



Fachbereich Mathematik

Modulhandbuch

Mathematik

Master of Science*

Wintersemester 2026

Stand 20. August 2026

*Gültig für die Studien- und Prüfungsordnung von 2026.

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung des Studiengangs	3
1.1	Studiengangskonzept und Qualifikationsziele	3
1.2	Struktur des Studiengangs	4
1.3	Mentorinnen und Mentoren, Studien- und Prüfungspläne	5
2	Studienverlaufsplan	6
2.1	Übersicht nach Modulen	6
2.2	Übersicht nach Studienverlauf	7
2.3	Auswahl möglicher Studienverläufe	7
2.4	Übersicht nach Studienverlauf und Prüfungsanforderungen	10
3	Modulbeschreibungen	12
	Abschnitt 1: Studienschwerpunkt	12
	Abschnitt 2: Vertiefungswissen Mathematik	14
	Abschnitt 3: Freier Wahlbereich	14
	Abschnitt 4: Wissenschaftliches Arbeiten	17
	Module vom Typ Einführende Module	21
	Module, die in regelmäßigem Turnus (mindestens alle zwei Jahre) angeboten werden	21
	Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden	21
	Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie	23
	Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie	24
	Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik	25
	Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung	25
	Module im Studienschwerpunkt Stochastik	26
	Modulbeschreibungen (Einführende Module)	27
	Module vom Typ Vertiefende Module	166
	Module, die in regelmäßigem Turnus (mindestens alle zwei Jahre) angeboten werden	166
	Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden	166
	Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie	168
	Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie	169
	Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik	170
	Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung	171
	Module im Studienschwerpunkt Stochastik	171
	Modulbeschreibungen (Vertiefende Module)	172
4	Double-Degree-Programme	311
4.1	Double-Degree-Programm mit der Università degli Studi di Trento	311

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 sowie Ausdauer.

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 auseinandersetzen 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 und Optimierung ,
- 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 einführenden Modulen des jeweiligen Studienschwerpunktes (siehe Liste der einführenden Module, S. 21) angeboten werden. Im Abschnitt *Studienschwerpunkt* sollen deshalb möglichst nur vertiefende Module (siehe Liste der vertiefenden Module, S. 166) und keine einführenden Module eingebracht werden.

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.

EFS	Modul-nummer	Modultitel	Art der Veranstaltung	Art des Moduls	Studienleistung	Prüfungsform	ECTS-Punkte
Abschnitt 1: Studienschwerpunkt							
1-3		Zusätzlich zum Modul Seminar Studienschwerpunkt Module im Umfang von 18 LP gemäß der näheren Regelungen in 3 Modulbeschreibungen		PMW			18
2-3	MAT-40-01	Seminar Studienschwerpunkt	S	PMW	s.M.	R	3
Abschnitt 2: Vertiefungswissen Mathematik							
1-3		Module im Umfang von 30-33 LP gemäß der näheren Regelungen in 3 Modulbeschreibungen		PMW			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		MA+mP	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Studienleistung : ÜN=Übungsnachweis Sonstiges : o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, EFS=empfohlenes Fachsemester							

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.

Schematischer Studienverlaufsplan				
FS	LP	Kernbereich Mathematik		Freier Wahlbereich
1	30	Studienschwerpunkt (21 LP)	Vertiefungswissen Mathematik (30-33 LP)	Freier Wahlbereich (27-30 LP)
2	30			
3	30	Wissenschaftliches Arbeiten (39 LP)		
4	30			
Erläuterung der Abkürzungen: FS=Fachsemester, LP=Leistungspunkte (ECTS-Punkte)				

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.

Unspezifischer exemplarischer Studienverlaufsplan					
FS	LP	Kernbereich Mathematik			Freier Wahlbereich
1	30	Studienschwerpunkt: Vertiefende Vorlesung (9 LP)	Vertiefungswissen Mathematik: Einführende Vorlesung (9 LP)	Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung (3 LP)	Freier Wahl- bereich (27-33 LP)
2	30	Studienschwerpunkt: Vertiefende Vorlesung (9 LP)	Studienschwerpunkt: Seminar (3 LP)	Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung (9 LP)	
3	30	Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten (9 LP)	Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung (9 LP)	Vertiefungswissen Mathematik: Vertiefende Vorlesung (3 LP)	
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

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)	Informationsgeometrie (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 Analysis 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 Kapitel aus der Theorie dynamischer Systeme (3 LP)	Wahrscheinlichkeitstheorie (9 LP)
4	30	Masterarbeit (30 LP)			

Studienverlaufsplan im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung					
FS	LP	Kernbereich Mathematik			Freier Wahlbereich
1	30	Optimierung mit Differentialgleichungen (9 LP)	Einführung in die partiellen Differentialgleichungen (9 LP)	$SL_2(\mathbb{R})$ (3 LP)	Theor. Informatik 1 (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)	$SL_2(\mathbb{R})$ (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)	Mikroökonomie (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. vertiefendes Modul 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. vertiefendes Modul 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 einführenden Module								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. vertiefendes Modul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								2	3				
1.	Vorlesung	mP	20–30	b	3	V	o	2		3			
2. vertiefendes Modul (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. vertiefendes Modul (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	
4. vertiefendes Modul (nicht aus dem Studienschwerpunkt)								2	3				
1.	Vorlesung	mP	20–30	b	3	V	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
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 + mP		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.=Kolloquium, 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 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). Es soll sich möglichst um vertiefende Module handeln. Module aus der Liste der Module Weitere Seminare können hier nicht eingebracht werden oder Module, die ohne Prüfungsleistung 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.		

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	Der erfolgreiche Abschluss des Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme am Abschlussmodul M.Sc. Mathematik.									
Teilnahmevoraussetzungen	Die Teilnahme am Modul setzt den Erwerb von 9 Leistungspunkten aus Modulen des Studienschwerpunktes voraus.									
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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 mit einführenden oder vertiefenden Modulen zu erbringen. Dabei sind folgende einschränkende 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 mit einer Prüfungsleistung abschließen;
- es müssen Module aus mindestens zwei voneinander und vom gewählten Studienschwerpunkt verschiedenen Studienschwerpunkten im Umfang von je mindestens 9 Leistungspunkten eingebracht werden.

Durch die einschränkende 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 bereitzustellen.

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 der einführenden Module 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>

Im folgenden werden einige Module aus dem Angebot des Fachbereichs Mathematik aufgelistet, die nur in diesem Abschnitt eingebracht werden können.

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	• 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 <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine 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, P=Portfolio

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
IC=Inverted Classroom

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	• 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)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Wissenschaftliches Projekt	P	o	1	9	ja	-	-	nb	-

Verwendbarkeit	Der erfolgreiche Abschluss dieses Moduls ist Voraussetzung für die Teilnahme am Abschlussmodul.
Teilnahme-voraussetzungen	Erwerb von mindestens 30 Leistungspunkten aus den Abschnitten Studienschwerpunkt und Vertiefungswissen Mathematik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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: regelmäßig, nach Bedarf	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. In der Masterarbeit soll eine Fragestellung bearbeitet werden, die dem gewählten persönlichen Studienschwerpunkt zuzuordnen ist.		
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+mP	-	b	100
Die mündliche Prüfung wird nur mit bestanden oder nicht bestanden bewertet. Die Modulnote ist die Note der Masterarbeit. Das Modul ist nur bestanden, wenn beide Prüfungsleistungen bestanden sind. Thema der mündlichen Prüfung sind die Inhalte der Masterarbeit.										
Verwendbarkeit	-									
Teilnahmevoraussetzungen	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.									
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Module vom Typ Einführende Module

Bei den *einführenden Modulen* 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

• Algorithmen der Numerischen Mathematik (MAT-70-01, 9 LP)	122
• Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie (MAT-45-01, 9 LP)	28
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-21, 9 LP)	82
• Foundations of Quantum Mechanics (MAT-65-15, 9 LP)	116
• Funktionalanalysis (MAT-55-01, 9 LP)	78
• Geometry in Physics (MAT-65-11, 9 LP)	110
• Kommutative Algebra (MAT-45-02, 9 LP)	30
• Mathematical Quantum Theory (MAT-65-12, 9 LP)	112
• Mathematische Statistik (MAT-75-03, 9 LP)	156
• Numerik stationärer Differentialgleichungen (MAT-70-02, 9 LP)	124
• Seminar mathematische Bereiche (MAT-30-30, 3 LP)	27
• Statistisches Lernen 1 (MAT-70-31, 9 LP)	142
• Wahrscheinlichkeitstheorie (MAT-75-01, 9 LP)	154

Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden

• Algebraische Kurven und Riemannsche Flächen (MAT-50-29, 9 LP)	72
• Algebraische Topologie 1 (MAT-50-21, 9 LP)	70
• Algebraische Zahlentheorie (MAT-45-21, 9 LP)	34
• Automorphe Formen (MAT-55-53, 4,5 LP)	98
• Bayessche Netzwerke und Kausalität (MAT-75-21, 4,5 LP)	160
• Darstellungstheorie endlicher Gruppen (MAT-45-31, 6 LP)	48
• Einführung in Dynamische Systeme (MAT-55-34, 3 LP)	86
• Einführung in Geometrische Maßtheorie (MAT-55-41, 9 LP)	88
• Einführung in Geometrische Maßtheorie – Maßtheoretische Methoden (MAT-55-44, 4,5 LP)	90
• Einführung in Geometrische Maßtheorie – Varifaltigkeiten (MAT-55-45, 4,5 LP)	92
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen – Teil 1 (MAT-55-25, 4,5 LP)	84
• Einführung in Riemannsche Flächen (MAT-50-15, 4,5 LP)	66
• Einführung in Stochastische Differentialgleichungen - Teil 1 (MAT-70-12, 4,5 LP)	132
• Einführung in die Analytische Zahlentheorie (MAT-45-26, 3 LP)	42

• Einführung in die Berkovich Geometrie (MAT-45-20, 3 LP)	32
• Einführung in die Mathematische Logik (MAT-55-60, 4,5 LP)	100
• Einführung in die Optimierung (MAT-70-20, 6 LP)	136
• Elementare Zahlentheorie (MAT-45-25, 6 LP)	40
• Elliptische Kurven und Kryptographie (MAT-45-27, 9 LP)	44
• Explizite Mathematik (MAT-55-65, 6 LP)	106
• Finanzmathematik und Numerik (MAT-70-51, 6 LP)	152
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1 (MAT-50-10, 9 LP)	58
• Geometrische Gruppentheorie (MAT-50-30, 9 LP)	74
• Gewöhnliche Differentialgleichungen - Analysis und Numerik (MAT-70-04, 9 LP)	126
• Graphentheorie (MAT-75-10, 9 LP)	158
• Groups and Representations (MAT-65-05, 9 LP)	108
• Hyperbolische Geometrie: axiomatisch, spiegellungsgeometrisch, algebraisch (MAT-50-50, 9 LP)	76
• Informationsgeometrie (MAT-50-12, 3 LP)	60
• Informationstheorie, Mustererkennung und neuronale Netze (MAT-75-22, 3 LP)	162
• Interacting Many-Body Quantum Systems (MAT-65-40, 9 LP)	120
• Konvexe Geometrie (MAT-50-02, 9 LP)	52
• Kryptographie (MAT-45-23, 4,5 LP)	38
• Lie-Gruppen (MAT-55-51, 9 LP)	96
• Lineare Kontrolltheorie (MAT-55-07, 6 LP)	80
• Mathematical Statistical Physics (MAT-65-14, 9 LP)	114
• Mathematische Aspekte der 3d Computervision (MAT-50-13, 6 LP)	62
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 1 (MAT-50-14, 3 LP)	64
• Mathematische Beweistheorie (MAT-55-64, 6 LP)	104
• Mathematische Einführung in Data Science (MAT-70-34, 4,5 LP)	146
• Nicht-parametrische Schätzung von Verteilungen (MAT-75-23, 4,5 LP)	164
• Numerik stochastischer Differentialgleichungen (MAT-70-15, 3 LP)	134
• Optimale Kontrolle mit Gewöhnlichen Differentialgleichungen (MAT-70-05, 4,5 LP)	128
• Optimaler Transport (MAT-70-35, 9 LP)	148
• Optimierung mit Differentialgleichungen (MAT-70-22, 9 LP)	138
• Problemlösestrategien (MAT-45-32, 4,5 LP)	50
• Propagation des Chaos (MAT-65-39, 9 LP)	118
• Software-Obfuscierung: Gemischte boolesch-arithmetische Ausdrücke (MAT-45-30, 4,5 LP)	46
• Spieltheorie (MAT-70-40, 3 LP)	150
• Stochastische Differentialgleichungen (MAT-70-11, 9 LP)	130
• Theoretical Aspects of Machine Learning (MAT-70-30, 6 LP)	140
• Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben (MAT-70-33, 9 LP)	144
• Topologie (MAT-50-20, 3 LP)	68

• Tropische Enumerative Geometrie (MAT-50-04, 9 LP)	54
• Tropische Enumerative Geometrie - Teil 1 (MAT-50-05, 4,5 LP)	56
• Variationsrechnung (MAT-55-49, 4,5 LP)	94
• Widerspruchsfreiheitsbeweise (MAT-55-62, 6 LP)	102
• Zahlentheorie und Kryptographie (MAT-45-22, 9 LP)	36

Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie

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

• Algebraische Kurven und Riemannsche Flächen (MAT-50-29, 9 LP)	72
• Algebraische Topologie 1 (MAT-50-21, 9 LP)	70
• Algebraische Zahlentheorie (MAT-45-21, 9 LP)	34
• Automorphe Formen (MAT-55-53, 4,5 LP)	98
• Darstellungstheorie endlicher Gruppen (MAT-45-31, 6 LP)	48
• Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie (MAT-45-01, 9 LP)	28
• Einführung in Riemannsche Flächen (MAT-50-15, 4,5 LP)	66
• Einführung in die Analytische Zahlentheorie (MAT-45-26, 3 LP)	42
• Einführung in die Berkovich Geometrie (MAT-45-20, 3 LP)	32
• Elementare Zahlentheorie (MAT-45-25, 6 LP)	40
• Elliptische Kurven und Kryptographie (MAT-45-27, 9 LP)	44
• Explizite Mathematik (MAT-55-65, 6 LP)	106
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1 (MAT-50-10, 9 LP)	58
• Geometrische Gruppentheorie (MAT-50-30, 9 LP)	74
• Graphentheorie (MAT-75-10, 9 LP)	158
• Groups and Representations (MAT-65-05, 9 LP)	108
• Informationsgeometrie (MAT-50-12, 3 LP)	60
• Kommutative Algebra (MAT-45-02, 9 LP)	30
• Konvexe Geometrie (MAT-50-02, 9 LP)	52
• Kryptographie (MAT-45-23, 4,5 LP)	38
• Lie-Gruppen (MAT-55-51, 9 LP)	96
• Mathematische Aspekte der 3d Computervision (MAT-50-13, 6 LP)	62
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 1 (MAT-50-14, 3 LP)	64
• Mathematische Beweistheorie (MAT-55-64, 6 LP)	104
• Problemlösestrategien (MAT-45-32, 4,5 LP)	50
• Software-Obfuskiierung: Gemischte boolesch-arithmetische Ausdrücke (MAT-45-30, 4,5 LP)	46
• Topologie (MAT-50-20, 3 LP)	68
• Tropische Enumerative Geometrie (MAT-50-04, 9 LP)	54
• Tropische Enumerative Geometrie - Teil 1 (MAT-50-05, 4,5 LP)	56
• Widerspruchsfreiheitsbeweise (MAT-55-62, 6 LP)	102
• Zahlentheorie und Kryptographie (MAT-45-22, 9 LP)	36

Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie

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

• Algebraische Kurven und Riemannsche Flächen (MAT-50-29, 9 LP)	72
• Algebraische Topologie 1 (MAT-50-21, 9 LP)	70
• Automorphe Formen (MAT-55-53, 4,5 LP)	98
• Einführung in Dynamische Systeme (MAT-55-34, 3 LP)	86
• Einführung in Geometrische Maßtheorie (MAT-55-41, 9 LP)	88
• Einführung in Geometrische Maßtheorie – Maßtheoretische Methoden (MAT-55-44, 4,5 LP)	90
• Einführung in Geometrische Maßtheorie – Varifaligkeiten (MAT-55-45, 4,5 LP)	92
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-21, 9 LP)	82
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen – Teil 1 (MAT-55-25, 4,5 LP)	84
• Einführung in Riemannsche Flächen (MAT-50-15, 4,5 LP)	66
• Einführung in die Analytische Zahlentheorie (MAT-45-26, 3 LP)	42
• Einführung in die Berkovich Geometrie (MAT-45-20, 3 LP)	32
• Einführung in die Optimierung (MAT-70-20, 6 LP)	136
• Explizite Mathematik (MAT-55-65, 6 LP)	106
• Funktionalanalysis (MAT-55-01, 9 LP)	78
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1 (MAT-50-10, 9 LP)	58
• Geometrische Gruppentheorie (MAT-50-30, 9 LP)	74
• Geometry in Physics (MAT-65-11, 9 LP)	110
• Gewöhnliche Differentialgleichungen - Analysis und Numerik (MAT-70-04, 9 LP)	126
• Hyperbolische Geometrie: axiomatisch, spiegellungsgeometrisch, algebraisch (MAT-50-50, 9 LP)	76
• Informationsgeometrie (MAT-50-12, 3 LP)	60
• Interacting Many-Body Quantum Systems (MAT-65-40, 9 LP)	120
• Konvexe Geometrie (MAT-50-02, 9 LP)	52
• Lie-Gruppen (MAT-55-51, 9 LP)	96
• Lineare Kontrolltheorie (MAT-55-07, 6 LP)	80
• Mathematische Aspekte der 3d Computervision (MAT-50-13, 6 LP)	62
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 1 (MAT-50-14, 3 LP)	64
• Mathematische Beweistheorie (MAT-55-64, 6 LP)	104
• Optimale Kontrolle mit Gewöhnlichen Differentialgleichungen (MAT-70-05, 4,5 LP)	128
• Optimaler Transport (MAT-70-35, 9 LP)	148
• Optimierung mit Differentialgleichungen (MAT-70-22, 9 LP)	138
• Topologie (MAT-50-20, 3 LP)	68
• Variationsrechnung (MAT-55-49, 4,5 LP)	94
• Widerspruchsfreiheitsbeweise (MAT-55-62, 6 LP)	102

Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik

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

• Einführung in Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-21, 9 LP)	82
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen – Teil 1 (MAT-55-25, 4,5 LP)	84
• Foundations of Quantum Mechanics (MAT-65-15, 9 LP)	116
• Funktionalanalysis (MAT-55-01, 9 LP)	78
• Geometry in Physics (MAT-65-11, 9 LP)	110
• Groups and Representations (MAT-65-05, 9 LP)	108
• Hyperbolische Geometrie: axiomatisch, spiegelungsgeometrisch, algebraisch (MAT-50-50, 9 LP)	76
• Interacting Many-Body Quantum Systems (MAT-65-40, 9 LP)	120
• Mathematical Quantum Theory (MAT-65-12, 9 LP)	112
• Mathematical Statistical Physics (MAT-65-14, 9 LP)	114
• Propagation des Chaos (MAT-65-39, 9 LP)	118
• Variationsrechnung (MAT-55-49, 4,5 LP)	94

Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung

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

• Algorithmen der Numerischen Mathematik (MAT-70-01, 9 LP)	122
• Bayessche Netzwerke und Kausalität (MAT-75-21, 4,5 LP)	160
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-21, 9 LP)	82
• Einführung in Partielle Differentialgleichungen – Teil 1 (MAT-55-25, 4,5 LP)	84
• Einführung in Stochastische Differentialgleichungen - Teil 1 (MAT-70-12, 4,5 LP)	132
• Einführung in die Optimierung (MAT-70-20, 6 LP)	136
• Finanzmathematik und Numerik (MAT-70-51, 6 LP)	152
• Funktionalanalysis (MAT-55-01, 9 LP)	78
• Gewöhnliche Differentialgleichungen - Analysis und Numerik (MAT-70-04, 9 LP)	126
• Informationstheorie, Mustererkennung und neuronale Netze (MAT-75-22, 3 LP)	162
• Mathematische Einführung in Data Science (MAT-70-34, 4,5 LP)	146
• Nicht-parametrische Schätzung von Verteilungen (MAT-75-23, 4,5 LP)	164
• Numerik stationärer Differentialgleichungen (MAT-70-02, 9 LP)	124
• Numerik stochastischer Differentialgleichungen (MAT-70-15, 3 LP)	134
• Optimale Kontrolle mit Gewöhnlichen Differentialgleichungen (MAT-70-05, 4,5 LP)	128
• Optimaler Transport (MAT-70-35, 9 LP)	148
• Optimierung mit Differentialgleichungen (MAT-70-22, 9 LP)	138
• Spieltheorie (MAT-70-40, 3 LP)	150
• Statistisches Lernen 1 (MAT-70-31, 9 LP)	142
• Stochastische Differentialgleichungen (MAT-70-11, 9 LP)	130
• Theoretical Aspects of Machine Learning (MAT-70-30, 6 LP)	140
• Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben (MAT-70-33, 9 LP)	144

Module im Studienschwerpunkt Stochastik

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

• Bayessche Netzwerke und Kausalität (MAT-75-21, 4,5 LP)	160
• Einführung in Stochastische Differentialgleichungen - Teil 1 (MAT-70-12, 4,5 LP)	132
• Finanzmathematik und Numerik (MAT-70-51, 6 LP)	152
• Graphentheorie (MAT-75-10, 9 LP)	158
• Informationsgeometrie (MAT-50-12, 3 LP)	60
• Informationstheorie, Mustererkennung und neuronale Netze (MAT-75-22, 3 LP)	162
• Mathematical Statistical Physics (MAT-65-14, 9 LP)	114
• Mathematische Aspekte der 3d Computervision (MAT-50-13, 6 LP)	62
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 1 (MAT-50-14, 3 LP)	64
• Mathematische Einführung in Data Science (MAT-70-34, 4,5 LP)	146
• Mathematische Statistik (MAT-75-03, 9 LP)	156
• Nicht-parametrische Schätzung von Verteilungen (MAT-75-23, 4,5 LP)	164
• Numerik stochastischer Differentialgleichungen (MAT-70-15, 3 LP)	134
• Optimaler Transport (MAT-70-35, 9 LP)	148
• Propagation des Chaos (MAT-65-39, 9 LP)	118
• Statistisches Lernen 1 (MAT-70-31, 9 LP)	142
• Stochastische Differentialgleichungen (MAT-70-11, 9 LP)	130
• Theoretical Aspects of Machine Learning (MAT-70-30, 6 LP)	140
• Wahrscheinlichkeitstheorie (MAT-75-01, 9 LP)	154

Modulnummer: MAT-30-30	Modultitel: Seminar mathematische Bereiche		Art des Moduls: Pflichtmodul							
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, Übungen, Vortrag, Praktikum, Selbststudium, Gruppenarbeit									
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	-									
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Teilnahmevoraussetzungen.									
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Kommutative Algebra' eingebracht werden.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoistheorie.									
Modulverantwortliche	Daniele Agostini, Jürgen Hausen									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoistheorie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, Thomas Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-20	Modultitel: Einführung in die Berkovich Geometrie				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	3									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h		Kontaktzeit: 60 h			Selbststudium: 120 h				
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	• Nicht-Archimedische Körper, Bewertungen, und Betragsfunktionen. • Ultra-metrische Dreiecksungleichung und induzierte Topologie. • Affinoide Bereiche. • Berkovich affine und projektive Gerade. • Analytifizierung algebraischer Varietäten.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die wichtigsten Beispiele für nicht-Archimedische Körper kennengelernt und haben sich mit deren induzierter Topologie vertraut gemacht. Dabei haben sie die fundamentalen Probleme im Hinblick auf eine Theorie der analytischen Geometrie über diesen Körpern verstanden und Berkovichs Ansatz zur Überwindung dieser Probleme kennengelernt. Die Studierenden haben die projektive Gerade in Berkovichs Sprache sowohl mengentheoretisch als auch topologisch detailliert untersucht. Dabei haben die Studierenden eine Art von geometrischem Raum kennen gelernt, welcher sich grundlegend von anderen Beispielen aus dem Studium (Vektorräume, Varietäten, Mannigfaltigkeiten, etc.) unterscheidet. Bezüge zur algebraischen Geometrie via des Analytifizierungsfunktors sind ihnen 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.									
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 Berkovich Geometrie	V	f	2	3	ja	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 : • Annette Werner: Nichtarchimedische Geometrie. Vorlesungsskript.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoistheorie.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• Ganzzahlringe. • Klassenzahlen. • Der Dirichletsche Einheitensatz. • Erweiterungen von Dedekindringen. • Bewertungstheorie. • Lokale Körper.									
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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoisstheorie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, Anton Deitmar
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 Nachbar-disziplinen 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.		

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
	Number Theory and Cryptography	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • 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.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Elliptische Kurven und Kryptographie' eingebracht werden.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.									
Modulverantwortliche	Thomas Markwig									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-45-23	Modultitel: Kryptographie		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	4,5		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	• Kurze Wiederholung zentraler Begriffe und Resultate aus Algebra und Zahlentheorie. • Historische Chiffren und deren Kryptoanalyse (Caesar, Vigenere, Substitution); Verschlüsselungsverfahren. • Diffie-Hellman-Verfahren und schnelle Exponentiation. • Diskrete Logarithmen: Shanks Algorithmus und Pollards Rho-Methode. • RSA-Verfahren: Korrektheit, Sicherheit und Angriffe. • Signaturverfahren.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Begriffe und Ergebnisse der elementaren Zahlentheorie und Algebra sowie deren Anwendung in der Kryptographie. Sie können die behandelten Verfahren in Python bzw. SageMath exemplarisch umsetzen und wissen, worauf dabei zu achten ist. Anhand klassischer Chiffren verstehen sie typische Stärken und Schwächen; sie beherrschen das Diffie-Hellman-Verfahren und kennen die Man-in-the-Middle-Attacke. Sie können diskrete Logarithmen in zyklischen Gruppen berechnen, verstehen das RSA-Verfahren und können die Empfehlungen des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) einordnen. In verschiedenen Angriffsszenarien sind sie in der Lage, bei fehlenden Voraussetzungen Schwachstellen des RSA-Verfahrens aufzuzeigen. 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. Die Übungen sind zentraler Bestandteil und unterstützen die Studierenden dabei, eigenständig und praxisnah zu arbeiten - insbesondere mit CAS-Systemen wie SageMath. 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
	Kryptographie	V	f	2	3	ja	mP	20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
	In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein.									
Literatur	Exemplarische Literatur : • Jeffrey Hoffstein, Jill Pipher, Joseph H. Silverman: An introduction to mathematical cryptography. Springer 2008. • Christian Karpfinger, Hubert Kiechle: Kryptologie, Algebraische Methoden und Algorithmen, Vieweg 2010. • Dan Boneh, Victor Shoup: A Graduate Course in Applied Cryptography. 2023 (online Version: https://toc.cryptobook.us/). • Jonathan Katz, Yehuda Lindell: Introduction to Modern Cryptography. Chapman and Hall/CRC 2020.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Zahlentheorie und Kryptographie' eingebracht werden.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.									
Modulverantwortliche	Thomas Markwig									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Literatur	Exemplarische Literatur : • Friedhelm Padberg: Elementare Zahlentheorie. Spektrum Akademischer Verlag 2001. • Stefan Mueller-Stach, J. Piontkowski: Elementare und algebraische Zahlentheorie. Vieweg 2006.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
Modul-verantwortliche	Thomas Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Funktionentheorie.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-27	Modultitel: Elliptische Kurven 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	• Grundlegende Konzepte der Kryptographie. • Symmetrische Kryptosysteme, Public Key Systeme, diskreter Logarithmus, RSA. • Primfaktorzerlegung, Angriffe auf Kryptosysteme. • Grundlegende Konzepte der projektiven Geometrie. • Elliptische Kurven als abelsche Gruppen. • Kurven über endlichen Körpern, Frobenius Morphismus, Endomorphismenring. • Punkte Zählen, Hasse-Schranke, Weil Vermutungen, Schoofs Algorithmus. • Kryptosysteme auf elliptischen Kurven, Algorithmen und Angriffe.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Aufgabenstellungen und Konzepte der Kryptographie. Sie verstehen die kryptographisch motivierten Fragestellungen an elliptische Kurven, und haben Einblick in die fortgeschrittenen algebraischen und geometrischen Techniken zu deren Beantwortung. Sie verstehen die Herausforderungen der algorithmischen Umsetzung und kennen Standardalgorithmen. 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 Kurven und Kryptographie	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Albrecht Beutelspacher, Jörg Schwenk, Klaus-Dieter Wolfenstetter: Moderne Verfahren in der Kryptographie. Springer 2015. • 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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Zahlentheorie und Kryptographie' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoistheorie, • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Funktionentheorie.
Modul-verantwortliche	Thomas Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Yongxin Zhou, Andrew Main, Yuxin Gu, Harrison Johnson. Information Hiding in Software with Mixed Boolean-Arithmetic Transforms. In: International Workshop on Information Security Applications (WISA). Springer, 2007, pp. 6175. • Bernhard Reichenwallner, Peter Meerwald-Stadler. Ecient Deobfuscation of Linear Mixed Boolean-Arithmetic Expressions. In: Proceedings of the 15th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security (AISec 2022). ACM, 2022, pp. 119130.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus der Linearen Algebra und dem Teilmodul Algebraische Strukturen vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Thomas Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-31	Modultitel: Darstellungstheorie endlicher Gruppen				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	• Gruppen und Gruppenwirkungen. • Darstellungen, Irreduzibilität, Schursches Lemma. • Halbeinfachheit, Satz von Maschke. • Charaktere, Orthogonalitätsrelationen. • Isotypische Zerlegung, Charaktertafeln. • Darstellungen der symmetrischen Gruppe. • halbeinfache Artinsche Algebren.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen in der Vorlesung die Grundzüge der Darstellungstheorie und entwickeln ein Verständnis für das Zusammenwirken geometrischer und algebraischer Methoden. 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
	Darstellungstheorie endlicher Gruppen	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • William Fulton, Joe Harris: Representation theory. Springer 1991. • Bertram Huppert: Character theory of finite groups. De Gruyter 1998. • Serge Lang: Algebra. Springer 2002. • Jean-Pierre Serre: Linear representations of finite groups. Springer 1977.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Group Representations in Physics' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
Modul-verantwortliche	Jürgen Hausen, Thomas Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-32	Modultitel: Problemlösestrategien		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	4,5		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	• Basic Tricks and Reductions. • Proofs and Logic. • Sets and Functions. • Elementary Combinatorics. • Counting and Cardinalities. • Pigeonhole Principle aka Box Principle. • Bounding, Estimation, and Inequalities. • Extremal Principle. • Invariance Principle: Invariants and Monovariants. • Colouring Proofs. • Graph-Theoretic Modelling.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben einen vielseitig einsetzbaren Werkzeugkasten mathematischer und heuristischer Problemlösungsstrategien, auf den sie sowohl im weiteren Studium als auch gegebenenfalls beim wettbewerbsorientierten Lösen mathematischer Probleme zurückgreifen können. Dazu gehören grundlegende Resultate und Beweistechniken ebenso wie typische Strukturmerkmale eines Problems, anhand derer sich geeignete Lösungsansätze erkennen oder ungeeignete Strategien frühzeitig ausschließen lassen. 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.		

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Grigory Mikhalkin, Johannes Rau: Tropical geometry. Manuscript 2018.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Tropische Enumerative Geometrie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
Modulverantwortliche	Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• Mannigfaltigkeiten und Untermannigfaltigkeiten. • Vektorfelder und Flüsse. • Metriken, Grundlagen der Riemannschen Geometrie. • Vektorbündel und Zusammenhänge. • Komplexe Strukturen. • 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)										
	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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Geometry in Physics' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-12	Modultitel: Informationsgeometrie					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	- Grundlagen der Informationsgeometrie (z.B. Fisher-Informationsmetrik und duale Zusammenhänge für parametrische statistische Modelle, Kullback-Leibler Divergenz, natürlicher Gradient). - Anwendung auf neuronale Datenverarbeitung (insbesondere SSupervised Learningin künstlichen neuronalen Netzen).									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ein elementares Verständnis davon, wie man Konzepte der Differentialgeometrie auf Probleme der Informationstheorie und Statistik anwenden kann. 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
	Informationsgeometrie	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 : - Shun-Ichi Amari, Hiroshi Nagaoka: Methods of Information Geometry. AMS 2001. - Anthony C. C. Coolen, Reimer Kuehn, Peter Sollich: Theory of Neural Information Processing Systems. OUP 2005. - Shun-Ichi Amari: Natural Gradient works Efficiently in Learning. Neural Computation 1998. - Yann Ollivier: Riemannian Metrics for Neural Networks I - Feedforward Networks. Information and Inference, IMA 2015.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Richard Hartley, Andrew Zisserman: Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press 2003. • Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, Dieter Fox: Probabilistic Robotics. MIT Press 2005. • Luca Carlone, Ayoung Kim, Timothy D. Barfoot, Daniel Cremers, Frank Dellaert: SLAM Handbook: From Localization and Mapping to Spatial Intelligence. Cambridge University Press 2026.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> sowie <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-12 Stochastik. Darüber hinaus sind Kenntnisse des Deep Learning erforderlich, wie sie etwa im Modul MAT-50-14 vermittelt werden.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-14	Modultitel: Mathematische Aspekte des Deep Learning 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	• Künstliche neuronale Netze und deren Training mittels Backpropagation/Stochastischem Gradientenabstieg. Wahrscheinlichkeitsbasierte Interpretation. Mathematische Fragestellungen in der Wissenschaft neuronaler Netze. • Klassische Architekturen für Computer Vision (CNNs) und sequenzielle Daten (RNNs). (Selbst-)überwachtes Lernen. • Transformer-Modelle, eine moderne Architektur basierend auf dem Attention-Mechanismus und deren Anwendungen in der natürlichen Sprachverarbeitung (GPT) und der Computer Vision. • Einfache neurowissenschaftliche Modelle für neuronale Netze. Biologische Plausibilität von Backpropagation und Transformern.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die Grundlagen der Informationsverarbeitung mittels künstlicher neuronaler Netze und biologisch plausible Alternativen kennen gelernt. Sie sind mit modernen Architekturen und den daraus resultierenden mathematischen Fragestellungen 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Mathematische Aspekte des Deep Learning 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 : • Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville: Deep Learning. MIT 2016. • Simon J. D. Price: Understanding Deep Learning. MIT Press 2023. • Christopher M. Bishop, Hugh Bishop: Deep Learning - Foundations and Concepts. Springer 2024.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-12 Stochastik.
Modulverantwortliche	Christoph Bohle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-15	Modultitel: Einführung in Riemannsche Flächen		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	4,5		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	• Überlagerungen und Fundamentalgruppen. • Topologische Klassifikation der Flächen. • Satz von Riemann-Hurwitz. • Differentialformen und Integration. • Garben und Kohomologie. • Satz von Riemann-Roch. • Serre-Dualität. • Kobayashi Metrik. • Großer Satz von Picard.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden entwickeln einen Zugang zu abstrakten Flächen und verstehen Klassifikationstechniken, die auf lokal-zu-global-Schlussweisen beruhen. Sie erfassen im Begriff der Holomorphie die Rigiditätsprinzipien, die sich aus analytischen Eigenschaften ergeben. Die Studierenden sehen am Grabenbegriff, wie grundlegende Fragestellungen in natürlicher Weise zu zunehmend abstrakteren Begriffsbildungen führen und wie mit diesen letztlich die Fragestellungen beantwortet werden können. Sie lernen dabei, wie Geometrie und Analysis zusammenhängen und vielfach einander bedingen. 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.		

