-Alaoglu. • Kompakte Operatoren, normale Operatoren, Spektralsätze.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken der Theorie unendlichdimensionaler Räume und können sie auf Probleme aus der Analysis und Geometrie anwenden. Sie verstehen die Problematik der Spektraltheorie und können ihre Aussagen zur Lösung analytischer Probleme nutzen. Die Studierenden sind zudem in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Funktionalanalysis	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Nicolas Bourbaki: Topological vector spaces. Springer 1987. • Adam Bowers, Nigel Dalton: An introductory course in functional analysis. Springer 2014. • Harro Heuser: Funktionalanalysis. Teubner 2006. • Markus Haase: Functional analysis. American Mathematical Society 2014. • Peter D. Lax: Functional analysis. Wiley 2002. • Gert Kjaergaard Pedersen: Analysis now. Springer 1995. • Walter Rudin: Functional analysis. McGraw-Hill 1991. • Dirk Werner: Funktionalanalysis. Springer 2011. • Kosaku Yosida: Functional analysis. Springer 1995. • Hans Wilhelm Alt: Lineare Funktionalanalysis. Springer 2012.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt *Numerische Mathematik* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Carla Cederbaum, Anton Deitmar, Gerhard Huisken, Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-03</td><td colspan="2">Modultitel:
Operatorentheorie</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Operatorhalbgruppen und abstrakte Cauchyprobleme.
• Satz von Hille-Yosida.
• Anwendungen auf konkrete Evolutionsgleichungen.
• Spektraltheorie von Halbgruppen und deren Generatoren.
• Asymptotik von Halbgruppen.
• Anwendungen:
– Halbgruppen der gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen;
– Halbgruppen für das Transportproblem;
– Halbgruppen in der Kontrolltheorie.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben das Konzept der operatorwertigen Exponentialfunktion verstanden. Sie sind dann in der Lage, konkrete Evolutionsgleichungen in dieser abstrakten Form zu behandeln. Sie können mittels des Hille-Yosida Theorems Wohlgestelltheit beweisen und qualitatives Verhalten der Lösungen diskutieren. Die Studierenden sind zudem in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Operatorentheorie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Bruce Blackadar: Operator algebras. Springer 2006.
- Klaus Jochen Engel, Rainer Nagel: One-parameter semigroups for linear evolution equations. Springer 2000.
- Klaus Jochen Engel, Rainer Nagel: A short course on operator semigroups. Springer 2006.
- Gert Pedersen: Analysis now. Springer 1995.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.

Modulverantwortliche

Anton Deitmar, Rainer Nagel, Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-55-21**	**Modultitel:** Einführung in Partielle Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Harmonische Funktionen. • Maximumprinzipien. • Sobolev-Räume. • L^2-Theorie. • Wichtige Beispiele (Laplace-Gleichung, Wellengleichung, Wärmeleitungsgleichungen). • Fundamentallösungen (elliptische Situation). • Schwache Lösungen elliptischer Gleichungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ein zentrales Gebiet der Analysis kennengelernt, dessen Begriffe und Methoden grundlegend für viele andere Gebiete sind, etwa für die Numerik und die Stochastik. Des Weiteren werden auch Evolutionsgleichungen thematisiert, die starke Verbindungen zur Geometrie haben. Die Studierenden sind mit den zentralen Begriffen, Ergebnissen und Methoden der Linearen Partiellen Differentialgleichungen vertraut und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einführung in Partielle Differentialgleichungen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Lawrence C. Evans: Partial differential equations. American Mathematical Society 2010. • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic partial differential equations of second order. Springer 2001. • Olga A. Ladyzenskaja, Vsevolod A. Solonnikov, Nina N. Uralceva: Linear and quasilinear equations of parabolic type. AMS 1968.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt *Numerische Mathematik* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Gerhard Huisken, Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-55-31**	**Modultitel:** Dynamische Systeme		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Die Keplerschen Gesetze. • Gleichgewichtslagen. • Stabilität. • Räuber-Beute-Modell. • Satz von Poincaré-Bendixson. • Limesmengen. • Periodische Bahnen. • Himmelsmechanik.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden können qualitative Fragen über die Lösungen von gewöhnlichen Differentialgleichungen stellen und untersuchen, wie z. B.: Wie lange existiert die maximale Lösung? Gibt es Gleichgewichtslagen oder periodische Bahnen? Wann sind Bahnen stabil? Sie sind mit den dafür notwendigen Techniken vertraut. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Dynamische Systeme	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Morris W. Hirsch, Stephen Smale: Differential equations, dynamical systems, and linear algebra. Academic Press 1974. • Vladimir I. Arnold: Mathematical methods of classical mechanics. Springer 2010. • Carl Ludwig Siegel, Jürgen Moser: Lectures on celestial mechanics. Springer 1995.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-41</td><td colspan="2">Modultitel:
Einführung in Geometrische Maßtheorie</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Maße, Überdeckungssätze, Differentiation von Maßen, Hausdorff-Maße und -Dichten.
• Isodiametrische Ungleichung.
• Sätze von Rademacher und Whitney.
• Flächen- und Koflächenformel.
• Abzählbar rektifizierbare Mengen, rektifizierbare Varifaltigkeiten.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben ein wichtiges mathematisches Gebiet kennengelernt, das Analysis und Geometrie verbindet und dessen Begriffe und Methoden bei verschiedenen Problemen erfolgreich angewandt werden können. Sie haben die grundlegenden Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Geometrischen Maßtheorie kennengelernt und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Einführung in Geometrische Maßtheorie</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180
o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
</table>

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Lawrence C. Evans, Ronald F. Gariepy: Measure theory and fine properties of functions. CRC Press 1992. • Herbert Federer: Geometric measure theory. Springer 1969. • Leon Simon: Lectures on geometric measure theory. Australian National University 1984.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-51	**Modultitel:** Lie-Gruppen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Mannigfaltigkeiten und Lie-Gruppen. • Lie-Algebren und Exponentialabbildung. • Überlagerungen und Klassifikation von Lie-Gruppen durch ihre Lie-Algebren. • Klassische Lie-Gruppen. • Operationen von Lie-Gruppen und Homogene Räume.		
Qualifikationsziele	Lie-Gruppen liegen an der Schnittstelle zwischen Geometrie, Algebra und Analysis. Sie sind geeignet, Symmetrien von geometrischen Objekten, aber auch algebraischen Gleichungen oder Lösungen von Differentialgleichungen zu beschreiben, insbesondere, wenn diese Symmetrien eine kontinuierliche Schar bilden. Die Studierenden lernen hier an einem prominenten Beispiel, wie verschiedene Disziplinen der Mathematik außerordentlich erfolgreich zusammenwirken können und wie ein überzeugender Formalismus entwickelt wird, der eine Vielzahl von Symmetriephänomenen präzise beschreiben kann. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Lie-Gruppen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Joachim Hilgert, Karl-Hermann Neeb: Liegruppen und Lie-Algebren. Vieweg 1991. • Gerhard P. Hochschild: The structure of Lie groups. Holden-Day 1965. • Frank W. Warner: Foundations of differentiable manifolds and Lie groups. Springer 1983.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Anton Deitmar, Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-60	**Modultitel:** Einführung in die Mathematische Logik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Aussagenlogik. • Sprachen erster Stufe: – Vollstandigkeit und Kompaktheit. • Berechenbarkeitstheorie: – Registermaschinen; – Gödelisierung. • Unvollstaendigkeit der Arithmetik: – erster und zweiter Unvollständigkeitssatz. • Mengenlehre: – Ordinal- und Kardinalzahlen; – Unvollständigkeit der Mengenlehre.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden können mathematische Sätze und Theorien im Kontext mathematischer Logik erfassen. Sie verstehen die Grenzen möglicher mathematischer Erkenntnis, erkennen den Unterschied zwischen Wahrheit und Beweisbarkeit und können grundlegende modelltheoretische Denkweisen auf mathematische Inhalte anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einführung in die Mathematische Logik	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Rautenberg, Wolfgang: Einführung in die Mathematische Logik. Vieweg+Teubner 2008. • Ziegler, Martin: Mathematische Logik. Birkhäuser 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul ist keinem Studienschwerpunkt zuzuordnen. Es ist gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-65-01**	**Modultitel:** Einführung in Mathematische Physik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:
Einführung in grundlegende Konzepte der mathematischen Modellierung physikalischer Phänomene. Themen sind insbesondere:

- Hamiltonsche Differentialgleichungen und Flüsse;
- Lagrangesche Mechanik und Variationsprinzipien;
- die Wärmeleitungsgleichung;
- die freie Schrödingergleichung;
- Fourierreihen.

Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen und verstehen die genannten mathematischen Begriffe und ihre Bedeutung für die Modellierung physikalischer Phänomene. Sie verstehen insbesondere, wie sich physikalische Begriffe und Sprechweisen in den mathematische Modellen wiederfinden und präzisieren lassen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einführung in Mathematische Physik	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Andreas Knauf: Mathematische Physik: Klassische Mechanik. Springer 2012. • Walter Thirring: Lehrbuch der Mathematischen Physik 1. Springer 1988. • Helmut Fischer, Helmut Kaul: Mathematik für Physiker 2. Springer Spektrum 2014.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Christian Hainzl, Stefan Teufel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-11	**Modultitel:** Geometry in Physics		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben		
Modulinhalt	Das Modul beinhaltet eine Einführung in grundlegende Methoden der Differentialgeometrie und ihre Bedeutung in der Physik. Themen sind insbesondere Mannigfaltigkeiten, Differentialformen, Riemannsche Metriken und zugehörige Krümmungsbegriffe, Riemannsche Geometrie von Untermannigfaltigkeiten, reelle Vektorbündel und Zusammenhänge. Es werden beispielhaft Anwendungen in der Physik genannt.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe der Differentialgeometrie und die grundlegenden Techniken im Umgang mit ihnen. Sie sind zu einem vertieften Verständnis insbesondere der Differential- und Integralrechnung gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie die mathematischen Konzepte in natürlicher Weise in physikalischen Theorien Anwendung finden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometry in Physics	V	o	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	o	2	3					

Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- John Lee: Introduction to smooth manifolds. Springer 2012.
- John Lee: Riemannian manifolds: An introduction. Springer 1997.
- Chris Isham: Modern differential geometry for physicists. World Scientific 1999.
- Mikio Nakahara: Geometry, Topology and Physics. IOP Publishing 2003.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1' und 'Einführung in die Differentialgeometrie' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Christoph Bohle, Carla Cederbaum, Stefan Teufel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-70-01**	**Modultitel:** Algorithmen der Numerischen Mathematik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:
Weiterführende, große Algorithmen der Numerik (ohne Differentialgleichungen), wie etwa:

- Schnelle Fourier-Transformation;
- QR-Algorithmus zur Berechnung von Eigenwerten;
- Verfahren der konjugierten Gradienten und allgemeinere Krylov-Raumverfahren als iterative Verfahren in der numerischen Linearen Algebra und in der nichtlinearen Optimierung;
- Simplex-Verfahren und Innere-Punkt-Verfahren in der linearen Optimierung.