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 Riemannsche Flächen	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
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. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										
Literatur	Exemplarische Literatur : • Hershel M. Farkas, Irwin Kra: Riemann Surfaces. Springer 1992. • Otto Forster: Riemannsche Flächen. Springer 1977. • Klaus Lamotke: Riemannsche Flächen. Springer 2009. • Jürgen Jost: Compact Riemann surfaces. Springer 2006.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Riemannsche Flächen' eingebracht werden.									
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Funktionentheorie.									
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar, Reiner Schätzle									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Ulrich Groh, Rainer Nagel
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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-Hill 1966. • Ralph Stöcker, Heiner Zieschang: Algebraische Topologie. Teubner 1994.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-29	Modultitel: Algebraische Kurven und Riemannsche Flächen		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	• Kompakte Riemannsche Flächen. • Normalisierungssatz ebener Kurven. • Topologisches Geschlecht. • Überlagerungen. • Formen und Integration. • Garben und Kohomologie. • Hodge-Theorie. • Arithmetisches und geometrisches Geschlecht. • Satz von Abel. • Satz von Riemann-Roch. • Serre-Dualität. • Jacobische und abelsche Varietäten. • Riemannsche Bilinearbeziehungen. • Jacobi-Umkehrproblem. • Elliptische Kurven und Funktionen. • J-Invariante. • Uniformisierung. • Topologie nicht-kompakter Riemannsche Flächen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden entwickeln einen Zugang zu abstrakten Flächen und verstehen Klassifikationstechniken, die auf lokal-zu-global-Schlussweisen beruhen. Sie erfassen im Begriff der Holomorphie die Rigiditätsprinzipien, die sich aus analytischen Eigenschaften ergeben. Die Studierenden sehen am Grabenbegriff, wie grundlegende Fragestellungen in natürlicher Weise zu zunehmend abstrakteren Begriffsbildungen führen und wie mit diesen letztlich die Fragestellungen beantwortet werden können. Sie lernen dabei, wie Geometrie und Analysis zusammenhängen und vielfach einander bedingen. 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.		

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 Kurven und Riemannsche Flächen	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 9 nur 6 Leistungspunkte vergeben.										
Literatur	Exemplarische Literatur : • Frederice Mangolte: Real Algebraic Varieties. Springer 2020. • Robert Silhol: Real Algebraic Surfaces. Springer 1989. • Riccardo Benedetti, Jean-Jacques Risler: Real Algebraic and Semi-algebraic Sets. Editions Herrmann 1990. • Alex Degtyarev, Viatcheslav Kharlamov: Topological properties of real algebraic varieties: du côté de chez Rokhlin. arXiv:math/0004134.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul <i>Einführung in Riemannsche Flächen</i> eingebracht werden.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.									
Modulverantwortliche	Daniele Agostini, Ivo Radloff									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-50-30	Modultitel: Geometrische Gruppentheorie			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	• Gruppenaktionen auf Graphen, freie Gruppen. • Quasiisometrien. • Wachstumstypen. • Hyperbolische Gruppen. • Enden.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen, Eigenschaften von endlich erzeugten Gruppen mit Hilfe geometrischer Werkzeugen zu untersuchen, ausgehend vom Cayleygraphen der Gruppe. Sie sind in der Lage, die geometrischen Eigenschaften der Cayleygraphen mit Hilfe analytischer Methoden zu untersuchen und ihre Zusammenhänge zu der zugrundeliegenden Gruppe herauszuarbeiten. Die Studierenden verstehen, wie Grundlagen aus der Algebra und der Analysis zusammenwirken können, um eine neue Theorie an der Schnittstelle von Algebra und Geometrie zu entwickeln, die zu interessanten Aussagen über Gruppen führt. 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Geometrische Gruppentheorie	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Clara Löh: Geometric Group Theory - an Introduction. Springer 2017. • Thorsten Camps, Volkmar Große Rebel, Gerhard Rosenberger: Einführung in die kombinatorische und die geometrische Gruppentheorie. Heldermann Verlag 2008.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Friedrich Bachmann: Aufbau der Geometrie aus dem Spiegelungsbegriff. Springer 1959. • Robin Hartshorne: Geometry: Euclid and beyond. Springer 2000. • Helmut Karzel, Kay Sörensen, Dirk Windelberg: Einführung in die Geometrie. Vandenhoeck und Ruprecht 1973.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-20-06 Einführung in Geometrie.
Modul-verantwortliche	Hermann Hähl, Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	Anton Deitmar, Reiner Schätzle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Hans Wilhelm Knobloch, Huibert Kwakernaak: Lineare Kontrolltheorie. Springer 1985. • Jerzy Zabczyk: Mathematical Control Theory. Birkhäuser 1992. • Ruth F. Curtain, Hans Zwart: An Introduction to Infinite-Dimensional Systems Theory. Springer 1995.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Einführung in Partielle Differentialgleichungen und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huiskens, Reiner Schätzle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-34	Modultitel: Einführung in Dynamische 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	• 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 gewöhnliche 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.									
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 Dynamische Systeme	V	f	2	3	nein	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Dynamische Systeme' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Gewöhnliche Differentialgleichungen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-44	Modultitel: Einführung in Geometrische Maßtheorie – Maßtheoretische Methoden				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Maße, Überdeckungssätze, Differentiation von Maßen, Hausdorff-Maße und -Dichten. • Isodiametrische Ungleichung. • Sätze von Rademacher und Whitney.									
Qualifikationsziele	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 maßtheoretischen 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.									
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 Geometrische Maßtheorie – Maßtheoretische Methoden	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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, 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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Einführung in die Geometrische Maßtheorie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Einführung in die Geometrische Maßtheorie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-49	Modultitel: Variationsrechnung				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Direkte Methode der Variationsrechnung. • Euler-Lagrange Gleichungen. • Palais-Smale Bedingung. • Mountain-Pass Lemma nach Ambrosetti-Rabinowitz.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben im ersten Teil der Veranstaltung die direkte Methode der Variationsrechnung erlernt, welche in erster Linie zum Nachweis der Existenz von schwachen Lösungen partieller Differentialgleichungen dient, aber auch Anwendungen in z.B. der Differentialgeometrie besitzt. Sie haben sich zudem die dafür nötigen Grundlagen aus der Funktionalanalysis und den partiellen Differentialgleichungen erarbeitet und können diese auch in einem anderen Kontext, z.B. der geometrischen Analysis, verwenden. Im zweiten Teil der Veranstaltung haben die Studierenden ein sogenanntes Mountain-Pass Lemma kennengelernt. Mit dessen Hilfe können sie Nichteindeutigkeiten bei der Existenz von Lösungen partieller Differentialgleichungen untersuchen. 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
	Variationsrechnung	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 Struwe: Variational Methods, Springer 2008. • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, Springer 1998. • Walter Rudin: Functional Analysis, Mc Graw Hill Education 1991.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-04 Integration auf Untermannigfaltigkeiten des $\mathbb{R}^n$.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-53	Modultitel: Automorphe Formen			Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit						
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h		Kontaktzeit: 45 h		Selbststudium: 105 h					
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Modulformen für die Modulgruppe und ihre Kongruenzuntergruppen. • Beispiele: Eisenstein-Reihen, Ramanujansche Delta Funktion, Theta-Reihen. • Modulkurven. • Arithmetische Anwendungen und Vermutungen. • Hecke Operatoren. • Die L-Funktion eines Modulforms und ihre Verbindungen mit Elliptischen Kurven.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe und Methoden der Theorie der Automorphen Formen in Beispielen kennengelernt und können damit umgehen. Sie haben den Zusammenhang zwischen modularen, reell-darstellungstheoretischen und adelischen L-Funktionen erfasst. 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
	Automorphe Formen	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	K o. mP o. H	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Deitmar, Anton: Automorphic Forms. Springer 2012. • Goldfeld, Dorian: Automorphic forms and L-functions for the group $GL(n, \mathbb{R})$. Cambridge University Press 2015. • Serre, Jean-Pierre: A course in arithmetic. Springer 1973.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Einführung in die Geometrische Maßtheorie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen, • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-03 / MAT-20-06 Einführung in Galoistheorie.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 115 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Aussagenlogik. • Sprachen erster Stufe: – Vollständigkeit und Kompaktheit. • Berechenbarkeitstheorie: – Registermaschinen; – Gödelisierung. • Unvollständigkeit 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 Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	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. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 4,5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										

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 <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Kurt Gödel: Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. Monatsh. f. Mathematik und Physik 38, 173-198 (1931). • Gerhard Gentzen: Die Widerspruchsfreiheit der reinen Zahlentheorie. Math. Ann. 112, 493-565 (1936). • Reinhard Kahle, Michael Rathjen (Hrsg.): Gentzen's Centenary: The quest for consistency. Springer 2015. • Reinhard Kahle, Michael Rathjen (Hrsg.): The Legacy of Kurt Schütte. Springer 2020.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Reinhard Kahle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Reinhard Kahle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-65	Modultitel: Explizite Mathematik			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	• Applikative Theorien. • Explizite Mathematik. • Universen in expliziter Mathematik. • Anwendungen in der Beweistheorie.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit einem alternativen logischen Theorierahmen für Arithmetik und Subsysteme der Analysis vertraut und kennen deren Funktion in beweistheoretischen Untersuchungen. 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
	Explizite Mathematik	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	mP	90-180 o. 20-30	b	100
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 6 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										

Literatur	Exemplarische Literatur : • Solomon Feferman: A language and axioms for explicit mathematics, in <i>Algebra and Logic. Lecture Notes in Mathematics</i>, 450, pp. 87-139, Springer-Verlag, Berlin, 1975. • Solomon Feferman: Constructive theories of functions and classes. In <i>Logic Colloquium '78</i>, (Proc. Mons Colloq.), pp. 159-224, North-Holland, Amsterdam, 1979. • Gerhard Jäger, Reinhard Kahle, Thomas Strahm: On applicative theories. In Andrea Cantini, Ettore Casari, and Pierluigi Minari, editors, <i>Logic and Foundations of Mathematics</i>, pages 83–92, Kluwer, 1999. • Reinhard Kahle: The applicative realm. <i>Textos de Matematica</i>, 40, Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra, 2007. • Gerhard Jäger, Reinhard Kahle, Thomas Studer: Universes in explicit mathematics. <i>Annals of Pure and Applied Logic</i>, 109(3), 141-162, 2001.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Reinhard Kahle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-05	Modultitel: Groups and Representations		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	• 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. • Symmetrische 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.		
Qualifikationsziele	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.		

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
	Groups and Representations	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie und Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Darstellungstheorie endlicher Gruppen' eingebracht werden.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: MAT-10-12 / MAT-20-06 Algebraische Strukturen.									
Modulverantwortliche	Stefan Keppeler									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1' eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modulverantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-12	Modultitel: Mathematical Quantum Theory				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 + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	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.									
Qualifikationsziele	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. 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.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Mathematical Quantum Theory	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	Stefan Teufel, Marius Lemm
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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 + Übung 2 SWS									
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 mit ihrer mathematischen 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 Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Mathematische Physik</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-12 Stochastik.
Modul- verantwortliche	Roderich Tumulka
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul- verantwortliche	Roderich Tumulka
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Mathematische Physik</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-12 Stochastik.
Modul-verantwortliche	Peter Pickl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-40	Modultitel: Interacting Many-Body Quantum Systems					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	• Bosonen und Fermionen. • Bose-Einstein Kondensation. • Mean-field Theorie. • Nichtlineare Schrödingergleichung. • Hartree- and Hartree-Fock-Gleichung. • Bogoliubov Näherung.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen den Unterschied zwischen Fermionen und Bosonen und deren Auswirkungen auf Vielteilchensysteme. Sie verstehen, dass bei kalten Temperaturen die Fluktuationen der Teilchenzahl in einem bestimmten Bereich für Fermionen deutlich unterdrückt sind. Sie verstehen, wie die bosonische Natur zum berühmten Effekt der Bose-Einstein-Kondensation führt und dass wechselwirkende Vielteilchensysteme in bestimmten Skalierungsregimen in guter Näherung durch nichtlineare Evolutionsgleichungen beschrieben werden können. Schließlich sind sie in der Lage, Korrekturen höherer Ordnung zu bestimmen und die Korrelationen führender Ordnung zwischen den Teilchen zu berechnen. 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
	Interacting Many-Body Quantum Systems	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Elliott H. Lieb, Robert Seiringer, Jan Philip Solovej, Jakob Yngvason: The Mathematics of the Bose Gas and its Condensation. Birkhäuser 2000. • Niels Benedikter , Marcello Porta , Benjamin Schlein: Effective Evolution Equations from Quantum Dynamics. Springer 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	Peter Pickl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Algorithmen der Numerischen Mathematik	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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 Deuffhard, Andreas Hohmann: Numerische Mathematik 1. De Gruyter 2008. • Martin Hanke-Bourgeois: Grundlagen der Numerischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens. Vieweg 2009.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik.
Modul-verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	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. 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
	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 <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Gewöhnliche Differentialgleichungen, • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-70-01 Algorithmen der Numerischen Mathematik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-04	Modultitel: Gewöhnliche Differentialgleichungen - Analysis und Numerik				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	- Nichtlineare gewöhnliche Differentialgleichungen: Sätze von Hartman-Grobman und Poincare-Bendixson, Bifurkationstheorie. - Numerische Approximation: lineare Mehrschrittverfahren, adaptive Verfahren, geometrische Integration.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit den grundlegenden Methoden zum Studium des qualitativen Verhaltens und zur Simulation von Lösungen nichtlinearer gewöhnlicher Differentialgleichungen vertraut. Sie haben konstruktive Methoden zur Lösung kennen gelernt und sind prinzipiell in der Lage, diese mit Hilfe des Computers 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
	Gewöhnliche Differentialgleichungen - Analysis und Numerik	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 Perko: Differential equations and dynamical systems. Springer 1993. - David Griffiths, Desmond J. Higham: Numerical methods for ordinary differential equations. Springer 2010.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> sowie <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-70-01 Algorithmen der Numerischen Mathematik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-05	Modultitel: Optimale Kontrolle mit Gewöhnlichen Differentialgleichungen				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
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 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Ein kurzer Überblick über die Existenz- und Eindeigkeitstheorie für ODEs. • Numerische Lösungen für ODEs. • Einführung in optimale Kontrollprobleme mit ODEs. • Existenz- und Eindeigkeitstheorie für lineare quadratische Optimalsteuerungsprobleme (LQ-Probleme). • Pontryagins Maximumprinzip. • Numerische Approximation von LQ-Problemen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit den Problemstellungen der optimalen Kontrolle mittels gewöhnlicher Differentialgleichungen und verschiedenen Ansätzen zur Lösung des Problems vertraut. Sie kennen auch qualitative Aussagen zur eindeutigen Lösbarkeit. 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Optimale Kontrolltheorie mit Gewöhnlichen Differentialgleichungen	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : Matthias Gerds: Optimal Control of ODEs and DAEs. De Gruyter 2012.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Gewöhnliche Differentialgleichungen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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 Differentialgleichungen	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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 <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-12 Stochastik.
Modulverantwortliche	Andreas Prohl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-12	Modultitel: Einführung in Stochastische Differentialgleichungen - Teil 1				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
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 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Einführung in Brownsche Bewegung und stochastische Integration. • Lösungskonzepte für stochastische Differentialgleichungen. • Stabilität stochastischer Differentialgleichungen. • Numerische Approximation stochastischer Differentialgleichungen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur Konstruktion von Lösungen stochastischer Differentialgleichungen. 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 Stochastische Differentialgleichungen - Teil 1	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
	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 differential equations. Springer 2000.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-12 Stochastik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung und Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-12 Stochastik.									

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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Florian Jarre, Joseph Stoer: Optimierung: Einführung in mathematische Theorie und Methoden. Springer 2019. • Jorge Nocedal, Stephen J. Wright: Numerical optimization. Springer 2006.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-30	Modultitel: Theoretical Aspects of Machine Learning		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	Das Modul behandelt einige aktuelle Aspekte des theoretischen maschinellen Lernens, wie z.B.: • Die Theorie der reproduzierenden Kernel-Hilbert-Räume (RKHS). • Anwendungen der RKHS-Theorie wie SVMs, Kernel-Regression, Kernel-PCA und Kernel-Mittelwert-Einbettungen. • Approximationsfähigkeiten von neuronalen Netzen. • Dynamik neuronaler Netze und der neuronale Tangentenkernel. • Neueste Fortschritte in der hochdimensionalen Statistik, insbesondere Überparametrisierung und Generalisierung.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erlernen die mathematischen Grundlagen der Theorie des überwachten Lernens, neuronaler Netzwerke, Support-Vektor-Maschinen und Kernel-Methoden. Sie sind mit grundlegenden modernen Themen des maschinellen Lernens sowie mit deren theoretischen Grundlagen, mathematischem Ansatz und konzeptionellen Werkzeugen vertraut, die für die Diskussion und Begründung von Algorithmen erforderlich sind. 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
	Theoretical Aspects of Machine Learning	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. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 6 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										
Literatur	Exemplarische Literatur : • Mehryar Mohri, Afshin Rostamizadeh, Ameet Talwalkar: Foundations of Machine Learning. MIT Press 2012. • Shai Shalev-Shwartz, Shai Ben-David: Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. CUP 2014. • Peter L. Bartlett, Andrea Montanari, Alexander Rakhlin: Deep learning: a statistical viewpoint. Acta Numerica 2021. • Daniel A. Roberts, Sho Yaida, Boris Hanin: The Principles of Deep Learning Theory: An Effective Theory Approach to Understanding Neural Networks. Cambridge University Press 2022.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung und Stochastik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-12 Stochastik.									
Modulverantwortliche	Andreas Prohl									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Literatur	Exemplarische Literatur : • Laslo Györfi, Michael Kohler, Adam Krzyzak, Harro Walk: A distribution-free theory of nonparametric regression. Springer 2002.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-12 Stochastik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-33	Modultitel: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben				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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	Wir beginnen mit der unrestringierten konvexen Minimierungsaufgabe (auf Räumen), und dem Gradientenverfahren mit Schrittweitenkontrolle nach Armeijo zur approximativen Berechnung eines Minimums, sowie ihren Varianten. Das Simplexverfahren löst lineare Programme auf Polyedern. Zentral ist dann die konvexe (nichtlineare) Minimierungsaufgabe auf Mengen, und die Charakterisierung eines Minimums mit (notwendigen) Optimalitätsbedingungen (Tangentialekegel, linearisierter Tangentialekegel, Abadie Bedingung, Karush-Kuhn-Tucker Bedingungen). Zudem werden auf diesen theoretischen Konzepten basierende numerische Lösungsverfahren (innere Punkte Methode, Penalty Methoden, SQP-Verfahren) vorgestellt und analysiert.									
Qualifikationsziele	Die Teilnehmer haben relevante aktuelle Algorithmen zur Optimierung restringierter Optimierungsprobleme kennen gelernt: hierzu gehören Gradientenverfahren mit Schrittweitenkontrolle, das Simplex-Verfahren, innere Punkte-Methoden, Penalisisierungs-Methoden und das SQP-Verfahren. Sie können die Algorithmen analysieren und ihren Aufwand vergleichen. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären. Die Studierenden können den aktuellen Forschungsstand im thematisierten Spezialgebiet wiedergeben und kritisch hinterfragen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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
	Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 9 nur 6 Leistungspunkte vergeben.										

Literatur	Exemplarische Literatur : • Carl Geiger, Christian Kanzow: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben. Springer 2002.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-12 Stochastik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-35	Modultitel: Optimaler Transport		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	• Die Lehrveranstaltung führt in die Theorie des optimalen Transports an der Schnittstelle von Analysis, Wahrscheinlichkeit und Optimierung ein. Ausgehend von den klassischen Problemen nach Monge und Kantorovich werden die grundlegenden maßtheoretischen und analytischen Werkzeuge behandelt. • Darauf aufbauend werden zentrale Resultate wie Existenz und Dualität optimaler Transportpläne, c-zyklische Monotonie, das Brenier-Theorem sowie die geometrische Struktur von Wasserstein-Räumen vorgestellt. • Im zweiten Teil der Veranstaltung wird die algorithmische Perspektive des optimalen Transports untersucht. Behandelt werden die entropische Regularisierung, der Sinkhorn-Algorithmus sowie ausgewählte Anwendungen, etwa in Bildverarbeitung, Statistik und maschinellem Lernen.		
Qualifikationsziele	Die Studenten kennen die grundlegenden Begriffe, Methoden und zentralen Resultate der Theorie des optimalen Transports und sind in der Lage, diese in einen mathematischen Gesamtkontext aus Analysis, Wahrscheinlichkeit und Optimierung einzuordnen. Sie können die klassischen Formulierungen nach Monge und Kantorovich sowie wesentliche strukturelle Konzepte wie Dualität, c-zyklische Monotonie und die Wasserstein-Geometrie nachvollziehen und in einfachen Zusammenhängen anwenden. Zudem sind sie mit grundlegenden algorithmischen Ansätzen des optimalen Transports vertraut und können deren Bedeutung für ausgewählte Anwendungen einschätzen. In den Übungen vertiefen sie ihren Umgang mit den Inhalten der Vorlesung, entwickeln ihre Fähigkeit zum präzisen mathematischen Argumentieren weiter und üben die schriftliche und mündliche Darstellung eigener Lösungswege. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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
	Optimaler Transport	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : - Alessio Figalli, Federico Glaudo: An Invitation to Optimal Transport, Wasserstein Distances, and Gradient Flows. EMS 2023. - Gabriel Peyré, Marco Cuturi: Computational Optimal Transport. Now Publishers 2019.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis, Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: - MAT-20-04 Teilmodule Maß- und Integrationstheorie sowie Integration auf Untermannigfaltigkeiten des $\mathbb{R}^n$. - MAT-20-12 Stochastik.									
Modulverantwortliche	Nicolai Jork, Andreas Prohl									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-70-40	Modultitel: Spieltheorie				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	Im Zentrum der Betrachtung stehen Nash- und verallgemeinerte Nash-Gleichgewichtsprobleme sowie ihre numerische Lösung.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Fragestellungen der Spieltheorie. Sie sind vertraut mit analytischen und numerischen Ansätzen zu deren Untersuchung. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Spieltheorie	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 : • Christian Kanzow, Alexandra Schwartz: Spieltheorie. Birkhaeuser 2018.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) 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, P=Portfolio

Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar,
IC=Inverted Classroom

Status : o=obligatorisch, f=fakultativ

Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Literatur	Exemplarische Literatur : • Steven Shreve: Stochastic Calculus for Finance. Springer 2005.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik, • MAT-20-12 Stochastik.
Modulverantwortliche	Andreas Prohl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. • Richard Durrett: Probability, Theory and Examples. Cambridge University Press 2019. • Hans-Otto Georgii: Stochastik. De Gruyter 2009. • Jean Jacod, Philip E. Protter: Probability essentials. Springer 2004. • Olav Kallenberg. Foundations of Modern Probability. Springer 2021. • Achim Klenke: Wahrscheinlichkeitstheorie. Springer 2020. • David Meintrup, Stefan Schäffler: Stochastik. Springer 2005. • Albert N. Shiryaev: Probability-1. Springer 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-12 Stochastik.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle, Elmar Teufl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-75-03	Modultitel: Mathematische Statistik				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	• 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.									
Qualifikationsziele	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.									
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
	Mathematische Statistik	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 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 <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-12 Stochastik. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle, Elmar Teufl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-75-10	Modultitel: Graphentheorie				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	• Grundbegriffe der Graphentheorie, • Grundlegende graphentheoretische Algorithmen, • Flüsse, Schnitte, Zusammenhang, Matchings, • Kreis- und Schnittraum (Kohomologietheorie), • Spektrale Graphentheorie, Matrix-Baum-Satz, • Planare Graphen, Satz von Kuratowski und Wagner, • Einbettungen in Flächen, • Färbungen, • Minorentheorie.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die Grundbegriffe der Graphentheorie, können die Struktur von Graphen untersuchen und Methoden der Graphentheorie praktisch nutzen. Ferner erkennen Sie Verbindungen zu Geometrie und Algebra und können daraus Nutzen ziehen. 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
	Graphentheorie	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 : • Bela Bollobas: Modern graph theory, Springer, 1998. • John Adrian Bondy, Uppaluri Siva Ramachandra Murty: Graph theory, Springer, 2008. • Reinhard Diestel: Graph theory, Springer, 2018. • Jonathan L. Gross, Jay Yellen, Mark Anderson: Graph theory and its applications, CRC Press, 2019.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden vorausgesetzt.
Modul-verantwortliche	Elmar Teufl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-75-21	Modultitel: Bayessche Netzwerke und Kausalität		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	4,5		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 115 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	Ungewissheit ist eine Tatsache, und eine robuste künstliche Intelligenz für reale Anwendungen muss in der Lage sein, damit umzugehen. Daher war die Entwicklung mathematischer Darstellungen, die Wahrscheinlichkeiten effektiv einbeziehen, ein wichtiger Schritt in der Entwicklung der künstlichen Intelligenz. Das menschliche Verstehen geht jedoch weiter als das: Wir gehen über die Beobachtung von Ereignissen wie <i>Wenn der Rasensprenger in meinem Gewächshaus an ist, sind die Pflanzen nass</i> oder <i>Wenn die Pflanzen nass sind, ist der Rasensprenger an</i> hinaus und postulieren eine Beziehung von Ursache und Wirkung: <i>Wenn ich den Rasensprenger einschalte, werden die Pflanzen nass, aber wenn ich die Pflanzen gieße, wird das den Rasensprenger sicher nicht aktivieren.</i> In diesem Kurs werden Bayessche Netzwerke untersucht, die eine weit verbreitete Darstellung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind. Insbesondere werden gängige Inferenz- und Lernalgorithmen diskutiert. Darüber hinaus wird gezeigt, dass Bayessche Netzwerke nicht nur Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen, sondern auch in der Lage sind, kausale Beziehungen auszudrücken. Schließlich wird die kausale Expressivität von Bayesschen Netzwerken untersucht, mit dem Ziel, kausale Strukturen aus Beobachtungsdaten zu lernen. • Teil I: Bayessche Netzwerke als effiziente Repräsentation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen: – Berechnung von Wahrscheinlichkeiten mit Bayesschen Netzwerken. – d-Separation: Ein grafisches Kriterium für probabilistische Unabhängigkeit. – Parameter- und Strukturlernen in Bayesschen Netzwerken. • Teil II: Bayessche Netzwerke als Repräsentation für kausales Wissen: – Funktionale Kausalmodelle: Eine Repräsentation von kausalem Wissen. – Pearls Kausalleiter: Vorhersage der Auswirkungen externer Interventionen und Argumentation mit kontrafaktischen Fakten. – Kausale Bayessche Netzwerke. – Kausale Strukturentdeckung: Lernen von kausalen Beziehungen aus Daten. – Kontrafaktische Identifizierbarkeit: Beantwortung kontrafaktischer. Fragen mit kausalen Bayesschen Netzwerken.		
Qualifikationsziele	Im ersten Teil des Kurses haben die Studierenden gelernt, wie Bayessche Netzwerke Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen und wie diese Darstellung zur effizienten Berechnung von Wahrscheinlichkeiten oder zur Bestimmung, ob zwei Zufallsvariablen unabhängig sind, verwendet werden kann. Im zweiten Teil haben die Studierenden gelernt, Inferenzaufgaben in der künstlichen Intelligenz gemäß Pearls Kausalleiter zu unterscheiden: probabilistisches, intervenierendes und kontrafaktisches Schließen, die im Allgemeinen immer detaillierteres Wissen erfordern. Sie sind mit Identifizierbarkeitsergebnissen vertraut, die Annahmen liefern, unter denen bestimmte Anfragen auf der Kausalleiter nur mit Wissen aus niedrigeren Ebenen beantwortet werden können. Sie wissen, wie man Fragen zu den Auswirkungen externer Interventionen beantworten kann, wenn man nur die korrekte Wahrscheinlichkeitsverteilung kennt, die oft aus Beobachtungsdaten geschätzt werden kann. 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)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Bayessche Netzwerke und Kausalität	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	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 : Judea Pearl: Causality: Models, Reasoning and Inference. Cambridge University Press 2009.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: - MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, - MAT-20-12 Stochastik.									
Modulverantwortliche	Stephan Eckstein									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-75-22	Modultitel: Informationstheorie, Mustererkennung und neuronale Netze		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	• Einführung in die Informationstheorie: – Die Möglichkeit der zuverlässigen Kommunikation über unzuverlässige Kanäle. Der Hamming-Code und Wiederholungskodes. • Entropie und Datenkompression: – Entropie, bedingte Entropie, gegenseitige Information, Shannon Informationsgehalt. Die Idee der Typizität und die Verwendung von typischen Mengen für die Quellencodierung. Shannons Theorem der Quellencodierung. Codes für die Datenkompression. Eindeutig dekodierbare Codes und die Kraft-MacMillan-Ungleichung. Vollständigkeit eines Symbolcodes. Präfix-Codes. Huffman-Codes. Arithmetische Kodierung. • Kommunikation über verrauschte Kanäle: – Definition der Kanalkapazität. Kapazität eines binären symmetrischen Kanals; eines binären Löschkkanals; eines Z-Kanals. Gemeinsame Typizität, Zufallscodes und Shannons Theorem der Codierung verrauschter Kanäle. Reale Kanäle und praktische Fehlerkorrekturcodes. Hash-Codes. • Statistische Inferenz, Datenmodellierung und Mustererkennung: – Die Likelihood-Funktion und der Satz von Bayes. Clustering als Beispiel. • Approximation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen: – Laplace Methode. (Approximation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch Gaußsche Verteilungen.) Monte Carlo Methoden: Importance Sampling, Rejection Sampling, Gibbs Sampling, Metropolis Methode. (Slice sampling, Hybrid Monte Carlo, Overrelaxation, exact sampling.) Variationsmethoden und Mean Field Theory. Ising-Modelle. • Neuronale Netze und inhaltsadressierbare Speicher: – Das Hopfield-Netzwerk.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit den grundlegenden Konzepten der Informationstheorie - wie Entropie und Kodierung verrauschter Kanäle - vertraut und wissen, wie diese bei der Berechnung und Annäherung von Wahrscheinlichkeiten angewendet werden. 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
	Informationstheorie, Mustererkennung und neuronale Netze	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 : David J.C. MacKay: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. CUP 2003.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: - MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, - MAT-20-12 Stochastik.									
Modulverantwortliche	Stephan Eckstein									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-75-23	Modultitel: Nicht-parametrische Schätzung von Verteilungen				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 115 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	Dieser Kurs behandelt eine grundlegende Fragestellung der Statistik: Gegeben seien n Beobachtungen eines unbekannten Zufallsvektors. Wie gut lassen sich daraus die tatsächlichen Eigenschaften dieses Zufallsvektors, insbesondere seine Wahrscheinlichkeitsverteilung, erschließen? Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Rolle der Dimension des Zufallsvektors und den daraus resultierenden Phänomenen, die unter dem Begriff des Fluchs der Dimensionalität (curse of dimensionality) zusammengefasst werden. Darüber hinaus untersuchen wir, wie sich Vorwissen - etwa über Glattheitseigenschaften oder strukturelle Merkmale des Zufallsvektors - nutzen lässt, um die Auswirkungen dieses Fluchs der Dimensionalität zu überwinden. Im Gegensatz zur parametrischen Statistik, bei der angenommen wird, dass die Verteilung zu einer endlichdimensionalen Verteilungsfamilie gehört (beispielsweise bei der Schätzung des Erwartungswerts und der Kovarianzmatrix einer Normalverteilung), konzentriert sich der Kurs ausschließlich auf nichtparametrische Fragestellungen, bei denen eine solche parametrische Form nicht von vornherein vorausgesetzt wird. Diese nichtparametrischen Modelle erfordern geeignete Gütekriterien, die auf Abständen zwischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen beruhen. Behandelt werden sowohl die Dichteschätzung unter Verwendung von Verlustfunktionen vom L^p-Typ als auch die Schätzung bezüglich der Wasserstein-Distanz.									
Qualifikationsziele	Das statistische Lernproblem von Verteilungen kann präzise formuliert werden. Die Wichtigkeit der gewählten Metrik und der Dimension der Verteilung ist klar verstanden. Grundlegende Beweisideen, sowohl zu oberen Schranken anhand von expliziten Schätzern, als auch zu unteren Schranken anhand von informationstheoretischen Methoden, werden beherrscht. Es wird strukturell verstanden, dass (und welche) Annahmen notwendig sind, um bessere Konvergenzraten zu erhalten als durch den Fluch der Dimensionen diktiert. In den Übungen wird gezeigt, dass selbstständig zu den behandelten Themen der Vorlesung gearbeitet werden kann. 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)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Nicht-parametrische Schätzung von Verteilungen	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	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 : • Alexandre B. Tsybakov: Introduction to Nonparametric Estimation. Springer 2009. • Jonathan Niles-Weed, Quentin Berthet: Minimax estimation of smooth densities in Wasserstein distance. The Annals of Statistics 50.3 (2022): 1519-1540. • Nicolas Fournier, Arnaud Guillin: On the rate of convergence in Wasserstein distance of the empirical measure. Probability Theory and Related Fields 162.3 (2015): 707-738. • Daniel Bartl, Stephan Eckstein: Fast Wasserstein rates for estimating probability distributions of probabilistic graphical models. arXiv:2510.09270 (2025).
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-01 Maß- und Integrationstheorie, • MAT-20-12 Stochastik.
Modul-verantwortliche	Stephan Eckstein
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Module vom Typ Vertiefende Module

Bei den hier aufgeführten *vertiefenden Modulen* handelt es sich um Module, die inhaltlich eines oder mehrere der einführende Module 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