Qualifikationsziele

Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der algorithmischen Numerischen Mathematik kennengelernt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algorithmen der Numerischen Mathematik	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Peter Deuflhard, Andreas Hohmann: Numerische Mathematik 1. De Gruyter 2008. • Martin Hanke-Bourgeois: Grundlagen der Numerischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens. Vieweg+Teubner 2009.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Numerische Mathematik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Christian Lubich, Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-70-21**	**Modultitel:** Nichtlineare Optimierung		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Endlich-dimensionale Optimierung, Gradientenverfahren mit Armijos Regel, globalisiertes Newton-Verfahren. • Restringierte Optimierung, Lemma von Farkas, Tangentialkegel. • Abadie CQ, KKT Bedingungen, Slater Bedingungen. • Lineares Programm, Dualität, Simplexverfahren. • Penalty- und Barrieremethoden, Innere Punkte Verfahren. • Nichtlineare Programme, SQP Verfahren, nichtglatte Optimierung.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur Analysis und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Nichtlineare Optimierung	V	f	4	6	ja	mP	20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Carl Geiger, Christian Kanzow: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben. Springer 2002.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Numerische Mathematik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-75-01**	**Modultitel:** Wahrscheinlichkeitstheorie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Charakteristische Funktionen und Ergänzungen zum Zentralen Grenzwertsatz. • Bedingte Erwartungen und weitere maßtheoretische Grundlagen. • Markovketten und Martingale in diskreter Zeit, Klassifikation, Asymptotik, Stoppzeiten, Stationarität, Ergodizität. • Einführung in Prozesse in kontinuierlicher Zeit wie Poissonprozesse und Brownsche Bewegung.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie kennengelernt. Sie können maßtheoretisch fundiert grundlegende stochastische Abhängigkeitsstrukturen von Zufallsgrößen wahrscheinlichkeitstheoretisch modellieren, analysieren und interpretieren. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Wahrscheinlichkeitstheorie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

<table>
<tr><td>Literatur</td><td>Exemplarische Literatur:
Heinz Bauer: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie. De Gruyter 2010.
Richard Durrett: Probability, Theory and Examples. Cambridge University Press 2010.
Hans-Otto Georgii: Stochastik. De Gruyter 2009.
Jean Jacod, Philip E. Protter: Probability essentials. Springer 2004.
Olav Kallenberg. Foundations of Modern Probability. Springer 2002.
Achim Klenke: Wahrscheinlichkeitstheorie. Springer 2013.
David Meintrup, Stefan Schäffler: Stochastik. Springer 2005.
Albert N. Shiryaev: Probability-1. Springer 2016.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td>Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Stochastik. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td>Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.</td></tr>
<tr><td>Modul-verantwortliche</td><td>Martin Möhle, Martin Zerner</td></tr>
<tr><td colspan="2">Erläuterung der Abkürzungen:
Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden</td></tr>
</table>

Modulnummer: MAT-75-02	**Modultitel:** Kombinatorik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Erzeugende Funktionen, Rekursionen, Grundlegende Zählkoeffizienten. • Kombinatorische Identitäten, Euler-Maclaurinsche Summenformel. • Permutationen, Mengen- und Zahlpartitionen, Transfermatrix-Methode. • Halbordnungen, Verbände, Möbius-Inversion. • Methode von Polya, Symbolische Kombinatorik.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die Verwendung von grundlegenden kombinatorischen Methoden erlernt. Sie können diskrete Strukturen analysieren und Zählaufgaben lösen, sowie bekannte Identitäten anwenden und mit Zählkoeffizienten umgehen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Kombinatorik	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Martin Aigner: Combinatorial theory. Springer 1997. • Martin Aigner: A Course in Enumeration. Springer 2007. • Richard P. Stanley: Enumerative combinatorics. Volume 1. Cambridge University Press 2011. • Francois Bergeron, Gilbert Labelle, Pierre Leroux. Combinatorial species and tree-like structures. Cambridge University Press 1998.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Martin Möhle, Martin Zerner, Elmar Teufl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Module vom Typ Vertiefungsmodule

Bei den hier aufgeführten *Vertiefungsmodulen* handelt es sich um Module, die inhaltlich eines oder mehrere der Module zur Mathematischen Breitenbildung voraussetzen und die dort erworbenen Kenntnisse und Kompetenzen vertiefen. Sofern inhaltliche Abhängigkeiten zu solchen Modulen oder auch untereinander bestehen, wird auf diese in den jeweiligen Modulbeschreibungen hingewiesen. Es wird darauf verzichtet, den erfolgreichen Abschluss bestimmter Module vorauszusetzen, um das Studium im Falle des Fehlens einzelner Prüfungsleistungen nicht zu verzögern. Die den Modulen zugrundeliegenden Veranstaltungen können z. T. auf begründeten Antrag in Modulen des dritten Studienjahres im Studiengang Bachelor of Science Mathematik eingebracht worden sein. Wurden die Lehrveranstaltungen bereits im Rahmen eines Moduls im Bachelor of Science Mathematik eingebracht, kann das Modul im Master of Science Mathematik nicht mehr eingebracht werden. Den Modulbeschreibungen ist zu entnehmen, welchen Studienschwerpunkten das jeweilige Modul zugeordnet ist; dabei kann die Zuordnung von der Belegung weiterer Module abhängig sein.

Die Modulbeschreibungen auf den folgenden Seiten sind sortiert nach Modulnummern. Der Übersichtlichkeit halber geben wir zunächst hier eine Auflistung der Module nach ihrem Titel in alphabetischer Reihenfolge und sortiert danach, ob sie in regelmäßigem Turnus oder unregelmäßig angeboten werden. Anschließend werden noch Auflistungen der Module nach Einbringbarkeit in den Studienschwerpunkten gegeben.

Module, die in regelmäßigem Turnus (mindestens alle zwei Jahre) angeboten werden

Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden

Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Mathematische Physik einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik einbringbar.

Module im Studienschwerpunkt Stochastik

Die folgenden Module sind, ggf. unter einschränkenden Voraussetzungen (siehe Modulbeschreibung, Verwendbarkeit), im Studienschwerpunkt Stochastik einbringbar.

Modulbeschreibungen (Vertiefungsmodule)

Modulnummer: MAT-40-11	**Modultitel:** Seminar Vertiefungswissen Mathematik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	2-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Seminar, Vortrag, Präsentation, E-Learning, Blended Learning		
Modulinhalt	Verschiedene Themen aus den Studienschwerpunkten des Studiengangs.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich eigenständig vertiefende Fragestellungen aus dem Gebiet eines der Studienschwerpunkte des Studiengangs und bereiten diese in einer didaktisch ansprechenden und wissenschaftlich fundierten Form vor. Sie schulen ihre Präsentationstechniken und schärfen ihren fachlichen Diskussionsstil.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Seminar	S	o	2	3	ja	R	60-90	b	100

Der Erwerb der Leistungspunkte setzt neben einem erfolgreichen Vortrag auch die regelmäßige aktive Teilnahme an der Veranstaltung voraus, etwa in Form von Fragen und Diskussionsbeiträgen oder durch die Bearbeitung von Aufgaben. Zudem kann eine schriftliche Ausarbeitung des eigenen Vortrages oder das Erstellen eines Handouts für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu den zu erbringenden Leistungen gehören. Diese zusätzlichen Leistungen stellen die Studienleistung des Moduls dar.

Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-45-03	**Modultitel:** Computeralgebra		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Normalformen und Standardbasen für Ideale und Moduln. • Berechnung wichtiger Operationen für Ideale und Moduln. • Syzygien, freie Auflösungen und der Beweis des Buchberger-Kriteriums. • Berechnung der Primärzerlegung von Idealen. • Hilbertfunktion.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen wichtige Problemstellungen im Wechselspiel der Kommutativen Algebra und der Algebraischen Geometrie sowie algorithmische Zugänge zu deren Lösung. Sie sind insbesondere mit der Theorie der Standardbasen und ihrer vielfältigen Anwendungen vertraut. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten. Zudem haben sie wichtige Softwarepakete im Bereich des symbolischen Rechnens kennengelernt und haben selbst Algorithmen in diesen implementiert.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Computeralgebra	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Gert-Martin Greuel, Gerhard Pfister: A SINGULAR Introduction to Commutative Algebra. Springer 2008. • Wolfram Decker, Christoph Lossen: Computing in algebraic geometry. a quick start using SINGULAR. Springer 2006. • Wolfram Decker, Gerhard Pfister: A first Course in computational algebraic geometry. Cambridge University Press 2013. • David A. Cox, John B. Little, Donal O'Shea: Ideals, varieties, and algorithms. Springer 2008.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Kenntnisse aus den Modulen Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie sind hilfreich, aber nicht zwingend Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Computeralgebra
Modulverantwortliche	Hannah Markwig, Thomas Markwig

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-45-11	**Modultitel:** Algebraische Geometrie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Sommersemester im Wechsel mit dem Modul MAT-45-12		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Prävarietäten und Varietäten. • Projektive Varietäten und homogenes Spektrum. • Endliche und eigentliche Morphismen. • Blow-Up und Grassmannvarietäten. • Rationale Abbildungen. • Divisoren und Geradenbündel, Klassengruppe und Picardgruppe.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie kennen. Sie entwickeln ein vertieftes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Geometrie und Algebra und sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe folgende Tabelle		