• Algebraische Geometrie (MAT-45-11, 9 LP)	175
• Algebraische Geometrie und Torische Varietäten (MAT-45-12, 9 LP)	177
• Mathematical Relativity (MAT-65-13, 9 LP)	283
• Nichtlineare Optimierung (MAT-70-21, 9 LP)	297
• Numerik für instationäre Differentialgleichungen (MAT-70-03, 9 LP)	293
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172
• Statistisches Lernen 2 (MAT-70-32, 9 LP)	299
• Stochastische Prozesse (MAT-75-04, 9 LP)	301
• Topics in Mathematical Relativity (MAT-60-03, 6 LP)	261

Module, die in unregelmäßigem Turnus angeboten werden

• Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (MAT-65-21, 9 LP)	285
• Algebraische Kurven (MAT-45-14, 9 LP)	181
• Algebraische Topologie 2 (MAT-50-22, 9 LP)	207
• Algebraische Topologie 3 (MAT-50-23, 3 LP)	209
• Algebraische Transformationsgruppen (MAT-45-13, 9 LP)	179
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (mit Übungen) (MAT-60-10, 3 LP)	273
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (ohne Übungen) (MAT-60-11, 3 LP)	275
• Computeralgebra (MAT-45-03, 9 LP)	173
• Cox Ringe (MAT-45-18, 9 LP)	189
• Das Positive Masse Theorem (MAT-60-12, 6 LP)	277
• Der Ricci-Fluss Riemannscher Metriken (MAT-60-06, 6 LP)	265
• Die Fredholm-Index-Theorie für kondensierte Materie und eine Einführung in Spinsysteme (MAT-65-41, 3 LP)	291
• Einführung in Schemata (MAT-45-16, 9 LP)	185
• Elastische Kurven (MAT-55-46, 3 LP)	249
• Elliptische Funktionen und Elliptische Kurven (MAT-45-24, 9 LP)	191
• Elliptische Kurven und Taniyama-Shimura (MAT-45-28, 9 LP)	193

• Ergodentheorie (MAT-55-05, 9 LP)	225
• Flächeninhaltsminimierende Ströme (MAT-55-43, 4,5 LP)	247
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 2 (MAT-50-11, 9 LP)	197
• Geometrische Evolutionsgleichungen (MAT-60-01, 3 LP)	257
• Geometrische Maßtheorie (MAT-55-42, 9 LP)	245
• Geometrische Maßtheorie – Ströme (MAT-55-48, 4,5 LP)	253
• Geometrische Maßtheorie – Varifaltigkeiten (MAT-55-47, 4,5 LP)	251
• Geometrische Variationsprobleme (MAT-60-02, 3 LP)	259
• Gromov-Witten-Theorie (MAT-50-40, 6 LP)	217
• Hamiltonsche Systeme (MAT-65-38, 9 LP)	289
• Harmonische Analyse auf abelschen Gruppen (MAT-55-13, 9 LP)	231
• Harmonische Analyse auf allgemeinen Gruppen (MAT-55-14, 9 LP)	233
• Harmonische Analyse im euklidischen Raum (MAT-55-12, 9 LP)	229
• Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras) (MAT-50-18, 9 LP)	203
• Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory) (MAT-50-17, 9 LP)	201
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 2 (MAT-50-19, 3 LP)	205
• Mathematische Aspekte des Reinforcement Learning (MAT-50-24, 6 LP)	211
• Mathematische Populationsgenetik (MAT-75-08, 6 LP)	305
• Morse-Theorie (MAT-55-28, 3 LP)	243
• Nichtlineare Funktionalanalysis (MAT-55-02, 9 LP)	219
• Nichtlineare elliptische partielle Differentialgleichungen am Beispiel von Minimalflächen (MAT-55-24, 9 LP) ..	237
• Nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-35, 6 LP)	279
• Nullgeometrie in allgemeiner Relativitätstheorie (MAT-60-08, 4,5 LP)	269
• Numerik für Differentialgleichungen auf Oberflächen (MAT-70-06, 6 LP)	295
• Operatoralgebra in der Mathematischen Physik (MAT-65-31, 9 LP)	287
• Operatoralgebren (MAT-55-04, 9 LP)	223
• Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik (MAT-55-71, 6 LP)	255
• Operatorentheorie (MAT-55-03, 9 LP)	221
• Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-22, 9 LP)	235
• Partielle Differentialgleichungen in konformer Geometrie: das Yamabe Problem (MAT-55-26, 3 LP)	239
• Probability Distances for Data Science (MAT-75-20, 6 LP)	309
• Punktprozesse (MAT-75-09, 6 LP)	307
• Raumartige Hyperflächen in Lorentz-Mannigfaltigkeiten (MAT-60-04, 6 LP)	263
• Riemannsche Geometrie (MAT-50-16, 6 LP)	199
• Special Relativity (MAT-60-07, 3 LP)	267
• Spektraltheorie positiver Operatoren (MAT-55-08, 3 LP)	227
• Stochastische Analysis (MAT-75-06, 9 LP)	303

• The Einstein Constraint Equations (MAT-60-09, 6 LP)	271
• Topologische Vektorräume und Distributionen (MAT-50-27, 6 LP)	213
• Torische Geometrie (MAT-45-17, 9 LP)	187
• Torische Varietäten und Mori Dream Spaces (MAT-45-15, 9 LP)	183
• Tropische Enumerative Geometrie - Teil 2 (MAT-50-06, 4,5 LP)	195
• Uniformisierung Riemannscher Flächen (MAT-50-28, 4,5 LP)	215
• Voll nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-36, 3 LP)	281
• Voll-nichtlineare elliptische Gleichungen (MAT-55-27, 4,5 LP)	241

Module im Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie

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

• Algebraische Geometrie (MAT-45-11, 9 LP)	175
• Algebraische Geometrie und Torische Varietäten (MAT-45-12, 9 LP)	177
• Algebraische Kurven (MAT-45-14, 9 LP)	181
• Algebraische Topologie 2 (MAT-50-22, 9 LP)	207
• Algebraische Topologie 3 (MAT-50-23, 3 LP)	209
• Algebraische Transformationsgruppen (MAT-45-13, 9 LP)	179
• Computeralgebra (MAT-45-03, 9 LP)	173
• Cox Ringe (MAT-45-18, 9 LP)	189
• Einführung in Schemata (MAT-45-16, 9 LP)	185
• Elliptische Funktionen und Elliptische Kurven (MAT-45-24, 9 LP)	191
• Elliptische Kurven und Taniyama-Shimura (MAT-45-28, 9 LP)	193
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 2 (MAT-50-11, 9 LP)	197
• Gromov-Witten-Theorie (MAT-50-40, 6 LP)	217
• Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras) (MAT-50-18, 9 LP)	203
• Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory) (MAT-50-17, 9 LP)	201
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 2 (MAT-50-19, 3 LP)	205
• Mathematische Aspekte des Reinforcement Learning (MAT-50-24, 6 LP)	211
• Morse-Theorie (MAT-55-28, 3 LP)	243
• Riemannsche Geometrie (MAT-50-16, 6 LP)	199
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172
• Torische Geometrie (MAT-45-17, 9 LP)	187
• Torische Varietäten und Mori Dream Spaces (MAT-45-15, 9 LP)	183
• Tropische Enumerative Geometrie - Teil 2 (MAT-50-06, 4,5 LP)	195
• Uniformisierung Riemannscher Flächen (MAT-50-28, 4,5 LP)	215

Module im Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie

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

• Algebraische Kurven (MAT-45-14, 9 LP)	181
• Algebraische Topologie 2 (MAT-50-22, 9 LP)	207
• Algebraische Topologie 3 (MAT-50-23, 3 LP)	209
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (mit Übungen) (MAT-60-10, 3 LP)	273
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (ohne Übungen) (MAT-60-11, 3 LP)	275
• Das Positive Masse Theorem (MAT-60-12, 6 LP)	277
• Der Ricci-Fluss Riemannscher Metriken (MAT-60-06, 6 LP)	265
• Elastische Kurven (MAT-55-46, 3 LP)	249
• Elliptische Kurven und Taniyama-Shimura (MAT-45-28, 9 LP)	193
• Ergodentheorie (MAT-55-05, 9 LP)	225
• Flächeninhaltsminimierende Ströme (MAT-55-43, 4,5 LP)	247
• Geometrie von Mannigfaltigkeiten 2 (MAT-50-11, 9 LP)	197
• Geometrische Evolutionsgleichungen (MAT-60-01, 3 LP)	257
• Geometrische Maßtheorie (MAT-55-42, 9 LP)	245
• Geometrische Maßtheorie – Ströme (MAT-55-48, 4,5 LP)	253
• Geometrische Maßtheorie – Varifaltigkeiten (MAT-55-47, 4,5 LP)	251
• Geometrische Variationsprobleme (MAT-60-02, 3 LP)	259
• Hamiltonsche Systeme (MAT-65-38, 9 LP)	289
• Harmonische Analyse auf abelschen Gruppen (MAT-55-13, 9 LP)	231
• Harmonische Analyse auf allgemeinen Gruppen (MAT-55-14, 9 LP)	233
• Harmonische Analyse im euklidischen Raum (MAT-55-12, 9 LP)	229
• Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras) (MAT-50-18, 9 LP)	203
• Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory) (MAT-50-17, 9 LP)	201
• Mathematical Relativity (MAT-65-13, 9 LP)	283
• Mathematische Aspekte des Deep Learning 2 (MAT-50-19, 3 LP)	205
• Mathematische Aspekte des Reinforcement Learning (MAT-50-24, 6 LP)	211
• Morse-Theorie (MAT-55-28, 3 LP)	243
• Nichtlineare Funktionalanalysis (MAT-55-02, 9 LP)	219
• Nichtlineare elliptische partielle Differentialgleichungen am Beispiel von Minimalflächen (MAT-55-24, 9 LP)	237
• Nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-35, 6 LP)	279
• Nullgeometrie in allgemeiner Relativitätstheorie (MAT-60-08, 4,5 LP)	269
• Operatoralgebra in der Mathematischen Physik (MAT-65-31, 9 LP)	287
• Operatoralgebren (MAT-55-04, 9 LP)	223
• Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik (MAT-55-71, 6 LP)	255

• Operatorentheorie (MAT-55-03, 9 LP)	221
• Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-22, 9 LP)	235
• Partielle Differentialgleichungen in konformer Geometrie: das Yamabe Problem (MAT-55-26, 3 LP)	239
• Riemannsche Geometrie (MAT-50-16, 6 LP)	199
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172
• Special Relativity (MAT-60-07, 3 LP)	267
• Spektraltheorie positiver Operatoren (MAT-55-08, 3 LP)	227
• The Einstein Constraint Equations (MAT-60-09, 6 LP)	271
• Topics in Mathematical Relativity (MAT-60-03, 6 LP)	261
• Topologische Vektorräume und Distributionen (MAT-50-27, 6 LP)	213
• Uniformisierung Riemannscher Flächen (MAT-50-28, 4,5 LP)	215
• Voll nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-36, 3 LP)	281
• Voll-nichtlineare elliptische Gleichungen (MAT-55-27, 4,5 LP)	241

Module im Studienschwerpunkt Mathematische Physik

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

• Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory (MAT-65-21, 9 LP)	285
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (mit Übungen) (MAT-60-10, 3 LP)	273
• Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (ohne Übungen) (MAT-60-11, 3 LP)	275
• Der Ricci-Fluss Riemannscher Metriken (MAT-60-06, 6 LP)	265
• Die Fredholm-Index-Theorie für kondensierte Materie und eine Einführung in Spinsysteme (MAT-65-41, 3 LP)	291
• Ergodentheorie (MAT-55-05, 9 LP)	225
• Gromov-Witten-Theorie (MAT-50-40, 6 LP)	217
• Hamiltonsche Systeme (MAT-65-38, 9 LP)	289
• Mathematical Relativity (MAT-65-13, 9 LP)	283
• Nichtlineare elliptische partielle Differentialgleichungen am Beispiel von Minimalflächen (MAT-55-24, 9 LP)	237
• Nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-35, 6 LP)	279
• Nullgeometrie in allgemeiner Relativitätstheorie (MAT-60-08, 4,5 LP)	269
• Operatoralgebra in der Mathematischen Physik (MAT-65-31, 9 LP)	287
• Operatoralgebren (MAT-55-04, 9 LP)	223
• Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik (MAT-55-71, 6 LP)	255
• Operatorentheorie (MAT-55-03, 9 LP)	221
• Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-22, 9 LP)	235
• Partielle Differentialgleichungen in konformer Geometrie: das Yamabe Problem (MAT-55-26, 3 LP)	239
• Raumartige Hyperflächen in Lorentz-Mannigfaltigkeiten (MAT-60-04, 6 LP)	263
• Riemannsche Geometrie (MAT-50-16, 6 LP)	199
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172

• Special Relativity (MAT-60-07, 3 LP)	267
• Spektraltheorie positiver Operatoren (MAT-55-08, 3 LP)	227
• The Einstein Constraint Equations (MAT-60-09, 6 LP)	271
• Topologische Vektorräume und Distributionen (MAT-50-27, 6 LP)	213
• Voll nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen (MAT-60-36, 3 LP)	281

Module im Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung

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

• Geometrische Evolutionsgleichungen (MAT-60-01, 3 LP)	257
• Hamiltonsche Systeme (MAT-65-38, 9 LP)	289
• Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras) (MAT-50-18, 9 LP)	203
• Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory) (MAT-50-17, 9 LP)	201
• Nichtlineare Optimierung (MAT-70-21, 9 LP)	297
• Numerik für Differentialgleichungen auf Oberflächen (MAT-70-06, 6 LP)	295
• Numerik für instationäre Differentialgleichungen (MAT-70-03, 9 LP)	293
• Partielle Differentialgleichungen (MAT-55-22, 9 LP)	235
• Probability Distances for Data Science (MAT-75-20, 6 LP)	309
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172
• Statistisches Lernen 2 (MAT-70-32, 9 LP)	299

Module im Studienschwerpunkt Stochastik

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

• Mathematische Aspekte des Deep Learning 2 (MAT-50-19, 3 LP)	205
• Mathematische Aspekte des Reinforcement Learning (MAT-50-24, 6 LP)	211
• Mathematische Populationsgenetik (MAT-75-08, 6 LP)	305
• Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik (MAT-55-71, 6 LP)	255
• Probability Distances for Data Science (MAT-75-20, 6 LP)	309
• Punktprozesse (MAT-75-09, 6 LP)	307
• Seminar Vertiefungswissen Mathematik (MAT-40-11, 3 LP)	172
• Statistisches Lernen 2 (MAT-70-32, 9 LP)	299
• Stochastische Analysis (MAT-75-06, 9 LP)	303
• Stochastische Prozesse (MAT-75-04, 9 LP)	301

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)	<table border="1"> <tr> <td></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>Titel</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></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> </table> 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.					Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote	Titel										Seminar	S	o	2	3	ja	R	60-90	b	100
	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote																									
Titel																																		
Seminar	S	o	2	3	ja	R	60-90	b	100																									
Verwendbarkeit	-																																	
Teilnahmevoraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.																																	
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden																																		

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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-02 Kommutative Algebra. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, • MAT-45-11 Algebraische Geometrie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 und entwickeln ein vertieftes Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Geometrie und Algebra. 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)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel	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 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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Algebraische Geometrie und Torische Varietäten' eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-02 Kommutative Algebra.
Modulverantwortliche	Daniele Agostini, Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-12	Modultitel: Algebraische Geometrie und Torische Varietäten				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-45-11									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• Projektiver Raum. • Prävarietäten, Morphismen, Tangentialräume und Singularitäten. • Produkte und Separiertheit. • Projektive Varietäten und Grassmannsche Varietäten. • Divisoren und Geradenbündel, Klassengruppe und Picardgruppe. • Torische Varietäten.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie kennen und 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.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel	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 : • 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 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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul 'Algebraische Geometrie' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie.
Modul-verantwortliche	Jürgen Hausen, Daniele Agostini
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen der großen inhaltlichen Überschneidungen nicht zusammen mit den Modulen 'Algebraische Gruppen' eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, • MAT-45-12 Algebraische Geometrie und Torische Varietäten.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, Jürgen Hausen
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-14	Modultitel: Algebraische 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	• Projektive Kurven, Divisoren, Satz von Riemann-Roch. • Verzweigte Überlagerungen, Satz von Hurwitz. • Linearsysteme, Einbettungen, Castelnuovo-Ungleichung. • Singularitäten ebener Kurven, Puiseux-Erweiterung. • Klassifikation und Modulräume, Jacobi-Varietät.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden in einem aus- suchten Teilgebiet der algebraischen Geometrie kennengelernt. Sie haben dabei ein vertieftes Verständnis für algebraische Kurven und deren Klassifikation entwickelt. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestell- ten 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 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 Klau- sur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.									
Literatur	Exemplarische Literatur : • Robin Hartshorne: Algebraic geometry. Springer 2006. • Gerd Fischer: Ebene algebraische Kurven. Vieweg 1994. • Rick Miranda: Algebraic Curves and Riemann Surfaces. AMS 1995.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelor- bzw. Masterstudiengangs vorausgesetzt (beachte bei letzteren auch die dort angegebenen Voraussetzungen): • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, • MAT-20-04 / MAT-20-05 Einführung in Funktionentheorie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-15	Modultitel: Torische Varietäten und Mori Dream Spaces		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	In der Vorlesung werden Mori Dream Spaces als Verallgemeinerungen torischer Varietäten betrachtet: • Geometrie und kombinatorische Theorie für torische Varietäten und Mori Dream Spaces. • Divisoren auf torischen Varietäten und Mori Dream Spaces. • Quotientendarstellung und Cox-Ring für torische Varietäten und Mori Dream Spaces. • Garben divisorieller Algebren. • Cox Garben und charakteristischer Raum. • Quotienten H-faktorieller affiner Varietäten. • Gestraußte Ringe. • Varietäten mit Torusoperationen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ihre Kenntnis und ihr Verständnis der zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie in ihrem Wechselspiel zwischen Geometrie und Algebra vertieft. Sie haben mit der Klasse der Mori Dream Spaces eine Verallgemeinerung torischer Varietäten sowie deren Untersuchung mit Methoden der konvexen Geometrie kennen gelernt. Sie erweitern dabei das Wechselspiel von Algebra und Geometrie um eine weitere wichtige methodische 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.		

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
	Torische Varietäten und Mori Dream Spaces	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 : - Ivan Arzhantsev, Ulrich Derenthal, Jürgen Hausen, and Antonio Laface. Cox rings. Cambridge University Press 2014. - Yi Hu, Sean Keel. Mori dream spaces and GIT. Michigan Math. J. 48: 331-348, 2000.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: - MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, - MAT-45-12 Algebraische Geometrie und Torische Varietäten.									
Modulverantwortliche	Jürgen Hausen									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-45-16	Modultitel: Einführung in Schemata				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	• Affine Schemata. • Allgemeine Schemata: lokale und globale Eigenschaften. • Morphismen. • Projektive Schemata. • Kohärente Garben. • Kohomologie • Klassengruppe und Picardgruppe.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden verstehen die schematheoretischen Grundlagen der algebraischen Geometrie. Sie können klassische Varietäten in die Sprache der Schemata übersetzen, mit Garben und lokal geringten Räumen arbeiten sowie Morphismen von Schemata und ihre wichtigsten Eigenschaften analysieren. Darüber hinaus erwerben sie ein grundlegendes Verständnis der Garbenkohomologie und ihrer Rolle bei der Untersuchung geometrischer Eigenschaften von Schemata. 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 Schemata	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 Gathmann: Algebraic Geometry. Lecture notes, RPTU Kaiserslautern. • Robin Hartshorne: Algebraic geometry. Springer 2006. • Ravi Vakil: The Rising Sea: Foundations of Algebraic Geometry. Princeton University Press 2025.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-01 Einführung in der Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini, Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-17	Modultitel: Torische 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	• Gitter und algebraische Tori. • Monoide, Monoidalgebren. • Affine torische Varietäten, Normalität. • Grundlagen der Konvexgeometrie Kegel, Polytope, Fächer. • Affine, vollständige und projektive torische Varietäten. • Orbiterlegung einer torischen Varietät. • Glattheit und singuläre Punkte. • Singularitätenauflösung. • Divisorenklassengruppe und Picardgruppe. • Schnittgarben und homogene Koordinaten.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ihre Kenntnis und ihr Verständnis der zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie in ihrem Wechselspiel zwischen Geometrie und Algebra und Kombinatorik vertieft. Sie haben mit der Klasse der torischen Varietäten sowie deren Untersuchung eine Möglichkeit kennengelernt, algebraische Geometrie mit Methoden der Kombinatorik zu verbinden. Sie erweitern dabei das Wechselspiel von Algebra und Geometrie um eine weitere wichtige methodische 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.		

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Torische Geometrie	V	f	4	6					
		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 : • David Cox, John Little, Hal Schenk: Toric varieties. AMS 2011. • William Fulton: Introduction to toric varieties. PUP 1993.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie.									
Modulverantwortliche	Jürgen Hausen, Hannah Markwig, Daniele Agostini									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-45-18	Modultitel: Cox Ringe		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	• Divisorielle Algebren. • Cox Ringe. • Charakteristische Räume. • Gute Quotienten. • Geometrische Invariantentheorie. • Gale-Dualität. • Verbindungen zur torischen Geometrie. • Definierende Daten für Varietäten mit endlich erzeugtem Cox Ring. • Singularitäten. • Picardgruppe. • Basisorte. • Ampleness. • Kanonische Klasse. • Intrinsische Quadriken. • k^*-Flächen. • Varietäten mit Torusoperation.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ihre Kenntnis und ihr Verständnis der zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der modernen algebraischen Geometrie in ihrem Wechselspiel zwischen Geometrie und Algebra und Kombinatorik vertieft. Sie haben mit den Cox Ring als algebraisches Objekt zur Untersuchung spezieller Klassen von geometrischen Räumen kennen gelernt. Sie erweitern dabei das Wechselspiel von Algebra und Geometrie um eine weitere wichtige methodische 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.		

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
	Cox Ringe		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 : Ivan Arzhantsev, Ulrich Derenthal, Jürgen Hausen, Antonio Laface: Cox Rings. CUP 2014.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.										
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: - MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, - MAT-45-12 Algebraische Geometrie und Torische Varietäten.										
Modulverantwortliche	Jürgen Hausen										
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie.
Modul-verantwortliche	Daniele Agostini
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-45-28	Modultitel: Elliptische Kurven und Taniyama-Shimura		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	Eine Auswahl der folgenden Themen wird behandelt: • Gruppen-Gesetz, Arithmetik elliptischer Kurven. • Modulare Kurven und Formen. • Riemannsche Flächen, abelsche Differentiale, Jakobische. • Geometrische Version der Taniyama-Shimura-Vermutung (Wilesscher Modularitätssatz) erklärt. • Zusammenhang mit Fermats letztem Satz. • L-Reihen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben das Zusammenspiel von Methoden der Algebra, der Zahlentheorie und der Geometrie zur Beantwortung tiefliegender mathematischer Fragestellungen am Beispiel der Vermutung von Taniyama-Shimura und ihrer Anwendung zum Beweis des Fermatschen Satzes kennen- und verstehen gelernt. 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
	Elliptische Kurven und Taniyama-Shimura	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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 : • Joseph H. Silverman: The Arithmetic of Elliptic Curves. Springer 2009.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelor- bzw. Masterstudiengangs vorausgesetzt (beachte bei letzteren auch die dort angegebenen Voraussetzungen): • MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie, • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis.
Modul-verantwortliche	Ivo Radloff
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Diane Maclagan, Bernd Sturmfels: Introduction to tropical geometry. AMS 2015. • Grigory Mikhalkin, Johannes Rau: Tropical geometry. Manuscript 2018.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Algebra und Geometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Tropische Enumerative Geometrie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-05 Tropische Enumerative Geometrie - Teil 1.
Modulverantwortliche	Hannah Markwig
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie und Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-10 Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-16	Modultitel: Riemannsche Geometrie				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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• Riemannsche Mannigfaltigkeiten. • Gedäten. • Krümmung. • Geometrie von Untermannigfaltigkeiten.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die wesentlichen Begriffe und Beispiele Riemannscher Mannigfaltigkeiten vom klassischen Standpunkt aus kennengelernt und verstanden. Zudem sind sie vertraut mit dem Konzept der Geodäten und wichtiger geometrischer Resultate, die für das Verständnis ihrer Rolle in verschiedenen Bereichen der Differentialgeometrie essentiell sind. Sie haben eine gute Intuition für unterschiedliche Begriffe der Krümmung entwickelt und sind vertraut mit Rechentechniken der Differentialgeometrie. 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
	Riemannsche Geometrie	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 6 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										

Literatur	Exemplarische Literatur : • John M. Lee: Riemannian manifolds: An introduction to curvature. Springer 1997. • Barret O'Neill: Semi-Riemannian geometry. With applications to relativity. Academic Press 1983.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den Studienschwerpunkten <i>Algebra und Geometrie</i> , <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul-verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-17	Modultitel: Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory)		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	Integrable systems are differential or difference equations with extraordinarily large symmetry group. The course will focus on equations related to the Korteweg de Vries (KdV) equation and discrete counterparts. Originally a mathematical model for the soliton phenomenon discovered during a famous horse ride along a canal, equations of KdV type have now many applications and the underlying theory involves various mathematical disciplines. A fundamental idea for understanding and solving KdV type equations is their interpretation as spectrum preserving deformations of underlying auxiliary linear operators - in the simplest case symmetric matrices. We study an important class of explicit solutions that includes solitons and finite gap (or algebro-geometric) solutions. This class of solutions can be described using a combination of Riemann surface theory and classical mechanics. The relevant parts of classical mechanics, Riemann surface theory, and spectral theory will be explained in the lecture. We will also briefly touch upon an integrable systems interpretation of the QR-algorithm of numerical linear algebra. The KdV equation is related to geometry in several different ways: for example, it can be interpreted as a dynamical system on the space of parametrized curves in the plane; it is deeply related to the geometry of Lie algebras and Lie groups; the special solutions discussed in the lecture are related to the geometry of Riemann surfaces... In a sequel to the lecture, it is planned to explain how infinite dimensional projective geometry allows to interpret generalizations of the KdV equation as quadratic equations and to finally linearize their dynamics.		
Qualifikationsziele	The students have seen and understood relations between classical topics like Riemann surfaces, mechanics, and spectral theory – as well as other branches of mathematics – that were discovered mainly in the second half of the twentieth century during the emergence of a branch of mathematics sometimes called <i>soliton theory</i> or <i>integrable mathematics</i>. The students can name and prove the central results of the lecture and they can explain their intrinsic connections. In the exercise classes they have acquired a confident, precise and independent handling of the terms, statements and methods of the lecture. They have learned to transfer the methods to new problems, to analyse them and to work on solution strategies on their own or in a team. They are capable of presenting their results and if applicable to argue for it in a critical discourse.		

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
	Introduction to Integrable Systems	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Olivier Babelon, Denis Bernard, Michel Talon: Introduction to classical integrable systems. CUP 2004. • Leonid A. Dickey: Soliton equations and Hamiltonian systems. World Scientific 2003. • Alan C. Newell: Solitons in mathematics and physics. SIAM 1985. • Sergei P. Novikov, Sergei V. Manakov, Lev P. Pitaevskii, Vladimir E. Zakharov: Theory of Solitons - The Inverse Scattering Method. Consultants Bureau 1984).									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-50-10 Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1.									
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-50-18	Modultitel: Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras)				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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	Integrable systems are differential or difference equations with extraordinarily large symmetry group. The course will focus on equations related to the Korteweg de Vries (KdV) equation and discrete counterparts. Originally a mathematical model for the soliton phenomenon discovered during a famous horse ride along a canal, equations of KdV type have now many applications and the underlying theory involves various mathematical disciplines. A fundamental idea for understanding and solving KdV type equations is their interpretation as spectrum preserving deformations of underlying auxiliary linear operators - in the simplest case symmetric matrices. This lecture is the continuation of the lecture called Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory). This continuation will investigate integrable equations using $sl(2, \mathbb{C})$-loop algebras. In particular, we will study explicit solutions that can be described using the theory of hyperelliptic Riemann surfaces.									
Qualifikationsziele	The students have acquired a uniform point of view on integrable equations related to the loop algebra of $sl(2, \mathbb{C})$. The students can name and prove the central results of the lecture and they can explain their intrinsic connections. In the exercise classes they have acquired a confident, precise and independent handling of the terms, statements and methods of the lecture. They have learned to transfer the methods to new problems, to analyse them and to work on solution strategies on their own or in a team. They are capable of presenting their results and if applicable to argue for it in a critical discourse.									
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
	Integrable Systems (and Infinite Dimensional Lie Algebras)	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Olivier Babelon, Denis Bernard, Michel Talon: Introduction to classical integrable systems. CUP 2004. • Leonid A. Dickey: Soliton equations and Hamiltonian systems. World Scientific 2003. • Alan C. Newell: Solitons in mathematics and physics. SIAM 1985. • Sergei P. Novikov, Sergei V. Manakov, Lev P. Pitaevskii, Vladimir E. Zakharov: Theory of Solitons - The Inverse Scattering Method. Consultants Bureau 1984).
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-17 Introduction to Integrable Systems (Classical Mechanics, Riemann Surfaces, and Spectral Theory).
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-19	Modultitel: Mathematische Aspekte des Deep Learning 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	- Mechanismen hinter (mathematischem) Denken in großen Sprachmodellen (wie GPT o1). Suche und Reinforcement Learning. - Auf dem Weg zu multimodalen großen Sprachmodellen: wie man Sprachmodellen das Sehen und Zeichnen beibringt und ihnen das Verstehen und Erzeugen von Bildern ermöglicht. - Anwendungen neuronaler Netze in der angewandten Mathematik (Ingenieurwesen), z.B. Modellierung mit partiellen Differentialgleichungen, Simulation, inverse Probleme. Zum Beispiel Physics-Informed Neural Networks, neuronale Operatoren, 3D-Rekonstruktion aus 2D-Bildern.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit aktuellen Fragestellungen im Bereich Deep Learning sowie mit Anwendungen innerhalb der Mathematik oder mit mathematischer Relevanz 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
	Mathematische Aspekte des Deep Learning 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 : - Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville: Deep Learning. MIT 2016. - Simon J. D. Price: Understanding Deep Learning. MIT Press 2023. - Christopher M. Bishop, Hugh Bishop: Deep Learning - Foundations and Concepts. Springer 2024.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-14 Mathematische Aspekte des Deep Learning 1.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	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.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-21 Algebraische Topologie 1.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	Eine Auswahl aus den folgenden Themengebieten wird behandelt werden: • Grundzüge der Homotopietheorie; • Homotopiegruppen von Sphären; • Spektralsequenzen; • K-Theorie; • Charakteristische Klassen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden werden mit den vertieften Kenntnissen in Algebraischer Topologie, die sie sich angeeignet haben, nun in aktuelle Forschungsgebiete eingeführt und sie gehen selbst ein kleines Forschungsprojekt an, 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	P		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 zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-21 Algebraische Topologie 1, • MAT-50-22 Algebraische Topologie 2.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie</i> sowie <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-12 Stochastik. Darüber hinaus sind Kenntnisse des Deep Learning erforderlich, wie sie etwa im Modul MAT-50-14 und MAT-50-19 vermittelt werden.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-27	Modultitel: Topologische Vektorräume und Distributionen				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	Eine Auswahl aus den folgenden Themengebieten wird behandelt werden: • Lokalkonvexe topologische Vektorräume, Frechet-Räume, LF-Räume und LB-Räume. • Dualität: Satz von Hahn-Banach, Dualraum, Topologien auf dem Dualraum. • Verallgemeinerte Funktionen, Radon Maße und Distributionen. • Eigenschaften von Distributionen und Operationen auf dem Raum der Distributionen. • Anwendungen und Beispiele.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken der Theorie topologischer Vektorräume und verstehen dieses auf die Theorie der verallgemeinerten Funktionen nach L. Schwartz anzuwenden. Die Studierenden sind zudem in der Lage, die wesentlichen Anwendungen der Theorie zu benennen und aufzuzeigen, welche klassischen Fragestellungen der mathematischen Physik damit behandelt werden können. Die 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
	Topologische Vektorräume und Distributionen	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 : • Gerald Folland: Real Analysis. Wiley 1999. • Helmut H. Schäfer: Topological Vector Spaces. Springer 1999. • Laurant Schwartz: Theorie des Distributions. Hermann 1998. • Laurant Schwartz: Mathematics for the Physical Sciences. Dover 2008. • Francois Trèves: Topological Vector Spaces, Distributions and Kernel. Dover 1967.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
Modul-verantwortliche	Ulrich Groh, Rainer Nagel
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-28	Modultitel: Uniformisierung Riemannscher Flächen				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h		Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h				
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Uniformisierung Riemannscher Flächen									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben gelernt, wie durch sukzessives Lösen geeigneter Differentialgleichungen die einfach zusammenhängenden Riemannschen Flächen bestimmt werden. Sie können damit im Anschluss Riemannsche Flächen unter geeigneten Bedingungen klassifizieren. 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.									
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
	Uniformisierung Riemannscher Flächen	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
	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. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.									
Literatur	Exemplarische Literatur : • Hershel M. Farkas, Irwin Kra: Riemann Surfaces. Springer 1992.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> sowie <i>Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-50-15 Einführung in Riemannsche Flächen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-50-40	Modultitel: Gromov-Witten-Theorie		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 3 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	• Enumerative Geometrie, • Modulräume von stabilen Kurven, • Modulräume von stabilen Abbildungen, • universelle Familien, • vergeßliche Abbildungen, • Klebeabbildungen, • Gromov-Witten-Invarianten, • Berechnung von Gromov-Witten-Invarianten, • Divisorgleichung, • Kontsevichs Formel.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden werden auf der Grundlage ihrer Kenntnisse in Algebraischer Geometrie in das aktuelle Forschungsgebiet der Gromov-Witten-Theorie und enumerativen Geometrie eingeführt. Die Studierenden kennen und verstehen wichtige Beispielsklassen von enumerativen Invarianten und wissen, wie sich diese als Schnittprodukte auf Modulräumen darstellen lassen. Die Studierenden beherrschen die grundlegenden Algorithmen zur Berechnung von Gromov-Witten-Invarianten. 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
	Gromov-Witten-Theorie		V	f	3	4,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
			Ü	f	1	1,5					
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 : - Joachim Kock, Israel Vainsencher: An invitation to quantum cohomology: Kontsevich's formula for rational plane curves. Birkhäuser 2007. - Ravi Vakil: The moduli space of curves and Gromov-Witten theory. Enumerative invariants in algebraic geometry and string theory. Lecture Notes in Mathematics, 1947. Springer 2008.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.										
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: MAT-45-01 Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie.										
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden											