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algebraische Geometrie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Robin Hartshorne: Algebraic geometry. Springer 2006. • Klaus Hulek: Elementare algebraische Geometrie. Vieweg+Teubner Verlag 2012. • Ernst Kunz: Einführung in die algebraische Geometrie. Vieweg 1997. • David Mumford: The red book of varieties and schemes. Springer 1999. • Miles Reid: Undergraduate algebraic geometry. Cambridge University Press 1988. • Igor R. Shafarevich: Basic algebraic geometry. Springer 1994.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Algebraische Geometrie und Torische Varietäten' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Wesentliche Kenntnisse aus dem Modul Kommutative Algebra werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Victor Batyrev, Hannah Markwig

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-45-12</td><td colspan="2">Modultitel:
Algebraische Geometrie und Torische Varietäten</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig im Sommersemester im Wechsel mit dem Modul MAT-45-12</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Projektiver Raum.
• Prävarietäten, Morphismen, Tangentialräume und Singularitäten.
• Produkte und Separiertheit.
• Projektive Varietäten und Grassmannsche Varietäten.
• Divisoren und Geradenbündel, Klassengruppe und Picardgruppe.
• Torische Varietäten.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden lernen die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie kennen. Sie entwickeln ein vertieftes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Geometrie und Algebra. Am Beispiel der Klasse der torischen Varietäten erfahren sie zudem, wie Methoden der konvexen Geometrie die Untersuchung einer wichtigen Beispielklasse algebraischer Varietäten ermöglichen, und erweitern das Wechselspiel von Algebra und Geometrie um eine weitere Komponente. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Algebraische Geometrie und torische Varietäten</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180
o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
</table>

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • David A. Cox, John B. Little, Henry K. Schenck: Toric varieties. American Mathematical Society 2011: • Robin Hartshorne: Algebraic geometry. Springer 2006. • Klaus Hulek: Elementare algebraische Geometrie. Vieweg+Teubner Verlag 2012. • Ernst Kunz: Einführung in die algebraische Geometrie, Vieweg 1997. • David Mumford: The red book of varieties and schemes. Springer 1999. • Miles Reid: Undergraduate algebraic geometry. Cambridge University Press 1988. • Igor R. Shafarevich: Basic algebraic geometry. Springer 1994.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Algebraische Geometrie' eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Wesentliche Kenntnisse aus dem Modul Einführung in die Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie werden vorausgesetzt.
Modulverantwortliche	Jürgen Hausen

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-45-13</td><td colspan="2">Modultitel:
Algebraische Transformationsgruppen</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:

Operationen algebraischer Gruppen auf algebraischen Varietäten, homogene Räume.
Elemente der Strukturtheorie affin-algebraischer Gruppen und ihrer Lie-Algebren.
Elemente der Darstellungstheorie affin-algebraischer Gruppen und ihrer Lie-Algebren.
Quotientenbegriffe in der algebraischen Geometrie.
Klassische Invariantentheorie: Hilberts Endlichkeitssatz. Invariantenberechnung.
Geometrische Invariantentheorie: Mumfords Quotientenkonstruktion, Variation der Quotienten.
Zudem werden einzelne Aspekte der Themen in der folgenden Liste behandelt:

Torische Varietäten;
Sphärische Varietäten.

</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden erlernen grundlegende Methoden für die mathematische Arbeit mit Symmetrien auf geometrischen Strukturen. Gleichzeitig erleben sie das Zusammenwirken verschiedener algebraischer Konzepte, beispielsweise aus Gruppen- und Ringtheorie, in der algebraischen Geometrie. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algebraische Transformationsgruppen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Armand Borel: Linear algebraic groups. Springer 1991.
- Jean A. Dieudonne, James B. Carrell: Invariant theory. Academic Press 1971.
- David Mumford: Geometric invariant theory. Springer 1965.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Kenntnisse aus den Modulen Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie sind hilfreich, aber nicht zwingend Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Algebraische Transformationsgruppen.

Modulverantwortliche

Victor Batyrev, Jürgen Hausen

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-45-21**	**Modultitel:** Algebraische Zahlentheorie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Ganzzahlringe. • Klassenzahlen. • Der Dirichletsche Einheitensatz. • Erweiterungen von Dedekindringen. • Bewertungstheorie. • Lokale Körper. • Adele und Idele.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der algebraischen Zahlentheorie kennengelernt. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algebraische Zahlentheorie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Jürgen Neukirch: Algebraische Zahlentheorie. Springer 2007. • Alexander Schmidt: Einführung in die algebraische Zahlentheorie. Springer 2007. • Andre Weil: Basic number theory. Springer 1995.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modulverantwortliche	Victor Batyrev, Anton Deitmar, Jürgen Hausen

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-45-23**	**Modultitel:** Modulformen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Modulformen für die Modulgruppe und ihre Kongruenzuntergruppen. • Beispiele: Eisenstein-Reihen, Dedekindsche Etafunktion, Theta-Reihen. • Modulkurven als Riemannsche Flächen. • Arithmetische Anwendungen und Vermutungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen die grundlegenden Begriffe, Ergebnisse und Methoden der klassischen Theorie der Modulformen kennen. Sie kennen analytische, algebraische und geometrische Aspekte von Modulformen und sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Modulformen</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180
o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Henri Cohen, Fredrik Stromberg: Modular forms. A classical approach. AMS Graduate Studies of Mathematics 2017. • Fred Diamond, Jerry Shurman: A first course in modular forms. Springer 2005. • Max Koecher, Aloys Krieg: Elliptische Funktionen und Modulformen. Springer 2007. • Toshitsune Miyake: Modular forms. Springer 1989.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse aus der Algebra und der Funktionentheorie sind aber hilfreich.
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar, Anna von Pippich

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-45-24**	**Modultitel:** Elliptische Funktionen und Elliptische Kurven		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Elliptische Funktionen, Weierstrass-P-Funktion, Riemannsche Flächen, komplexe Tori. • Ebene projektive Kurven, Satz von Bezout, elliptische Kurven. • Kurven über endlichen Körpern, rationale Punkte. • Anwendungen in der Kryptographie. • Zudem eine Auswahl aus den folgenden Themen: – Modulformen; – Klassifikation elliptischer Kurven; – Modulräume.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ihre Kompetenzen zum mathematisch-interdisziplinären Arbeiten vertieft. Sie haben elliptische Kurven als eine Klasse mathematischer Objekte kennengelernt, die übergreifend in einem weiten Spektrum mathematischer Teilgebiete eine wichtige Rolle spielt. Sie haben die für diesen Kontext relevanten Begriffe, Methoden und Ergebnisse aus den Disziplinen Funktionentheorie, Algebraische Geometrie, Zahlentheorie, Topologie und Kryptographie kennengelernt und ihre Wechselwirkung verstanden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Elliptische Funktionen und Elliptische Kurven	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Wolfgang Fischer, Ingo Lieb: Funktionentheorie. Vieweg 2005.
- Gerd Fischer: Ebene algebraische Kurven. Vieweg 1994.
- Joseph H. Silverman: The arithmetic of elliptic curves. Springer 2009.
- Ian Blake, Gadiel Seroussi, Nigel Smart: Elliptic curves in cryptography. CUP 1999.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Inhaltlich wird die Einführung in die Funktionentheorie vorausgesetzt.

Modulverantwortliche

Jörg Zintl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-50-03**	**Modultitel:** Tropische Geometrie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Tropische Zahlen und Polynome. • Tropische Hyperflächen und Varietäten. • Tropische torische Varietäten. • Matroid-Fächer und abstrakte tropische Varietäten. • Tropische Modifikationen, stabile Schnitte und rationale Äquivalenz. • Tropische Kurven und lineare Systeme. • Tropische (p, q)-Homologie. • Korrespondenzsätze.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe der tropischen Geometrie und die grundlegenden Techniken im Umgang mit ihnen. Sie sind zu einem vertieften Verständnis insbesondere der konvexen Geometrie gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie Konzepte aus der Kombinatorik in der algebraischen Geometrie Anwendung finden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Tropische Geometrie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Grigory Mikhalkin, Johannes Rau: Tropical geometry. Manuscript 2018.
- Diane Maclagan, Bernd Sturmfels: Introduction to tropical geometry. AMS 2015.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Es gibt keine weiteren Voraussetzungen, Kenntnisse aus Modulen Algebraische Geometrie und Differentialgeometrie sind aber hilfreich.

Modulverantwortliche

Hannah Markwig, Johannes Rau

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-11	**Modultitel:** Geometrie von Mannigfaltigkeiten 2		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:

- Globale Aspekte der Riemannschen Geometrie.
- Kohomologie von Mannigfaltigkeiten.
- Analysis von Differentialoperatoren auf Mannigfaltigkeiten.
- Anwendung auf Riemannsche Flächen (und komplexe Mannigfaltigkeiten).

Qualifikationsziele

Die Studierenden sind mit den grundlegenden Fragestellungen der globalen reellen und komplexen Differentialgeometrie vertraut. Sie sind zu einem vertieften Verständnis differentialgeometrischer Methoden gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie lokale und globale Aspekte in der Geometrie zusammenspielen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrie von Mannigfaltigkeiten 2	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Sylvestre Gallot, Dominique Hulin, Jacques Lafontaine: Riemannian Geometry. Springer 2004. • John M. Lee: Introduction to Smooth Manifolds. Springer 2012. • Liviu I. Nicolaescu: Lectures On The Geometry Of Manifolds. World Scientific 1996. • Clifford Henry Taubes: Differential Geometry: Bundles, Connections, Metrics and Curvature. Oxford University Press 2011. • John Milnor: Morse Theory. PUP 1963. • Donu Arapura: Algebraic Geometry over the Complex Numbers. Springer 2012. • Sundararaman Ramanan: Global Calculus. AMS 2005.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich wird das Modul 'Geometrie von Manigfaltigkeiten 1' oder alternativ das Modul 'Geometry in Physics' vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Christoph Bohle, Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-22	**Modultitel:** Algebraische Topologie 2		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Ausbau der singulären Homologietheorie. • Simpliziale Komplexe und ihre simpliziale Homologie. • CW-Räume und ihre zelluläre Homologie. • Axiomatische Homologie. • Homologische Algebra. • Cohomologie. • Homologie und Cohomologie mit Koeffizienten. • Produktstrukturen in der Homologie und Cohomologie. • Der Dualitätssatz von Poincaré für topologische Mannigfaltigkeiten.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden bauen ihre Fähigkeiten aus, konkrete topologische Problemstellungen in algebraische Konstruktionen umzusetzen. Sie vertiefen dabei ihre Kenntnisse in abstrakten mathematischen Disziplinen, um auch technisch sehr anspruchsvolle Aufgaben meistern zu können. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