Modulnummer: MAT-55-02	Modultitel: Nichtlineare 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	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• Differentiation und Integration in Banachräumen. • Kompakte, koerzive, eigentliche Abbildungen und Gradientenabbildungen. • Fredholmabbildungen. • Kontinuitätsmethode. • Abbildungsgrad. • Fixpunktsätze. • Variationsungleichungen. • Monotone Operatoren.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Differentiation und Integration nichtlinearer Funktionen und verschiedene funktionalanalytische Methoden zum Lösen von nichtlinearen Gleichungen in unendlich-dimensionalen Räumen. 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 die Studierenden Sicherheit im technischen Umgang mit den erlernten Methoden erworben und können sie selbstständig auf andere Problemstellungen anwenden. Sie sind in der Lage, ihre Problemlösungen zu präsentieren und an Diskursen zu Problemen dieses Forschungsgebietes teilzunehmen.									
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 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 : • Melvyn Berger: Nonlinearity in Functional Analysis. Elsevier 1977. • Klaus Deimling: Nonlinear Functional Analysis. Springer 1985. • Eberhard Zeidler: Nonlinear Functional Analysis and its Applications I. Fixed-Point Theorems. Springer 1986.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
Modul-verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-04	Modultitel: Operatoralgebren		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	• 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.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentrale Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Theorie der Operatoralgebren kennengelernt. Dabei haben sie das tief liegende 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. Sie 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
	Operatoralgebren	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.									
Modulverantwortliche	Ulrich Groh, Rainer Nagel									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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, Krenley Oliveira: Foundations of Ergodic Theory. CUP 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
Modul- verantwortliche	Ulrich Groh, Rainer Nagel
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-01 Funktionalanalysis.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. In Kombination mit einem der Module Numerik stationärer Differentialgleichungen oder Numerik instationärer Differentialgleichungen ist es im Studienschwerpunkt <i>Numerische Mathematik und Optimierung</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huiskens, Reiner Schätzle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Lawrence C. Evans: Partial Differential Equations. AMS 2010. • David Gilbarg, Neil Trudinger: Elliptic partial differential equations of second order. Springer 1083. • David Kinderlehrer, Guido Stampacchia: An introduction to variational inequalities and their applications. Siam 2000.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-26	Modultitel: Partielle Differentialgleichungen in konformer Geometrie: das Yamabe Problem		Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	3		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 120 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Fachsemester	1-3		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	Der Uniformisierungssatz besagt, dass eine geschlossene zweidimensionale Riemannsche Mannigfaltigkeit konform äquivalent zu einer mit konstanter Schnittkrümmung ist. Das entsprechende Problem in höheren Dimensionen besteht darin, eine konforme Metrik mit konstanter skalarer Krümmung zu finden. Dieses Problem ist als Yamabe-Problem bekannt, das 1960 von Yamabe eingeführt wurde. Die Mängel in seinem Beweis wurden erst 1984 behoben, indem die Arbeiten von Trudinger, Aubin, Schoen und anderen kombiniert wurden. Dieser Kurs bietet einen Überblick über den vollständigen Beweis des Yamabe-Problems, der äußerst reich an Techniken der Variationsrechnung, der geometrischen Analyse und der elliptischen partiellen Differentialgleichungen ist. Darüber hinaus werden wichtige Ergebnisse aus der mathematischen Relativitätstheorie verwendet, wie beispielsweise der Positive-Massen-Satz, der zwar durch die Physik motiviert ist, aber mächtige analytische Konsequenzen besitzt. Zudem werden grundlegende Ergebnisse für nicht-kompakte Mannigfaltigkeiten oder Mannigfaltigkeiten mit Rand sowie das parabolische Analogon, der Yamabe-Fluss, behandelt.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden können das Yamabe-Problem formulieren und die Struktur des Beweises erklären. Die Studierenden sind mit grundlegenden Methoden der Variationsrechnung vertraut, insbesondere im Hinblick auf die (subkritischen) Yamabe-Energie-Funktionale und die zugehörigen elliptischen semilinearen partiellen Differentialgleichungen. Sie können die konforme Greensche Funktion untersuchen und diese mit der Lösbarkeit des Yamabe-Problems in Verbindung bringen. Die Studierenden kennen zudem den Begriff der Masse in der mathematischen Relativitätstheorie und den renommierten Positive-Massen-Satz, den sie ebenfalls mit der Lösung des Yamabe-Problems verknüpfen können. Sie sind in der Lage, die Hauptideen des Beweises des Positive-Massen-Satzes darzustellen und insbesondere Elemente der Minimalflächentheorie zu beherrschen. 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
	Partielle Differentialgleichungen in konformer Geometrie: das Yamabe Problem	V	f	2	3	ja	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 : • John M. Lee, Thomas H. Parker: The Yamabe problem. Bull. Am. Math. Soc., New Ser. 17, 37–91, 1987. • Richard Schoen, Shing-Tung Yau: Lectures on differential geometry. International Press 1994. • Thierry Aubin: Some nonlinear problems in Riemannian geometry. Springer 1998. • Michael Struwe: Variational methods. Applications to nonlinear partial differential equations and Hamiltonian systems. Springer 2008.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen.									
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-55-27	Modultitel: Voll-nichtlineare elliptische Gleichungen				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Lösung allgemeiner voll-nichlinearer gleichmäßig elliptischer Gleichungen. • Lösung der Monge-Ampere-Gleichung.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die Techniken erlernt, sukzessive das Supremum, den Gradienten und die zweiten Ableitungen einer gegebenen Lösung einer voll-nichtlinearen elliptischen Gleichung abzuschätzen. Sie erfahren wie anschließend der Stetigkeitsmodul der zweiten Ableitungen durch den Satz von Evans-Krylov abgeschätzt wird und erlernen die Kontinuitätsmethode, die zur Existenz einer Lösung führt. Sie können die Methoden insbesondere auf allgemeine gleichmäßig elliptische Gleichungen und auf die spezielle, nicht gleichmäßig elliptische Monge-Ampere-Gleichung anwenden. 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.									
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
	Voll-nichtlineare elliptische Gleichungen	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
	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. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.									

Literatur	Exemplarische Literatur : • Luis A. Caffarelli, Joseph Kohn, Joel Spruck: The Dirichlet problem for nonlinear second-order elliptic equations. I. Monge-Ampere equation. In: Communications on Pure and Applied Mathematics 37,3 pp. 369-402. • Luis A. Caffarelli, Joseph Kohn, Luis Nirenberg, Joel Spruck: The Dirichlet problem for nonlinear second-order elliptic equations. II. Complex Monge-Ampere, and uniformly elliptic, equations. In: Communications on Pure and Applied Mathematics 38,2 pp. 209-252. • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations of Second Order. Springer 1998.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen zu großer inhaltlicher Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul MAT-60-36 Fully nonlinear elliptic and parabolic partial differential equations eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-55-22 Partielle Differentialgleichungen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Algebra und Geometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-65-11 Geometry in Physics.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-41 Einführung in 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Kompaktheitssatz für integrale Ströme. • Regularität von flächeninhaltsminimierenden Strömen.									
Qualifikationsziele	Nachdem die Studierenden wesentliche Begriffe und Methoden der Geometrischen Maßtheorie erlernt haben, werden diese Kenntnisse vertieft. Sie werden auf aktuelle Fragen der Forschung vorbereitet und an diese herangeführt werden. 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	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
		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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-41 Einführung in Geometrische Maßtheorie, • MAT-55-42 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Geometrische Maßtheorie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-41 Einführung in 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-48	Modultitel: Geometrische Maßtheorie – Ströme			Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit						
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h		Kontaktzeit: 45 h		Selbststudium: 105 h					
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	• Allgemeine und rektifizierbare Ströme. • Deformationssatz. • Flächeninhaltsminimierende Ströme.									
Qualifikationsziele	Nachdem die Studierenden die grundlegenden Begriffe und Methoden in Einführung in Geometrische Maßtheorie erlernt haben, werden diese Kenntnisse mit besonderem Blick auf Ströme vertieft. Die Studierenden werden auf aktuelle Fragen der Forschung vorbereitet und an diese herangeführt werden. 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
	Geometrische Maßtheorie – Flüsse	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
		Ü	f	1	1,5					
	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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul ist inhaltlich Teil des Moduls Geometrische Maßtheorie und kann nicht mit diesem zusammen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-41 Einführung in 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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-55-71	Modultitel: Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 3 SWS + Übung 1 SWS		
Modulinhalt	• Grundlagen zu Operatoralgebren (C^*-Algebren, algebraische Zustände, induktive Grenzen). • Einführung in die algebraische Deformationsquantisierung (allgemeiner Aufbau, kohärente Zustände, Beispiele). • Anwendungen auf den klassischen Grenzwert der Quantenmechanik und statistischen Mechanik einschließlich asymptotischer Emergenz (Phasenübergänge, große Abweichungen (Entropie), spontane Symmetriebreüche).		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben vertiefte Kenntnisse in Auswahlfragen der algebraischen Quantentheorie mit Schwerpunkt auf der algebraischen Deformationsquantisierung und deren Anwendungen auf die klassische Grenze der Quantenmechanik und der statistischen Mechanik erworben. Sie haben algebraische Techniken gelernt, um abstrakte Strukturen zu entwickeln, die die Eigenschaften einer physikalischen Theorie kodieren. Sie sind mit Techniken vertraut, um Existenzresultate von Grenzwerten von durch algebraische Zustände kodierten Sequenzen/Netzen zu beweisen, diese zu untersuchen und in eine allgemeine Perspektive zu stellen. Darüber hinaus verstehen sie die physikalische Relevanz der Ergebnisse und sind in der Lage, diese mit Merkmalen der Gleichgewichtsthermodynamik, wie Phasenübergängen und spontanen Symmetriebrechungen, in Beziehung zu setzen. Sie sind in der Lage, den aktuellen Stand der Forschung auf dem jeweiligen Gebiet zu beschreiben. 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
	Operatoralgebren und ihre Anwendungen in Statistischer Mechanik		V	f	3	4,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
			Ü	f	1	1,5					
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 : Klaas Landsman: Foundations of Quantum Theory, From Classical Concepts to Operator Algebras. Springer 2017.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie, Mathematische Physik und Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.										
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: MAT-55-01 Funktionalanalysis.										
Modulverantwortliche	Andreas Prohl										
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden											

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul- verantwortliche	Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	• 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 Kenntnissen 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 <i>Studienschwerpunkt Analysis und Differentialgeometrie</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.									

Modul- verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-03	Modultitel: Topics in Mathematical Relativity				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	regelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• 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.									
Qualifikationsziele	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.									
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
	Topics in Mathematical Relativity	V	f	2	3	nein	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 mündliches Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 6 nur 3 Leistungspunkte vergeben.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-13 Mathematical Relativity.
Modul- verantwortliche	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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-04	Modultitel: Raumartige Hyperflächen in Lorentz-Mannigfaltigkeiten					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	Raumartige Hyperflächen in Lorentz-Mannigfaltigkeiten spielen eine entscheidende Rolle im Studium von Lösungen der Einstein-Gleichung, die einige Phänomene der Allgemeinen Relativitätstheorie modelliert. Es wird untersucht, wie die geometrische Wahl von raumartigen Hyperflächen, wie maximalen Flächen, konstanten mittleren Krümmungsflächen oder Lösungen zum mittleren Krümmungsfluss oder zum inversen mittleren Krümmungsfluss, genutzt werden können, um eine Spaltung von Raum und Zeit zu erreichen, die sowohl geeignet ist für das Studium isolierter Gravitationssysteme als auch für das Studium der kosmologischen Raumzeit.									
Qualifikationsziele	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. 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Raumartige Hyperflächen in Lorentz-Mannigfaltigkeiten	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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 : • Barrett O'Neill: Semi-Riemannian Geometry - With applications to Relativity. Academic Press 1983. • Andrejs E. Treibergs: Entire space-like hypersurfaces of constant mean curvature in Minkowski space. Inventiones Math. 66, (1982) 39–56. • Klaus Ecker, Gerhard Huisken: Parabolic methods for the construction of spacelike slices of prescribed mean curvature in cosmological spacetimes. Comm. Math. Phys. 135 (1991), 595–613. • Helmut Friedrich, Alan Rendall: The Cauchy Problem for the Einstein Equations. In: Schmidt B.G. (eds) Einstein's Field Equations and Their Physical Implications. Lecture Notes in Physics, vol 540. Springer 1999. • Hans Ringström: The Cauchy Problem in General Relativity. European Math. Society 2009.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-13 Mathematical Relativity.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul-verantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-07	Modultitel: Special Relativity					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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	• Herleitung der Minkowski Metrik aus grundlegenden physikalischen Annahmen. • Physikalische Konsequenzen der Relativität wie die Länge der Kontraktion, Zeit Dilatation und einige beliebte Paradoxa.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die Herleitung der Speziellen Relativitätstheorie und wichtige Konzepte wie Längenkontraktion und Zeitdilatation kennen gelernt und verstanden. Sie sind mit wichtigen sich ergebenden Paradoxa vertraut. Die Studierenden haben eine Intuition für verschiedene Aspekte der Relativitätstheorie entwickelt. 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
	Special Relativity	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 : • Albert Einstein: Relativity: the special and general theory. Public domain 1920. • Thomas A. Moore: Six ideas that shaped physics: unit R. McGraw-Hill 2003. • Robert Resnick: Introduction to Special Relativity. Wiley 2007. • Bernard Schutz: A First Course in General Relativity. Cambridge University Press 2009.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul- verantwortliche	Carla Cederbaum, Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-08	Modultitel: Nullgeometrie in allgemeiner Relativitätstheorie				Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit					
ECTS-Punkte	4,5									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h			Kontaktzeit: 45 h			Selbststudium: 105 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in die Nullgeometrie. Themen sind dabei die Eigenschaften von lichtartigen Vektorfeldern und Kurven, sowie die Geometrie von lichtartigen Hyperflächen, die eine degenerierte, induzierte Metrik tragen. Ein weiteres größeres Thema stellt die extrinsische Krümmung von raumartigen Flächen in höherer Kodimension dar, welche insbesondere entlang von lichtartigen Hyperflächen betrachtet werden. Optional können zusätzlich geometrische Flüsse entlang von lichtartigen Hyperflächen behandelt werden.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus der Nullgeometrie analysieren. Weiterhin verknüpfen sie physikalische Fragestellungen 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. 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Nullgeometrie in allgemeiner Relativitätstheorie	V Ü	f f	2 1	3 1,5	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. – Das Modul kann vom ausnahmsweise Dozenten auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.										

Literatur	Exemplarische Literatur : • Barrett O'Neill: Semi-Riemannian Geometry. Academic Press 1983. • Johannes Sauter: Foliations of Null hypersurfaces and the Penrose Inequality. Dissertation (ETH Zürich), url: https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/150826.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> sowie <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul-verantwortliche	Carla Cederbaum
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-09	Modultitel: The Einstein Constraint Equations		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Modulinhalt	• Introduction to GR and the Einstein equations: – The Einstein equations, special solutions and geometric constructions; – The Cauchy problem for the Einstein equations. • The constraint equations and the conformal method: – The conformal method; – Review of elliptic theory on closed manifolds; – Constant mean curvature classification on closed manifolds. • Asymptotically Euclidean (AE) initial data: – AE manifolds and elliptic operators; – Constructions of AE initial data sets.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden können mittels konformer Methoden die Einsteinschen Zwangsbedingungen in ein System elliptischer partieller Differentialgleichungen transformieren und so Teile der Lösungsräume der Einsteingleichungen beschreiben und Eigenschaften der zugehörigen Lösungen analysieren. Sie haben Verbindungen der Theorie zu Fragestellungen der Geometrischen Analysis wie die skalare Krümmungsvorgabe und das Yambe-Problem kennen gelernt und sind mit dem Zusammenspiel von Methoden der Riemannschen Geometrie, der Geometrischen Analysis und der Physik zur Beantwortung von Fragen der Allgemeinen Relativitätstheorie vertraut. 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
	The Einstein Constraint Equations	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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. – Das Modul kann vom Dozenten ausnahmsweise auch ohne Übungen angeboten werden; in diesem Fall werden für das Modul statt 5 nur 3 Leistungspunkte vergeben.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> sowie <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-11 Geometry in Physics, • MAT-50-16 Riemannsche Geometrie. Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen.									
Modul-verantwortliche	Carla Cederbaum									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Modulnummer: MAT-60-10	Modultitel: Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (mit Übungen)					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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	Die Studierenden lernen neuere Ergebnisse aus der Theorie von geometrischen Evolutionsgleichungen kennen, mit denen Kurven, Hyperflächen und andere Untermannigfaltigkeiten eines ambienten Raumes deformiert werden. Beispiele sind der Fluss von Hyperflächen entlang der mittleren Krümmung oder Flüsse mit anderen geometrisch definierten Geschwindigkeiten.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben Techniken für die Kontrolle von Lösungen nichtlinearer parabolischer Evolutionsgleichungen erlernt, 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. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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
	Special Topics in Evolution Equations for Submanifolds	V	f	2	3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	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 : • Klaus Ecker: Regularity theory for mean curvature flow. Birkhäuser 2004.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie und Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul- verantwortliche	Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-11	Modultitel: Ausgewählte Themen zu Evolutionsgleichungen für Untermannigfaltigkeiten (ohne Übungen)						Art des Moduls: Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit			
ECTS-Punkte	3									
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h			Kontaktzeit: 60 h			Selbststudium: 120 h			
Moduldauer	1 Semester									
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	Die Studierenden lernen neuere Ergebnisse aus der Theorie von geometrischen Evolutionsgleichungen kennen, mit denen Kurven, Hyperflächen und andere Untermannigfaltigkeiten eines ambienten Raumes deformiert werden. Beispiele sind der Fluss von Hyperflächen entlang der mittleren Krümmung oder Flüsse mit anderen geometrisch definierten Geschwindigkeiten.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben Techniken für die Kontrolle von Lösungen nichtlinearer parabolischer Evolutionsgleichungen erlernt, 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
	Special Topics in Evolution Equations for Submanifolds	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 : Klaus Ecker: Regularity theory for mean curvature flow. Birkhäuser 2004.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: - MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, - MAT-65-11 Geometry in Physics.									