<table>
<tr><td rowspan="4">Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Algebraische Topologie 2</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="10">In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="10">Exemplarische Literatur:
• Allen Hatcher: Algebraic topology. Cambridge University Press 2009.
• Horst Schubert: Topologie. Teubner 1971.
• Edwin H. Spanier: Algebraic topology. McGraw-Hill 1966.
• Ralph Stöcker, Heiner Zieschang: Algebraische Topologie. Teubner 1994.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="10">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahmevoraussetzungen</td><td colspan="10">Inhaltlich ist das Modul Algebraische Topologie 1 Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.</td></tr>
<tr><td>Modulverantwortliche</td><td colspan="10">Frank Loose</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-50-23**	**Modultitel:** Algebraische Topologie 3		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** Eine Auswahl aus den folgenden Themengebieten wird behandelt werden: • Grundzüge der Homotopietheorie; • Homotopiegruppen von Sphären; • Spektralsequenzen; • K-Theorie; • Charakteristische Klassen.		
Qualifikationsziele	Ziel ist es, die Studierenden mit ihren vertieften Kenntnissen in Algebraischer Topologie, die sie sich angeeignet haben, nun in aktuelle Forschungsgebiete einzuführen und ihnen zu ermöglichen, selbst ein kleines Forschungsprojekt anzugehen, was etwa zu einer Masterarbeit führen kann. Es werden außerdem die Voraussetzungen für eine mögliche Promotion in der Algebraischen Topologie gelegt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Algebraische Topologie 3	V	f	2	3	nein	Portfolio		b	100

Wie das Portfolio zu führen ist, wird von der Prüferin oder dem Prüfer zu Beginn der Veranstaltung erläutert.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Allen Hatcher: Algebraic topology. Cambridge University Press 2009. • Allen Hatcher: Vector bundles and K-theory. Manuskript 2009. • John W. Milnor, James D. Stasheff: Characteristic classes. Princeton University Press 1974. • John W. Milnor: Lectures on the h-cobordism theorem. Princeton University Press 1965.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich sind die Module Algebraische Topologie 1 und 2 Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modul-verantwortliche	Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-25	**Modultitel:** Angewandte Topologie 1		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Simplizialkomplexe und ihre Homologie. • Persistente Homologie. • Grundbegriffe der topologischen Datenanalyse.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit Grundkonzepten der algebraischen Topologie und deren Anwendung im Kontext der topologischen Datenanalyse vertraut. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Angewandte Topologie 1	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Herbert Edelsbrunner, John L. Harer: Computational Topology. AMS 2010.
- Robert Ghrist: Elementary Applied Topology. Create Space 2014.
- Sergey V. Matveev: Lectures on Algebraic Topology. EMS 2006.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie*, *Analysis und Differentialgeometrie* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Christoph Bohle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-50-26	**Modultitel:** Angewandte Topologie 2		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Fortgeschrittene Aspekte der persistenten Homologie (z.B. Stabilität). • Angewandte Morsetheorie. • Angewandte Garbentheorie.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit fortgeschrittenen Aspekten der angewandten Topologie und der topologischen Datenanalyse vertraut. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Angewandte Topologie 2	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Herbert Edelsbrunner, John L. Harer: Computational Topology. AMS 2010. • Robert Ghrist: Elementary Applied Topology. Create Space 2014. • Sergey V. Matveev: Lectures on Algebraic Topology. EMS 2006.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie*, *Analysis und Differentialgeometrie* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich werden Kenntnisse aus dem Modul 'Angewandte Topologie 1' vorausgesetzt. Zudem werden Grundlagen aus der Differentialgeometrie erwartet, die ggf. parallel erworben werden können.
Modul-verantwortliche	Christoph Bohle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-04</td><td colspan="2">Modultitel:
Operatoralgebren</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
Geometrie der Hilberträume.
Operatoren auf Hilberträumen und deren spektrale Eigenschaften.
Spektraltheorie in Banachalgebren.
Kommutative Banachalgebren und der Darstellungssatz von Gelfand und Gelfand-Naimark.
Der Spektralsatz für normale Operatoren eines Hilbertraums.
Operatortopologien und der von Neumannsche Bikommutantensatz.
Dichtesatz von Kaplansky.
Von Neumann-Algebren und deren Klassifikation nach Murray-von Neumann, Konstruktion von Beispielen.
Die Axiomatik der C^*- und W^*-Algebren, der Satz von Gelfand-Naimark-Segal für C^*-Algebren und der Darstellungssatz von Sakai für W^*-Algebren.
Anwendungen und Ausblick.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben die zentrale Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Theorie der Operatoralgebren kennengelernt. Dabei haben sie das tiefliegende Wechselspiel von Algebra und Topologie am Beispiel der von Neumann-Algebren und deren Klassifikation erlebt. Die Studierenden erkennen zudem, wie das Einnehmen eines höheren Standpunktes, sprich die Axiomatik der Problemstellung, es erlaubt, verschiedene Fragestellungen gleichzeitig zu behandeln und zu lösen. Die Studierenden sind zudem in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Operatoralgebren	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Bruce Blackadar: Operator algebras. Springer 2006.
- Ola Bratelli, Derek Robinson: Operator Algebras and Quantum Physics. Springer 1997.
- Richard Kadison, John Ringrose: Fundamentals of the Theory of Operator Algebras I - IV. AMS 1997.
- Gert Pedersen: Analysis now. Springer 1995.
- Shoichiro Sakai: C^*- and W^*-Algebras. Springer 1998.
- Masamichi Takesaki: Theory of Operator Algebras I - II. Springer 2002.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Inhaltlich ist das Modul Funktionalanalysis Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.

Modulverantwortliche

Rainer Nagel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-05	**Modultitel:** Ergodentheorie		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Topologische und maßtheoretische dynamische Systeme. • Rekurrenz und Mischungseigenschaften. • Ergodentheoreme von von Neumann und Birkhoff. • Spektraltheorie des Koopmanoperators. • Operatoren mit diskretem Spektrum (Halmos-von Neumann) • Anwendungen in Stochastik und Zahlentheorie.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentrale Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Ergodentheorie kennengelernt. Dabei haben sie das tiefliegende Wechselspiel von Maßtheorie und Topologie am Beispiel der dynamischen Systeme und deren Klassifikation erlebt. Die funktionalanalytische Perspektive erlaubt es, verschiedene Fragestellungen gleichzeitig zu behandeln und zu lösen. Die Studierenden sind zudem in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Ergodentheorie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Manfred Einsiedler, Thomas Ward: Ergodic Theory with a View Towards Number Theory. Springer 2011. • Tanja Eisner, Balint Farkas, Markus Haase, Rainer Nagel: Operator Theoretic Aspects of Ergodic Theory. Springer 2015. • Paul Halmos: Lectures on Ergodic Theory. Martino Fine Books 2013. • Marcelo Viana, Krerley Oliveira: Foundations of Ergodic Theory. CUP 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Funktionalanalysis Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modulverantwortliche	Rainer Nagel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-11</td><td colspan="2">Modultitel:
Einführung in die Harmonische Analyse</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Fourier-Reihen und Fourier-Transformation.
• Plancherel- und Umkehrsätze.
• Poissonsche Summenformel.
• Temperierte Distributionen.
• Zudem wird eine Auswahl aus den folgenden Themengebieten behandelt:
– LCA-Gruppen;
– allgemeine Fourier-Transformation;
– nicht-abelsche Gruppen und Darstellungen;
– Sobolev-Räume;
– Singuläre Integrale;
– Poisson Integrale.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden können algebraische und analytische Methoden verknüpfen und problemlösend anwenden. Sie erkennen das Wechselspiel der Eigenschaften von Funktionen und ihrer Fourier-Transformierten und können die daraus gewonnenen Erkenntnisse in Fragestellungen der Physik, Analysis bis zur Zahlentheorie anwenden. Sie verstehen die Interaktion von Gruppentheorie und Analysis und gewinnen hieraus tiefe Erkenntnisse über verschiedene Funktionenräume. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einführung in die Harmonische Analyse	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Anton Deitmar: A first course in harmonic analysis. Springer 2005.
- Elias M. Stein: Singular integrals and differentiability properties of functions. Princeton University Press, 1970.
- Elias M. Stein, Guido Weiss: Introduction to fourier analysis on euclidean spaces. Princeton University Press 1971.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Inhaltlich ist das Modul Funktionalanalysis Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.

Modulverantwortliche

Anton Deitmar

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-12	**Modultitel:** Harmonische Analyse im euklidischen Raum		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Fourier-Transformation. • Überdeckungs-, Zerlegungs- und Interpolationssätze. • Singuläre Integrale, Poisson-Integrale. • Hardy- und BMO-Räume, Multiplikatorensätze, Littlewood-Paley-Theorie.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Harmonischen Analyse im euklidischen Raum kennengelernt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Harmonische Analyse im euklidischen Raum	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Charles L. Feffermann, Elias M. Stein: H^p spaces of several variables. Acta Mathematica 129, pp. 137-193, 1972. • Christopher D. Sogge: Fourier integrals in classical analysis. Cambridge University Press 2017. • Elias M. Stein: Singular integrals and differentiability properties of functions. Princeton University Press 1970. • Elias M. Stein: Harmonic analysis. Princeton University Press 1993. • Elias M. Stein, Guido Weiss: Introduction to Fourier analysis on Euclidean spaces. Princeton University Press 1971.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich sind die Module Funktionalanalysis und Einführung in die harmonische Analyse Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modulverantwortliche	Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-13	**Modultitel:** Harmonische Analyse auf abelschen Gruppen	**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9	
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h; Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester	
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig	
Fachsemester	1-3	
Unterrichtssprache	Deutsch	
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS	
Modulinhalt	**Inhalte:** • Lokalkompakte Gruppen, Existenz- und Eindeutigkeit von Haar-Maßen. • Faltungsalgebren, Banach-Algebren, der Satz von Gelfand-Neumark. • LCA-Gruppen, Pontryagin-Dualität, Plancherel-Satz, Strukturtheorie von LCA-Gruppen.	
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe und Methoden der abstrakten Harmonischen Analyse kennengelernt und können damit umgehen. Sie haben den Zusammenhang zwischen topologisch/analytisch/geometrischen Begriffen wie LCA-Gruppen und ihrem Niederschlag in algebraischen Strukturen wie C^*-Algebren kennengelernt und können diese Denkweise auf andere Theorien übertragen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.	

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Harmonische Analyse auf abelschen Gruppen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Anton Deitmar: A first course in Harmonic Analysis. Springer 2005. • Anton Deitmar, Siegfried Echterhoff: Principles of Harmonic Analysis. Springer 2008. • Edwin Hewitt, Kenneth Ross: Abstract harmonic analysis. Vol. I. Springer 1979. • Walter Rudin: Fourier analysis on groups. John Wiley 1990.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Funktionalanalysis Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modulverantwortliche	Anton Deitmar

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-14	**Modultitel:** Harmonische Analyse auf allgemeinen Gruppen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Darstellungstheorie kompakter Gruppen, Satz von Peter-Weyl. • Darstellungstheorie allgemeiner Gruppen. • Spurformel und Anwendungen in der Heisenberg-Gruppe und der $SL_2(\mathbb{R})$.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die tieferen Begriffe und Methoden der abstrakten Harmonischen Analyse kennengelernt und können damit umgehen. Sie beherrschen die Spurformel und verstehen ihre weit-reichenden Implikationen, auch auf andere Gebiete der Mathematik. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe folgende Tabelle		

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Harmonische Analyse auf allgemeinen Gruppen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Anton Deitmar, Siegfried Echterhoff: Principles of Harmonic Analysis. Springer 2008.
- Gerald B. Folland: A course in abstract harmonic analysis. Studies in Advanced Mathematics. Boca Raton 1995.
- Michael E. Taylor: Noncommutative Harmonic Analysis. AMS 1986.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Harmonische Analyse auf abelschen Gruppen Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modulverantwortliche	Anton Deitmar

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-22	**Modultitel:** Partielle Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Schauder-Abschätzungen. • Calderon-Zygmund-Abschätzungen. • Harnack-Ungleichung. • Hölder-Regularität. • Viskositätslösungen. • Existenz von Lösungen nach Perron. • Satz von Evans-Krylov.		
Qualifikationsziele	Nachdem die Studierenden die grundlegenden Begriffe und Methoden in Einführung in Partielle Differentialgleichungen erlernt haben, werden diese Kenntnisse vertieft. Die Studierenden werden auf aktuelle Fragen der Forschung vorbereitet und an diese herangeführt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Partielle Differentialgleichungen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Luis Angel Caffarelli, Xavier Cabre: Fully nonlinear elliptic equations. American Mathematical Society 1995. • Michael G. Crandall, Hitoshi Ishii, Pierre-Louis Lions: User's Guide to Viscosity Solutions of second Order Partial Differential Equations. Bulletin of the American Mathematical Society 27, No. 1, pp. 1-67, 1992. • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic partial differential equations of second order. Springer 2001. • Olga A. Ladyzenskaja, Vsevolod A. Solonnikov, Nina N. Uralceva: Linear and quasilinear elliptic equations.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt *Numerische Mathematik* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Einführung in Partielle Differentialgleichungen Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modulverantwortliche	Gerhard Huisken, Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-55-32**	**Modultitel:** Ausgewählte Kapitel aus der Theorie dynamischer Systeme		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** Eine Auswahl aus den folgenden Themengebieten wird behandelt werden: • Dynamische Systeme als Lösungsflüsse gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen; • Isomorphieinvarianten dynamischer Systeme, insbesondere das diskrete Spektrum; • lineare Schiefproduktflüsse; • Anwendungen in Zahlentheorie, Kombinatorik und Stochastik.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit qualitativen Fragen der Theorie gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen und den Methoden zu deren Untersuchung vertraut. Auf der Basis solider Kenntnisse aus Funktionalanalysis, Operatorentheorie und Ergodentheorie haben sie die vielfältige Anwendbarkeit abstrakter mathematischer Konzepte erfahren. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Ausgewählte Kapitel aus der Theorie dynamischer Systeme	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Tanja Eisner, Balint Farkas, Markus Haase, Rainer Nagel: Operator theoretic aspects of ergodic theory. Springer 2015. • Manfred Einsiedler, Thomas Ward: Ergodic theory: with a view towards Number Theory. Springer 2011. • David Kerr, Hanfeng Li: Ergodic theory: independence and dichotomies. Springer 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Dynamische Systeme Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modul-verantwortliche	Rainer Nagel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-42</td><td colspan="2">Modultitel:
Geometrische Maßtheorie</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
Erste und Zweite Variation für Varifaltigkeiten.
Monotonieformel.
Integralkompaktheitssatz von Allard.
Lipschitzapproximation.
tilt-excess-Abstieg.
Regularitätssatz von Allard.
Allgemeine und rektifizierbare Ströme.
Deformationssatz.
Flächeninhaltsminimierende Ströme.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Nachdem die Studenten die grundlegenden Begriffe und Methoden in Einführung in Geometrische Maßtheorie erlernt haben, werden diese Kenntnisse vertieft. Die Studenten werden auf aktuelle Fragen der Forschung vorbereitet und an diese herangeführt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrische Maßtheorie	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Herbert Federer: Geometric measure theory. Springer 1969. • Enrico Giusti: Minimal surfaces and functions of bounded variation. Birkhäuser 1984. • Leon Simon: Lectures on geometric measure theory. Australian National University 1984.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Einführung in Geometrische Maßtheorie Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Geometrische Maßtheorie.
Modul-verantwortliche	Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-43	**Modultitel:** Flächeninhaltsminimierende Ströme	**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3	
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h; Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 45 h
Moduldauer	1 Semester	
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig	
Fachsemester	1-3	
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch	
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS	
Modulinhalt	**Inhalte:** • Kompaktheitssatz für integrale Ströme. • Regularität von flächeninhaltsminimierenden Strömen.	
Qualifikationsziele	Nachdem die Studenten wesentliche Begriffe und Methoden der Geometrischen Maßtheorie erlernt haben, werden diese Kenntnisse vertieft. Die Studenten werden auf aktuelle Fragen der Forschung vorbereitet und an diese herangeführt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.	

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Flächeninhaltsminimierende Ströme	V	f	2	2	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	1	1					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Herbert Federer: Geometric measure theory. Springer 1969.
- Enrico Giusti: Minimal surfaces and functions of bounded variation. Birkhäuser 1984.
- Leon Simon: Lectures on geometric measure theory. Australian National University 1984.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich werden die Module Einführung in die Geometrische Maßtheorie und Geometrische Maßtheorie vorausgesetzt
Modulverantwortliche	Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-55-46	**Modultitel:** Elastische Kurven		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Klassifikation elastischer Kurven nach Langer und Singer. • Ordnungsreduktion der Euler-Lagrange Gleichung der elastischen Energie einer Kurve. • Qualitatives Verhalten einer elastischen Kurve. • Lösen der Willmore Gleichung unter Axialsymmetrie mit variationellen Methoden.		
Qualifikationsziele	Die Studenten lernen anhand des Beispiels der elastischen Energie einer Kurve den Umgang mit einem geometrisch relevanten Funktional und dessen kritischen Punkten. So erhalten sie einen Einblick in die Theorie von elliptischen Differentialgleichungen vierter Ordnung, bei denen vertraute Techniken, wie zum Beispiel das Maximum-Prinzip, nicht mehr verwendet werden können. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Elastische Kurven	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Filippo Gazzola, Hans-Christoph Grunau, Guido Sweers: Polyharmonic Boundary Value Problems, Springer 2010. • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic partial differential equations of second order. Springer 1998. • Joel Langer, David A. Singer: The total squared curvature of closed curves, J. Differential Geom. Band 20, Nummer 1, Seiten 1-22, 1984. • John M. Lee: Introduction to smooth manifolds. Springer 2013. • Michael Struwe: Variational Methods. Springer 2008.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich werden Kenntnisse aus den Modulen Einführung in die Differentialgeometrie und Einführung in die partiellen Differentialgleichungen vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Reiner Schätzle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-55-52</td><td colspan="2">Modultitel:
SL2(R)</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">3</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
90 h</td><td>Kontaktzeit:
30 h</td><td>Selbststudium:
60 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch und Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Strukturtheorie der Lie-Gruppe $SL_2(\mathbb{R})$.
• Einführung in die Darstellungstheorie der $SL_2(\mathbb{R})$.
• Bestimmung des unitären Duals.
• Beweis der expliziten Plancherel-Formel.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben mit der $SL_2(\mathbb{R})$ beispielhaft eine wichtige Lie-Gruppe im Detail studiert und sich dabei mit den Grundzügen der Darstellungstheorie von Lie-Gruppen vertraut gemacht. Sie haben dabei gelernt, mit den Grundelementen der hyperbolischen Geometrie umzugehen, Darstellungen zu konstruieren, zu zerlegen und zu klassifizieren. Zudem sind sie in der Lage, diese Methoden auch auf andere Lie-Gruppen zu übertragen und haben ein vertieftes Verständnis für die Theorie der Lie-Gruppen entwickelt. Sie verstehen die Analysis hinter dem Plancherel-Satz und können diese anwenden. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td>$SL_2(\mathbb{R})$</td><td>V</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td><td>ja</td><td>K o. mP</td><td>90-180
o. 20-30</td><td>b</td><td>100</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="3">Exemplarische Literatur:
• Anthony Knapp: Representation theory of semisimple groups. PUP 2001.
• Serge Lang: SL2(R). Springer 1985.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="3">Das Modul gehört zu den Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie und Analysis und Differentialgeometrie. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
</table>

Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-60-01	**Modultitel:** Geomterische Evolutionsgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Beispiele geometrischer Evolutionsgleichungen wie Mean curvature flow, Ricci flow, Inverse mean curvature flow. • Parabolische Maximumsprinzipien. • Regularitätstheorie für parabolische Evolutionsgleichungen. • Reskalierungstechniken und Beschreibung von Singularitäten. • Asymptotisches Verhalten von Lösungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen, ihre Kenntnisse in Differentialgeometrie und partiellen Differentialgleichungen zu verknüpfen und auf konkrete Problemstellungen bei ausgewählten geometrischen Evolutionsgleichungen anzuwenden. Sie erlernen Techniken für die Kontrolle von Lösungen nichtlinearer Evolutionsgleichungen, die ihnen den Beginn eines ersten eigenen Forschungsprojektes ermöglichen, etwa im Rahmen einer Masterarbeit, oder im Hinblick auf eine Promotion. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrische Evolutionsgleichungen	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
In Kombination mit einem der Module Numerik instationärer Differentialgleichungen oder Numerik von Differentialgleichungen auf Oberflächen ist es im Studienschwerpunkt *Numerische Mathematik* einbringbar.

Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Einführung in die partiellen Differentialgleichungen sowie Grundlegende Kenntnisse in Differentialgeometrie sind erforderlich.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huisken

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-60-02**	**Modultitel:** Geometrische Variationsprobleme		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:

- Beispiele geometrischer Variationsprobleme wie Minimalflächen, Kapillarflächen, Harmonische Abbildungen und zugehöriger Randwertprobleme.
- Direkte Methoden der Variationsrechnung.
- Regularitätstheorie für Lösungen von Variationsproblemen.
- Zusammenhang zwischen Variationsproblemen und Partiellen Differentialgleichungen.
- Stabilitätseigenschaften von Lösungen.

Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen, ihre Kenntnisse in Differentialgeometrie und Analysis zu verknüpfen und auf konkrete Problemstellungen bei ausgewählten geometrischen Variationsproblemen anzuwenden. Sie erlernen Techniken zum Nachweis von Lösungen zu verschiedenen Variationsproblemen und zur Untersuchung der Eigenschaften von Lösungen, die eine Grundlage zum selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten legen, etwa in einer Masterarbeit. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Geometrische Variationsprobleme	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahmevoraussetzungen

Kenntnisse aus dem Modul Einführung in die partiellen Differentialgleichungen sowie grundlegende Kenntnisse in Differentialgeometrie sind erforderlich.

Modulverantwortliche

Carla Cederbaum, Gerhard Huisken

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-60-03</td><td colspan="2">Modultitel:
Topics in Mathematical Relativity</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">3</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
90 h</td><td>Kontaktzeit:
30 h</td><td>Selbststudium:
60 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
Auswahl konkreter Modellbildungen der Mathematischen Relativitätstheorie, wie z. B. Schwarze Löcher, Statische Metriken, Physikalische Invarianten isolierter Systeme, Positivitätsabschätzungen für Energie und Masse.
Geometrische und analytische Struktur der Modelle, Existenz und Eigenschaften von konkreten Modellen als Lösungen der Einstein-Gleichungen.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse zu ausgewählten Fragestellungen der Mathematischen Relativitätstheorie. Sie erlernen analytische und geometrische Techniken zum Nachweis und zur Untersuchung von Lösungen der Einstein-Gleichungen und können die physikalische Relevanz der mathematischen Ergebnisse einordnen. Die Studierenden werden durch die Vorlesung hingeführt zum ersten selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, etwa in einer Masterarbeit. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3"><table>
<tr><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td>Topics in Mathematical Relativity</td><td>V</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td><td>nein</td><td>K o. mP</td><td>90-180 o. 20-30</td><td>b</td><td>100</td></tr>
</table>
Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="3">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="3">Die Module Mathematical Relativity und Einführung in partielle Differentialgleichungen werden inhaltlich vorausgesetzt.</td></tr>
<tr><td>Modul-verantwortliche</td><td colspan="3">Carla Cederbaum, Gerhard Huisken</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-65-05</td><td colspan="2">Modultitel:
Group Representations in Physics</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:

Gruppen: Untergruppen, Homomorphismen, Isomorphismen, Gruppenoperationen, Bahnen, Stabilisatoren, Äquivalenzklassen, Normalteiler, Restklassen, Faktorgruppen.
Darstellungen: Treue, unitäre und irreduzible Darstellungen, Reduzibilität, Charaktere, Schurs Lemmata, Orthogonalität irreduzibler Darstellungen.
Anwendungen: Symmetrien und Degenerationen in der Quantenmechanik, Auswahlregeln.
Darstellungen endlicher Gruppen: Gruppenalgebra, reguläre Darstellung, Ideale, Idempotente.
Symmmetrische Gruppen: Young-Tableaus, Young-Operatoren, Dimension und Charaktere.
Anwendungen: Identische Teilchen in Quantentheorien.
Lie-Gruppen: Haar-Maße, Darstellungen, Lie-Algebren.
Tensordarstellungen klassischer Gruppen: Symmetrieklassen, Young-Tableaus.
Anwendungen: SU(2) und SU(3) in der Teilchenphysik (Spin, Isospin, Flavour).
Zudem eine Auswahl aus dem Folgenden:

Irreduzible Darstellung der Lorentz und Poincare Gruppen;
Anwendungen: Begriff der Teilchen in Quantentheorien;
Wurzeln und Gewichte, Killing-Cartan-Klassifikation halbeinfacher Lie-Algebren.

</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden kennen die grundlegenden Konzepte der Gruppen- und Darstellungstheorie. Sie sind in der Lage, diese abstrakten algebraischen Begriffsbildungen neu im Kontext der theoretischen Physik anzuwenden und entwickeln so ein vertieftes Verständnis für die Zusammenhänge der Mathematik und Physik. Die Studierenden sind vertraut mit einer Vielzahl komplexer Beispiele für Anwendungen der Darstellungstheorie von Gruppen in der Physik. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Group Representations in Physics	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Irene Verona Schensted: A course on the Application of Group Theory to Quantum Mechanics. NEO Press 1976.
- Barry Simon: Representations of Finite and Compact Groups. AMS 1996.
- Wu-Ki Tung: Group Theory and Physics. World Scientific 1985.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie* und *Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Algebraische Geometrie und Torische Varietäten' eingebracht werden.

Teilnahmevoraussetzungen

Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.

Modulverantwortliche

Stefan Keppeler

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-65-12</td><td colspan="2">Modultitel:
Mathematical Quantum Theory</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig im Wintersemester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Dieses Modul bietet eine Einführung in die Mathematische Quantentheorie. Themen sind insbesondere die Lösungstheorie der stationären und der zeitabhängigen Schrödingergleichung, grundlegende Approximationsmethoden wie Rayleigh-Schrödinger Störungstheorie und Hartree- bzw. Hartree-Fock-Theorie, der Fockraumformalismus sowie Elemente der Streutheorie. Optional können zusätzlich weitere Themen behandelt werden, beispielsweise das Adiabatentheorem und semiklassische Approximationen.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Quantentheorie analysieren. Weiterhin verknüpfen sie physikalische Fragestellungen der Atom-, Festkörper- und Teilchenphysik und ihre mathematische Modellierung durch spektral- und störungstheoretische Methoden und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. Dabei erfahren die Studierenden beispielhaft, wie die mathematischen Konzepte in natürlicher Weise in physikalischen Theorien Anwendung finden und sie vernetzen ihr Methoden- und Fachwissen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Mathematical Quantum Theory</td><td>V</td><td>o</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180
o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>o</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="3">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Mathematische Physik. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="3">Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.</td></tr>
</table>

Modul-verantwortliche	Christian Hainzl, Stefan Teufel

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-65-13</td><td colspan="10">Modultitel:
Mathematical Relativity</td><td colspan="3">Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="13">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td colspan="5">Arbeitsaufwand:
270 h</td><td colspan="5">Kontaktzeit:
90 h</td><td colspan="3">Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="13">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="13">regelmäßig im Sommersemester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="13">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="13">Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="13">Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="13">Dieses Modul bietet eine Einführung in die Mathematische Relativitätstheorie. Themen sind insbesondere Newtons Gravitationstheorie, spezielle Relativitätstheorie, relativistische Effekte, Einstein-Gleichung, Schwarzschild-Modell. Optional können zusätzlich weitere Themen behandelt werden, beispielsweise kosmologische Modelle, Materie-Modelle, schwarze Löcher, Cauchy-Problem und ADM-Zerlegung, Singularitätentheoreme oder Gravitationswellen.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="13">Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Relativitätstheorie analysieren. Weiterhin verknüpfen sie physikalische Fragstellungen der Kosmologie und Astrophysik und ihre mathematische Modellierung durch differentialgeometrische Methoden und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. Dabei bauen Sie insbesondere die im Modul MAT-65-11 erlernten Methoden aus und vernetzen Ihr Methoden- und Fachwissen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td colspan="4">Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="2">Mathematical Relativity</td><td>V</td><td>o</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>o</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="13">Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="13">Das Modul gehört zu den Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="13">Die Teilnahme am Modul Geometry in Physics wird vorausgesetzt.</td></tr>
</table>

Modul-verantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huisken, Frank Loose

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-65-14**	**Modultitel:** Mathematical Statistical Physics		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig im Sommersemester		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS, Hausaufgaben		
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in die Mathematische Statistische Physik. Themen sind insbesondere Konzepte der Wahrscheinlichkeitstheorie, die klassische statistische Mechanik von Gasen (Äquivalenz von Ensembles, thermisches Gleichgewicht, Boltzmann-Gleichung, Entropie), die Brownsche Bewegung (stochastische Prozesse, Wiener-Prozess), Gittermodelle (Ising-Modell, Gibbs-Maße, thermodynamischer Limes, Phasenübergänge), statistische Quantenmechanik (quantenmechanische Ensembles, Übergang ins thermische Gleichgewicht, Bose-Einstein-Kondensation). Optional können zusätzlich weitere Themen behandelt werden, beispielsweise offene Quantensysteme, Transportphänomene, Renormierungsgruppe oder Fluktuations-Dissipations-Theoreme.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die oben genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Statistischen Physik analysieren. Weiterhin verknüpfen sie grundlegende physikalische Konzepte wie Gleichgewicht, Irreversibilität und Entropie und ihre mathematische Modellierung durch wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden und sind in der Lage, die Relevanz und Adäquatheit der mathematischen Modellierung und der aus ihr abgeleiteten mathematischen Resultate zu hinterfragen. Dabei bauen sie insbesondere ihre im Grundstudium erlernten Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie aus und vernetzen Ihr Methoden- und Fachwissen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Mathematical Statistical Physics	V	o	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	o	2	3					

Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.