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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Teilnahme- voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul- verantwortliche	Carla Cederbaum
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-35	Modultitel: Nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen					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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• Semilineare und quasilineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen; • Minimalflächenoperator und Flächen vorgeschriebener mittlerer Krümmung; • Parabolische geometrische Gleichungen, z.B. Fluss entlang der mittleren Krümmung; • Hölder-Stetigkeit nach De Giorgi und Nash; • Innere Regularität und Randregularität von Lösungen.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben analytische Methoden erlernt, die zentral sind für die Behandlung nichtlinearer partieller Differentialgleichungen zweiter Ordnung vom elliptischen und parabolischen Typus. Anhand konkreter Beispiele partieller Differentialgleichungen der Mathematischen Physik und der Differentialgeometrie wurden Techniken erlernt, um Existenz und Regularität von Lösungen solcher Gleichungen zu beweisen. 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 die Studierenden Sicherheit im technischen Umgang mit den erlernten Methoden erworben und können sie selbstständig auf andere Problemstellungen anwenden. Sie sind in der Lage, ihre Problemlösungen zu präsentieren und an Diskursen zu Problemen dieses Forschungsgebietes teilzunehmen.									
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 elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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: Chapters on Sobolev Spaces and elliptic PDEs. AMS 1998. • Gary Lieberman: Second order parabolic differential equations. World Scientific 1996. • Fritz John: Introduction to Partial Differential Equations. Springer 1982. • Jürgen Jost: Partielle Differentialgleichungen. Springer 1998. • David Kinderlehrer, Guido Stampacchia: An introduction to variational inequalities and their applications, Pure and Applied Mathematics, Vol. 88. Academic Press 1980.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-60-36	Modultitel: Voll nichtlineare elliptische und parabolische partielle 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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS									
Modulinhalt	Die Vorlesung untersucht stark nicht-lineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen zweiter Ordnung. Klassische Beispiele sind die Monge-Ampère Gleichung, die Gleichung vorgeschriebener Gauß-Krümmung und allgemeiner Gleichungen, bei denen skalare Invarianten der Krümmung einer Hyperfläche vorgeschrieben werden. Auch in Problemen der stochastischen Kontrolltheorie und in der Theorie des Optimal Transport treten Gleichungen von diesem Typus auf. Die Vorlesung beschreibt grundlegende Techniken für die Lösung der zugehörigen Dirichlet- und Neumann-Randwertprobleme. Insbesondere werden die notwendigen a priori Abschätzungen für Lösungen untersucht.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben analytische Methoden erlernt, die zentral sind für die Behandlung stark nichtlinearer partieller Differentialgleichungen zweiter Ordnung vom elliptischen und parabolischen Typus. Anhand konkreter Beispiele solcher Differentialgleichungen wurden Techniken erlernt, um Existenz und Regularität von Lösungen solcher Gleichungen und der zugehörigen Randwertprobleme zu beweisen. Die Studierenden können die erlernten Methoden selbständig auf andere Problemstellungen und verwandte Gleichungen 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 die Studierenden Sicherheit im technischen Umgang mit den erlernten Methoden erworben und können sie selbständig auf andere Problemstellungen anwenden. Sie sind in der Lage, ihre Problemlösungen zu präsentieren und an Diskursen zu Problemen dieses Forschungsgebietes teilzunehmen.									
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
	Voll nichtlineare elliptische und parabolische partielle Differentialgleichungen	V	f	2	3	ja	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 : • David Gilbarg, Neil S. Trudinger: Elliptic partial differential equations of second order. Springer 2001. • Lawrence C. Evans, Partial Differential Equations: Chapters on Sobolev Spaces and elliptic PDEs. AMS 1998. • Gary Lieberman: Second order parabolic differential equations. World Scientific 1996. • Ilya J. Bakelman: Convex functions and nonlinear geometric elliptic equations. Springer 1994. • Luis Caffarelli, Xavier Cabré: Fully nonlinear elliptic equations. AMS 1995.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i>. Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i>, <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar. Das Modul kann wegen zu großer inhaltlicher Überschneidungen nicht zusammen mit dem Modul MAT-55-27 Voll-nichtlineare elliptische Gleichungen eingebracht werden.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-55-21 Einführung in Partielle Differentialgleichungen, • MAT-65-11 Geometry in Physics.
Modul-verantwortliche	Gerhard Huiskens
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-13	Modultitel: Mathematical Relativity				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									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	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.									
Qualifikationsziele	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 Fragestellungen 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.									
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Mathematical Relativity	V Ü	o o	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
Die Prüfungsform wird vom Dozenten bzw. der Dozentin festgelegt.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-11 Geometry in Physics.									

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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-21	Modultitel: Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory					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	Englisch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	Dieses Modul bietet eine Einführung in ein weiterführendes Thema der Mathematischen Vielteilchen-Quantentheorie, beispielsweise Hartree und Hartree-Fock Theorie, BCS Theorie, Adiabatentheorie, Renormierungsgruppe, mathematische Modelle in der Quantenfeldtheorie und Transport in wechselwirkenden Fermionensystemen. Es werden sowohl die für das jeweilige Gebiet grundlegenden mathematischen Resultate und physikalischen Vorstellungen vermittelt, als auch ein Einblick in den aktuellen Forschungsstand und bestehende offene Probleme gegeben.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die gelernten Begriffe und Methoden und können mit ihrer Hilfe bekannte und neue Fragestellungen aus dem thematisierten Spezialgebiet der Mathematischen Quantentheorie analysieren. 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
	Advanced Topics in Mathematical Quantum Theory	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 <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-65-12 Mathematical Quantum Theory.									

Modul- verantwortliche	Stefan Teufel, Marius Lemm
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen der Bachelor- und Masterstudiengänge vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-55-01 Funktionalanalysis oder MAT-65-12 Mathematical Quantum Theory.
Modul-verantwortliche	Stefan Teufel
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-65-38	Modultitel: Hamiltonsche 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	Das Modul gibt eine Einführung in die Theorie der Hamiltonschen Systeme, wie sie in der klassischen Mechanik verwendet werden. Dies schlägt eine Brücke zwischen den Gebieten Differentialgeometrie, der symplektischen Geometrie und der dynamischen Systeme sowie der theoretischen Physik. Die Hauptpunkte der Vorlesung sind: • Symplektische Mannigfaltigkeiten und die kanonische 1-Form des Kotangentialbündels. • Darboux-Moser Theorem. • Lagrangesche und Hamiltonsche Systeme. • Integrierte Systeme und Arnold-Liouville Theorem. • Momentenabbildungen. • Symplektische Reduktion. • Symplektische Mannigfaltigkeiten und torische Wirkungen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit der Theorie der Hamiltonschen Systeme und ihrer Untersuchung mit Methoden der symplektischen Geometrie vertraut. Sie haben dabei das Zusammenspiel von Methoden und Fragestellungen unterschiedlicher Gebiete der Mathematik (Differentialgeometrie, symplektische Geometrie, dynamische Systeme) und der theoretischen Physik 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
	Hamiltonsche 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 : - Vladimir I. Arnold: Mathematical methods of classical mechanics. Springer 1989. - Ana Cannas da Silva: Lectures on symplectic geometry. Springer 2001.										
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Analysis und Differentialgeometrie</i> und <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.										
Teilnahmevoraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: MAT-65-11 Geometry in Physics.										
Modulverantwortliche	Carla Cederbaum										
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden											

Modulnummer: MAT-65-41	Modultitel: Die Fredholm-Index-Theorie für kondensierte Materie und eine Einführung in Spinsysteme		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	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Modulinhalt	• Wiederholung zu kompakten und Spur Klassen Operatoren in unendlichdimensionalen Hilberträumen. • Fredholm-Index-Theorie in Hilberträumen: Definitionen und Beweise für die Stabilität des Indexes und die Homotopieinvarianz. • Der Fredholm-Index als Differenz von Spuren. • Einführung in die Physik des ganzzahligen Quanten-Hall-Effekts und Anwendung der Fredholm-Index-Theorie. • Definition und Eigenschaften des Bott-Index zweier unitärer Matrizen und Anwendung auf die Index-Theorie des Integer-Quanten-Hall-Effekts auf einem zweidimensionalen Torus. • Die Bulk-Grenze-Korrespondenz für chirale topologische Systeme in einer Dimension. • Tensorprodukte endlich vieler endlichdimensionaler Hilberträume und Einführung in die wichtigsten Modelle von Spin-Systemen.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben Operatoren in unendlichdimensionalen Hilberträumen mit endlichem Kernel und endlicher Kodimension (Fredholm-Operatoren) sowie deren Index und dessen Stabilität (topologische Invarianz) kennen gelernt. Sie verstehen die Bedeutung eines Indexsatzes im Kontext der Festkörperphysik, der eine physikalisch messbare Größe mit einer ganzen Zahl (in bestimmten Einheiten) in Verbindung bringt, und sind in der Lage, diesen für den ganzzahligen Quanten-Hall-Effekt in zwei Dimensionen zu beweisen. Die Studierenden haben die Gleichheit der topologischen Indizes kennen gelernt, die an der Grenze und im Volumen eines eindimensionalen Systems nicht-wechselwirkender Teilchen mit Chiralität definiert sind. Sie erkennen die wichtigsten Modelle von Spin-1/2-Systemen: das Ising-Modell, die XY- und XXZ-Modelle, und können deren Phasendiagramme skizzieren. Die Studierenden können die Bedeutung der dynamischen Informationsausbreitung in einem Spin-System diskutieren und die zugehörigen Lieb-Robinson-Schranken beweisen. 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
	Fredholm Index Theory for Condensed Matter and Introduction to Spin Systems	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 : - Gerard J. Murphy: Fredholm Index Theory and the Trace. Proceedings of the Royal Irish Academy. Section A: Mathematical and Physical Sciences 94A, 161 (1994). - Daniele Toniolo: On the Bott index of unitary matrices on a finite torus. Letters in Mathematical Physics 112, 126 (2022). - Loic Jezequel, Clement Tauber, Pierre Delplace: Estimating bulk and edge topological indices in finite open chiral chains. Journal of Mathematical Physics 63, 121901 (2022). - Peter D. Lax: Functional Analysis. Wiley 2002.									
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Mathematische Physik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.									
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: MAT-65-12 Mathematical Quantum Theory.									
Modul-verantwortliche	Daniele Tonolo									
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden										

Teilnahme- voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-70-02 Numerik stationärer Differentialgleichungen.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	- 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 <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Kenntnisse aus den folgenden Modulen sind hilfreich, aber nicht zwingend notwendig: • MAT-70-01 Algorithmen der Numerischen Mathematik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Numerische Mathematik und Optimierung</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Neben Kenntnissen aus dem Modul Grundlagen der Mathematik (MAT-10-10) werden Kenntnisse aus den folgenden (Teil-)Modulen des Bachelorstudiengangs vorausgesetzt: • MAT-20-04 / MAT-20-04 Aufbauende Pflichtmodule Analysis, • MAT-20-11 / MAT-20-13 Numerik.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-70-32	Modultitel: Statistisches Lernen 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	regelmäßig									
Fachsemester	1-3									
Unterrichtssprache	Deutsch									
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS									
Modulinhalt	• Das uniforme Gesetz der großen Zahlen auf Funktionsklassen (Vapnik-Chervonenkis-Theorie). • Abstrakte (starke) Konsistenztheorie für <i>least-squares</i>-Regressions-Schätzer auf (approximierenden) Funktionsklassen. • Beispiele, insbesondere der <i>data dependent partitioning</i>-Schätzer sowie der <i>least squares neural networks</i>-Schätzer. • Ratenkonvergenz für <i>least-squares</i> Schätzer.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden sind mit vertieften Methoden des Stochastischen Lernens sowie ihrer Analyse vertraut, wie sie für Anwendungen im Machine Learning benötigt werden. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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
	Statistisches Lernen 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 : • Laslo Györfi, Michael Kohler, Adam Krzyzak, Harro Walk: A distribution-free theory of nonparametric regression. Springer 2002.									

Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung</i> und <i>Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-70-31 Theorie des Statistischen Lernens für nicht-parametrische Regression 1.
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, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	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. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und zu beweisen sowie die dargestellten Zusammenhänge einzuordnen und zu erklären. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbstständigen 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 Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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. • Olav Kallenberg: Foundations of Modern Probability. Springer 2021. • 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 2020. • James R. Norris: Markov Chains. Cambridge University Press 1997.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle, Elmar Teufl
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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	• 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)										
		Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Titel									
	Stochastische Analysis	V Ü	f f	4 2	6 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-75-08	Modultitel: Mathematische Populationsgenetik			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	• Austauschbare Populationsmodelle. • Aussterbewahrscheinlichkeit. • Nachkommen und Vorfahren. • Dualität Markoffscher Prozesse. • Coalescent-Prozesse und zugehörige Konvergenzsätze. • Einfache Mutationsmodelle, Ewens-Sampling-Formel. • Statistische Anwendungen, z.B. Schätzen der Mutationsrate.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen in der Vorlesung die Grundzüge der Darstellungstheorie und entwickeln ein Verständnis für das Zusammenwirken geometrischer und algebraischer Methoden. 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
	Mathematische Populationsgenetik	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Jean Bertoin: Random Fragmentation and Coagulation Processes. Cambridge 2006. • Stewart N. Ethier, Thomas G. Kurtz: Markov Processes. Wiley 1986. • Warren J. Ewens: Mathematical Population Genetics. Springer 2004. • Jim Pitman: Combinatorial Stochastic Processes. LNM 1875. Springer 2006. • John Wakeley: Coalescent Theory. Roberts & Company Publishers 2008.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Modulnummer: MAT-75-09	Modultitel: Punktprozesse			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	• Zufällige Maße, Punktprozesse, Poisson-Prozesse. • Phasenübergänge. • Clusteranzahl und Clustergrößen. • Besonderheiten in zwei Dimensionen. • alternative Perkulationsmodelle.									
Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse, Methoden und Beispiele der Theorie der Punktprozesse 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. 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
	Punktprozesse	V Ü	f f	2 2	3 3	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
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 : • Daryl John Daley, David Vere-Jones: An Introduction to the Theory of Point Processes. Springer 2008. • Martin Jacobsen: Point Process Theory and Applications. Birkhäuser 2006. • Olav Kallenberg: Foundations of Modern Probability. Springer 2002. • John F. C. Kingman: Poisson Processes. Clarendon Press 1993. • Günter Last, Mathew D. Penrose: Lectures on the Poisson Process. Cambridge 2016.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zum <i>Studienschwerpunkt Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunkts gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt</i> , <i>Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Martin Möhle
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom Status : o=obligatorisch, f=fakultativ Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden	

Literatur	Exemplarische Literatur : • Gabriel Peyre, Marco Cuturi: Computational optimal transport: with applications to data science. Foundations and Trends in Machine Learning 11.5-6 (2019): 355-607. • Alison L. Gibbs, Francis Edward Su: On choosing and bounding probability metrics. International Statistical Review 70.3 (2002): 419-435. • Cedric Villani: Topics in optimal transportation. American Mathematical Society, 2003. • Imre Csiszar, Paul C. Shields: Information theory and statistics: a tutorial. Foundations and Trends in Communications and Information Theory 1.4 (2004). 417-528. • Ily Tolstikhin et al.: Wasserstein auto-encoders. 6th International Conference on Learning Representations (ICLR 2018) • Siegfried Graf, Harald Luschgy: Foundations of quantization for probability distributions. Springer, 2007.
Verwendbarkeit	Das Modul gehört zu den <i>Studienschwerpunkten Numerische Mathematik und Optimierung und Stochastik</i> . Es ist unter Berücksichtigung des gewählten persönlichen Studienschwerpunktes gemäß der einschränkenden Vorgaben des jeweiligen Abschnittes ggf. in den Abschnitten <i>Studienschwerpunkt, Vertiefungswissen Mathematik</i> oder <i>Freier Wahlbereich</i> einbringbar.
Teilnahme-voraussetzungen	Es werden Kenntnisse aus folgenden Modulen vorausgesetzt; beachte auch die bei diesen angegebenen Voraussetzungen: • MAT-75-01 Wahrscheinlichkeitstheorie.
Modul-verantwortliche	Stephan Eckstein
Erläuterung der Abkürzungen: Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit, P=Portfolio Lehrform : V=Vorlesung, VÜ=Vorlesung mit integrierten Übungen, Ü=Übungen, P=Projekt, S=Seminar, IC=Inverted Classroom 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. Studierende der Universität Tübingen können das Modul *Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten* durch andere Leistungen ersetzen, die Sie an der Università degli Studi di Trento gemäß der dortigen Vorgaben im zweiten Studienjahr erbringen. 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](#).