Verwendbarkeit

Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Mathematische Physik* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Marcello Porta, Roderich Tumulka

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-65-33	**Modultitel:** Wellengleichungen der Relativistischen Quantenmechanik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	6		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:

- Klein-Gordon-Gleichung.
- Diracgleichung.
- Darstellungstheorie der Lorentzgruppe.
- Relativistische Vielteilchensysteme (Multi-time Formalismus).

Qualifikationsziele

Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse über Wellengleichungen in der relativistischen Quantenmechanik. Sie erlernen analytische Techniken zum Nachweis und zur Untersuchung von Lösungen der Klein-Gordon-Gleichung und der Diracgleichung und können die physikalische Relevanz der mathematischen Ergebnisse einordnen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Wellengleichungen der Relativistischen Quantenmechanik	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Bernd Thaller: The Dirac equation. Springer 1992. • Silvan S. Schweber: An introduction to relativistic quantum field theory, Chap. 2-4. Dover Books 2005. • Paul R. Garabedian: Partial differential equations. AMS 1998. • Erich Zauderer: Partial differential equations of applied mathematics. Wiley 2006.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Mathematische Physik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Inhaltlich werden Kenntnisse in Quantenmechanik und Spezieller Relativitätstheorie vorausgesetzt. Zudem sind Grundkenntnisse in Funktionalanalysis und Partiellen Differentialgleichungen hilfreich, aber nicht zwingend erforderlich.
Modulverantwortliche	Roderich Tumulka

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-65-34</td><td colspan="2">Modultitel:
Approximationsmethoden in Mathematischer Physik</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">6</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
180 h</td><td>Kontaktzeit:
60 h</td><td>Selbststudium:
120 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:

Asymptotische Approximationsintegrale:
Laplace-Methode;
stationäre Phase;
steilster Abstieg;
asymptotische Evaluation von Summen.
Störungstheorie und WKB Approximation in der Quantenmechanik:
Störung von Spektra;
WKB Approximation;
Produktformeln (Baker-Campbell-Hausdorff, Trotter-Kato).
Iterationsschemata und Fixpunktsätze für Differentialgleichungen:
Duhamels Formel;
Picards Iterationsschema;
der Banachsche Fixpunktsatz.
</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden lernen, rigorose Approximationsmethoden auf phsikalische Probleme und Probleme der angewandten Analysis anzuwenden. Sie sind mit nützlichen analytischen Werkzeugen vertraut, die die Analyse physikalischer Probleme vereinfachen und die oft die einzige Möglichkeit sind, mit den komplexen Strukturen umzugehen. Die Studierenden sind vertraut mit den grundlegenden Werkzeugen der asymptotischen Expansion von Integralen, der Störungstheorie in der Quantenmechanik und der Iterationsschemata für die Lösung nichtlinearer Differentialgleichungen. Zudem sind sie in der Lage, diese Werkzeuge auf spezifische Probleme der angewandten Mathematik anzuwenden, und die rigorosen von den weniger rigorosen Methoden der Approximationstheorie zu unterscheiden. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="4">Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td>Titel</td><td>Art der Lehrform</td><td>Status</td><td>SWS</td><td>ECTS</td><td>Studienleistung</td><td>Prüfungsform</td><td>Prüfungsdauer (min)</td><td>Benotungssystem</td><td>Anteil an der Modulnote</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Wellengleichungen der Relativistischen Quantenmechanik</td><td>V</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="10">In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="10">Exemplarische Literatur:
• Tosio Kato: Perturbation Theory for Linear Operators. Springer, 1966.
• Carl Bender, Steven Orszag: Advanced Mathematical Methods for Scientists and Engineers. Springer, 1999.
• Michael Reed and Barry Simon: Methods of Modern Mathematical Physics. Springer, 1972.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="10">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Mathematische Physik. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="10">Elementare Kenntnisse der Funktionalanalysis sind hilfreich, werden im Verlauf der Vorlesung aber auch eingeführt.</td></tr>
<tr><td>Modul-verantwortliche</td><td colspan="10">Marcello Porta</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-70-02**	**Modultitel:** Numerik stationärer Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** Numerische Behandlung von Randwertproblemen stationärer (d.h. zeitunabhängiger) gewöhnlicher und elliptischer partieller Differentialgleichungen, schwerpunktmäßig Verfahren der finiten Elemente.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der numerischen Behandlung von Randwertproblemen stationärer Differentialgleichungen kennengelernt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe Tabelle unten		

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Numerik stationärer Differentialgleichungen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Dietrich Braess: Finite Elemente. Springer Spektrum 2013. • Wolfgang Hackbusch: Theorie und Numerik elliptischer Differentialgleichungen. Teubner 1986.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Numerische Mathematik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.

Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Algorithmen der Numerik sind hilfreich, sind aber nicht zwingend erforderlich.
Modul-verantwortliche	Christian Lubich

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-70-03</td><td colspan="2">Modultitel:
Numerik instationärer Differentialgleichungen</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte: Numerische Behandlung instationärer (d.h., zeitabhängiger) Differentialgleichungen, etwa: steife gewöhnliche Differentialgleichungen, stochastische Differentialgleichungen, parabolische und hyperbolische partielle Differentialgleichungen.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der numerischen Behandlung instationärer Differentialgleichungen kennengelernt. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Numerik instationärer Differentialgleichungen</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="3">Exemplarische Literatur:
Ernst Hairer, Gerhard Wanner: Solving Ordinary Differential Equations II. Stiff Problems. Springer 1996.
Vidar Thomee: Galerkin Finite Element Methods for Parabolic Problems. Springer 1997.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="3">Das Modul gehört zum Studienschwerpunkt Numerische Mathematik. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik oder Freier Wahlbereich einbringbar.</td></tr>
</table>

Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Numerik instationärer Differentialgleichungen sind hilfreich, sind aber nicht zwingend erforderlich.
Modul-verantwortliche	Christian Lubich

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-70-06	**Modultitel:** Numerik für Differentialgleichungen auf Oberflächen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	6		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		

Modulinhalt

Inhalte:

- Numerische Behandlung von Differentialgleichungen auf bewegten (oder stationären) Oberflächen.
- Semi- und Volldiskretisierung von elliptischen und parabolischen Gleichungen auf Flächen, mithilfe von Oberflächen Finiten Elementen und effizienter Zeitintegratoren.
- Implementierung der Algorithmen.

Qualifikationsziele

Die Studierenden haben die grundlegenden Methoden und Techniken der Numerik für Probleme auf (bewegten) Oberflächen durchdrungen. Insbesondere sind sie vertraut mit den diskutierten Energie-Techniken, die sehr stark, allgemein und anwendungsreich sind, auch in oberflächenunabhängigen Gebieten der Numerik. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Numerik für Differentialgleichungen auf Oberflächen	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur

Exemplarische Literatur:

- Gerhard Dziuk: Finite elements for the Beltrami operator on arbitrary surfaces. 1988.
- Gerhard Dziuk, Charles M. Elliott: Finite elements on evolving surfaces. 2007.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Numerische Mathematik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Algorithmen der Numerik sind hilfreich, aber nicht zwingend erforderlich.
Modul-verantwortliche	Christian Lubich

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-70-11	**Modultitel:** Stochastische Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Stochastische Prozesse, Filtrationen, Martingale. • Wienerprozess, Random Walk, Satz von Donsker. • Diffusions-Halbgruppe, Itos Integral. • Lösung einer stochastischen Differentialgleichung. • Markov-Eigenschaft, Malliavin-Kalkül, Rough-Path-Theorie		
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur Konstruktion von Lösungen stochastischer Differentialgleichungen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe folgende Tabelle		

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Stochastische Differentialgleichungen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Bernt Oksendal: Stochastic differtial equations. Springer 2000.

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Numerische Mathematik* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den Modulen Stochastik und Einführung in die Integrations- und Maßtheorie aus dem Bachelor of Science werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-70-15	**Modultitel:** Numerik stochastischer Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Zufallszahlen-Generatoren, Ito-Taylor-Entwicklung. • Starke und schwache Approximation, Konsistenz. • Euler-Maruyama Verfahren, Milstein-Verfahren, stochastische Runge-Kutta-Verfahren. • Approximation gestoppter Diffusionsprozesse.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur numerischen Approximation von Lösungen stochastischer Differentialgleichungen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Numerik stochastischer Differentialgleichungen	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Peter E. Kloeden, Eckhard Platen: Numerical solution of stochastic differential equations. Springer 1999.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Numerische Mathematik* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Stochastik im Bachelor of Science werden vorausgesetzt.

Modul-verantwortliche	Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: **MAT-70-16**	**Modultitel:** Stochastische optimale Kontrolle im Unendlich-Dimensionalen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** Behandelt werden Themen aus dem Gebiet der stochastischen optimalen Kontrolle, einem Gebiet an der Schnittstelle zwischen Analysis, Optimierung, Partiellen Differentialgleichungen und Stochastik, die die Studierenden bis an die aktuelle Forschung heranführen. Bei der Auswahl der konkreten Themen werden die Vorkenntnisse der Teilnehmer berücksichtigt.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse im Bereich der stochastischen optimalen Kontrolle, die sie in ein aktuelles Forschungsgebiet einführen und ihnen ermöglichen, selbst ein kleines Forschungsprojekt anzugehen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Sochastische Optimale Kontrolle im Unendlich-Dimensionalen	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** •
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Numerische Mathematik* und *Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich werden Kenntnisse aus dem Modul '....' vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-70-22	**Modultitel:** Optimierung mit Differentialgleichungen		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Direkte Methode in der Variationsrechnung, Euler-Lagrange Gleichung. • Brouwer-Minty Satz, nichtlineare Evolutionsgleichungen. • Gateaux- und Frechetdifferenzierbarkeit. • Existenznachweis optimaler Kontrollen, notwendige Optimalitätsbedingungen. • Adjungierte, konvergente Optimierungsmethoden in Banachräumen. • Variationelle Diskretisierungskonzepte.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur Herleitung von Optimalitätsbedingungen für prototypische Steuerungsprobleme mit Nebenbedingungen in Form von partiellen Differentialgleichungen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Optimierung mit Differentialgleichungen	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Michael Hinze, Rene Pinnau, Michael Ulbrich, Stefan Ullrich: Optimization with PDE constraints. Springer 2009.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den *Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie* und *Numerische Mathematik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Inhaltlich ist das Modul Funktionalanalysis Voraussetzung für die Teilnahme an diesem Modul.
Modul-verantwortliche	Andreas Prohl

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-75-03</td><td colspan="2">Modultitel:
Mathematische Statistik</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Inhalte:
• Statistische Modelle, Exponentialfamilien, Suffizienz.
• Sätze von Rao-Blackwell, Lehmann-Scheffe, Cramer-Rao.
• Schätzmethoden, UMVU-Schätzer, Gütekriterien, Asymptotik von Schätzern.
• Hypothesentests, Konfidenzintervalle, Neyman-Pearson Lemma.
• Testmethoden, UMPU-Tests, 1- und 2-Stichprobentests.
• Modelle mit wachsenden Dichtequotienten, nichtparametrische Modelle.
• Einführung in Regression und Varianzanalyse.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden können statistische Zusammenhänge mathematisch modellieren. Sie können statistische Schätz- und Testmethoden mathematisch konstruieren, analysieren, vergleichen und anwenden sowie deren Ergebnisse interpretieren. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.
In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung
(ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Mathematische Statistik</td><td>V</td><td>f</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180
o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>f</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
</table>

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Peter J. Bickel, Kjell A. Doksum: Mathematical Statistics: Basic Ideas and Selected Topics. Chapman & Hall 2016. • Hans-Otto Georgii: Stochastik. De Gruyter 2009. • Erich L. Lehmann, Joseph P. Romano: Testing statistical hypotheses. Springer 2005. • Erich L. Lehmann, George Casella: Theory of point estimation. Springer 1998. • Wiebe R. Pestman: Mathematical Statistics. De Gruyter 2009 • Helmut Pruscha: Vorlesungen über Mathematische Statistik. Springer Vieweg 2000. • Mark J. Schervish: Theory of Statistics. Springer 1995.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Wahrscheinlichkeitstheorie sind hilfreich, sind aber nicht zwingend erforderlich.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle, Martin Zerner

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-75-04	**Modultitel:** Stochastische Prozesse		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** Stochastische Prozesse in stetiger Zeit, wie z. B. • Markovprozesse; • Martingale; • Brownsche Bewegung, Poissonprozesse und allgemeine Levyprozesse; • Gaußprozesse. Betrachtet werden u.a. Existenz- und Konvergenzaussagen sowie Pfadeigenschaften dieser Prozesse.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse, Methoden und Beispiele der Theorie der stochastischen Prozesse in stetiger Zeit kennengelernt und können damit mathematisch umgehen. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Stochastische Prozesse	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Heinz Bauer: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie. De Gruyter 2010. • Joseph L. Doob: Stochastic Processes. Wiley 1990. • Samuel Karlin, Howard Taylor: A First Course in Stochastic Processes. Academic Press 1975. • Samuel Karlin, Howard Taylor: A Second Course in Stochastic Processes. Academic Press 1981. • Götz Kersting, Anton Wakolbinger: Stochastische Prozesse. Birkhäuser 2014. • Achim Klenke: Wahrscheinlichkeitstheorie. Springer 2013. • James R. Norris: Markov Chains. Cambridge University Press 1997.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Fundierte Kenntnisse aus dem Modul Wahrscheinlichkeitstheorie werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle, Martin Zerner

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-75-05	**Modultitel:** Perkolationstheorie			**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3			
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h		Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester			
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig			
Fachsemester	1-3			
Unterrichtssprache	Deutsch			
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS			
Modulinhalt	**Inhalte:** • Kantenperkolation auf Graphen, insbesondere auf mehrdimensionalen Gittern. • Phasenübergänge. • Clusteranzahl und Clustergrößen. • Besonderheiten in zwei Dimensionen. • alternative Perkolationsmodelle.			
Qualifikationsziele	Die Studierenden können spezielle räumlich indizierte Familien von Zufallsvariablen als zufällige geometrische Strukturen interpretieren und wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden zu deren Analyse anwenden. Sie lernen anhand einfacher Modelle kennen, wie mikroskopische Änderungen makroskopische Phasenübergänge zur Folge haben können. Die Studierenden sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern.			
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	siehe Tabelle unten			
Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Bela Bollobás, Oliver Riordan. Percolation. Cambridge University Press 2006. • Geoffrey Grimmett: Percolation. Springer 1999.			
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.			
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Wahrscheinlichkeitstheorie sind hilfreich, aber nicht zwingend erforderlich.			

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung):

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Perkolationstheorie	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100

Modul-verantwortliche	Elmar Teufl, Martin Zerner

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Modulnummer: MAT-75-06	Modultitel: Stochastische Analysis		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	9		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	**Inhalte:** • Martingale und Stoppzeiten in kontinuierlicher Zeit. • Doléans-Maß, Kompensator, Doob-Meyer-Zerlegung. • Stochastisches Integral für quadratisch integrierbare Martingale (insbesondere auch für unstetige Martingale). • Semimartingale, Transformation stochastischer Integrale. • Itô-Formel (insbesondere auch für Prozesse mit Sprüngen). • Stochastische Differentialgleichungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse, Methoden und Beispiele der Theorie der Stochastischen Analysis kennengelernt und können damit mathematisch umgehen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erläutern. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus der Vorlesung erarbeitet. Sie haben dabei gelernt, die Methoden auf neue Probleme zu übertragen, diese zu analysieren und Lösungsstrategien alleine oder im Team zu entwickeln. Sie sind in der Lage, ihre Lösungen zu präsentieren und ggf. im kritischen Diskurs zu vertreten.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Stochastische Analysis	V	f	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	f	2	3					

In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.

Literatur	**Exemplarische Literatur:** • Fabrice Baudoin: Diffusion Processes and Stochastic Calculus. EMS 2014. • Kai Lai Chung and Ruth J. Williams: Introduction to Stochastic Integration. Birkhäuser 1990. • Richard Durrett: Stochastic Calculus. CRC Press 2006. • Albrecht Irle: Finanzmathematik. Teubner 2003. • Ioannis Karatzas, Steven Shreve: Brownian Motion and Stochastic Calculus. Springer 1991. • Michel Métivier: Semimartingales. De Gruyter 1982. • Bernt Oksendal: Stochastic Differential Equations. Springer 2007. • Nicolas Privault: Stochastic Analysis in Discrete and Continuous Settings. Springer 2009. • Daniel Revuz, Marc Yor: Continuous Martingales and Brownian Motion. Springer 1999. • Heinrich von Weizsäcker, Gerhard Winkler: Stochastic Integrals, Vieweg 1990.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum *Studienschwerpunkt Stochastik*. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten *Studienschwerpunkt*, *Vertiefungswissen Mathematik* oder *Freier Wahlbereich* einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Fundierte Kenntnisse zur Wahrscheinlichkeitstheorie werden vorausgesetzt.
Modulverantwortliche	Martin Möhle

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem	: b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform	: MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform	: V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

4 Double-Degree-Programme

4.1 Double-Degree-Programm mit der Università degli Studi di Trento

Im Rahmen des Studiengangs M.Sc. Mathematik können die Studierenden an dem Double-Degree-Programm mit der Università degli Studi di Trento teilnehmen. Nach erfolgreichem Abschluss des Programms erhalten die Studierenden den Abschluss M.Sc. Mathematik an der Universität Tübingen und den Abschluss Laurea Magistrale in Mathematica an der Università degli Studi di Trento. Grundlage hierfür ist das Abkommen zum Double-Degree-Programm der beiden Universitäten, das von den Webseiten des Fachbereichs zum Studiengang M.Sc. Mathematik heruntergeladen werden kann.

Die Lehrveranstaltungen an der Università degli Studi di Trento werden in englischer Sprache angeboten, die Lehrveranstaltungen an der Universität Tübingen in deutscher oder englischer Sprache. Studierende der Università degli Studi di Trento müssen deshalb deutsche Sprachkenntnisse (DSH-2 oder DSH-3) nachweisen, Studierende der Universität Tübingen müssen englische Sprachkenntnisse (GER B2) nachweisen. Für die Studierenden fallen Studiengebühren jeweils nur, soweit vorgesehen, an der eigenen Universität an.

Studierende der Universität Tübingen studieren das erste Studienjahr an der Universität Tübingen und das zweite an der Università degli Studi di Trento; bei den Studierenden der Università degli Studi di Trento ist es umgekehrt. An beiden Universitäten erwerben die Studierenden jeweils 60 Leistungspunkte; die Abschlussarbeit ist im zweiten Studienjahr zu schreiben.

Die Leistungen, die im Rahmen des Studiums an den beiden Standorten erbracht werden, werden auf die Leistungen beider Studiengänge angerechnet, soweit sie den Leistungen im Wesentlichen gleichwertig sind, auf die sie angerechnet werden sollen. Die Anrechenbarkeit der angestrebten Leistungen wird für die Studierenden aus Tübingen durch den Studien- und Prüfungsplan sichergestellt, der mit der persönlichen Mentorin oder dem persönlichen Mentor besprochen und von einer für den Studiengang zuständigen gemeinsamen Kommission der beiden Hochschulen gebilligt werden muss. Die Umrechnung der Noten im Rahmen der Anerkennung erfolgt gemäß der Umrechnungstabelle im Anhang des Abkommens zum Double-Degree-Programm.

Alle in diesem Modulhandbuch aufgeführten Module können im Rahmen des Double-Degree-Programms an beiden Standorten eingebracht werden. Informationen zu den jeweils aktuell zum Studienprogramm an der Università degli Studi di Trento gehörenden Modulen sind unter der URL

`http://offertaformativa.unitn.it/en/lm/mathematics/course-content`

zu finden; Informationen zum Angebot im jeweils aktuellen Semester sowie eine Beschreibung der Module können im Vorlesungsverzeichnis unter der URL

`https://www.esse3.unitn.it/Guide/PaginaRicercaInse.do?cod_lingua=eng`

eingesehen werden. Eine Liste der Module, die zum Zeitpunkt des Abschlusses des Abkommens an der Università degli Studi di Trento zum regelmäßigen Angebot gehörten, ist zudem Bestandteil des Abkommens zum Double-Degree-Programm.