EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

Mathematisch-
Naturwissenschaftliche
Fakultät

Fachbereich Mathematik

Modulhandbuch

Mathematik
Master of Education
Lehramt Gymnasium

Wintersemester 2025

Stand December 2, 2025

Contents

1 Beschreibung des Studiengangs

1.1 Qualifikationsziele

Der Studiengang M.Ed. Lehramt Gymnasium mit Fach Mathematik soll den späteren Lehrern an Gymnasien die wissenschaftliche Befähigung für den Unterricht im Fach Mathematik vermitteln. Die übergeordneten und die fachspezifischen Qualifikationsziele, sowohl hinsichtlich der Inhalte des Studiums, als auch hinsichtlich der zu erwerbenden Kompetenzen, sind in der Rechtsverordnung des Kultusministeriums über Rahmenvorgaben für die Umstellung der allgemein bildenden Lehramtsstudiengänge in Baden-Württemberg vorgegeben.

Im Rahmen des Studiengangs M.Ed. Lehramt Gymnasium mit Fach Mathematik vertiefen die Absolventinnen und Absolventen ihre mathematischen und mathematikdidaktischen Kenntnisse und Kompetenzen, die es ihnen ermöglichen, gezielte Vermittlungs-, Lern- und Bildungsprozesse im Fach Mathematik zu gestalten und neue fachliche und fächerverbindende Entwicklungen selbständig in den Unterricht und in die Schulentwicklung einzubringen. Aufbauend auf den grundlegenden Fragestellungen in Linearer Algebra, Analysis, Numerik, Stochastik, Geometrie und Algebra aus dem Studiengang B.Ed. Lehramt Gymnasium mit Fach Mathematik erweitern sie ihre Stoff- und Methodenkompetenzen in den Gebieten der Fachdidaktik, der Analysis und einem weiteren mathematischen Gebiet aus den Studienschwerpunkten Algebra und Geometrie, Analysis und Differentialgeometrie, Mathematische Physik, Numerische Mathematik und Optimierung oder Stochastik. Die Absolventinnen und Absolventen beherrschen die theoretischen Erklärungsansätze sowie Prinzipien und Methoden in der Mathematik, sind mit deren Erkenntnis- und Arbeitsmethoden vertraut und können diese in den zentralen Bereichen der Mathematik anwenden. Sie können mathematische Sachverhalte adäquat mündlich und schriftlich unter Verwendung geeigneter Medien darstellen und zentrale Fragestellungen mathematischer Gebiete und deren Bezug zur Schulmathematik erläutern. Sie sind in der Lage, mathematische Probleme planvoll, strategisch und unter Verwendung geeigneter Werkzeuge zu lösen sowie mathematische Beweise nachzuvollziehen und zu entwickeln. Die Absolventinnen und Absolventen können sich aufgrund ihres Überblickwissens grundlegende aktuelle Fragen der Mathematik erschließen und können diese kritisch hinterfragen. Ihr vertieftes Wissen können sie für die Entwicklung und Lösung eigener Ansätze einsetzen und sie können aus allgemeinen Konzepten der Mathematik konkrete Fragestellungen ableiten, analysieren, beweisen und interpretieren. Die Absolventinnen und Absolventen können die Resultate ihrer Arbeit ggf. vor einem wissenschaftlichen Publikum sowohl schriftlich als auch mündlich präsentieren, erläutern und vertiefend diskutieren. Sie haben gelernt, sich eigenständig neues Fachwissen anzueignen und sind dadurch im späteren Berufsleben in der Lage, sich neue mathematische Theorien, die Eingang in die Schulmathematik erhalten, zu erschließen.

Die Studierenden verknüpfen ihr fachwissenschaftliches Wissen mit didaktischen Methoden, setzen geeignete Medien ein und können theoretische Konzepte und empirische Befunde der mathematikbezogenen Lehr-Lern-Forschung nutzen, um in Ansätzen Denkprozesse und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu analysieren und individuelle Lernprozesse anzuleiten. Sie kennen und bewerten die Konzepte für das schulische Mathematiklernen und -lehren auf der Basis fachdidaktischer Theorien und empirischer Befunde. Sie können grundlegend Mathematikunterricht mit heterogenen Lerngruppen auf der Basis fachdidaktischer Konzepte analysieren, planen und exemplarisch durchführen. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, den allgemeinbildenden Gehalt mathematischer Inhalte und Methoden sowie die gesellschaftliche Bedeutung der Mathematik zu begründen und in den Zusammenhang mit den Zielen und Inhalten des Mathematikunterrichts zu stellen.

1.2 Struktur des Studiengangs

Die Regelstudienzeit für den Abschluss Master of Education Lehramt Gymnasium beträgt vier Semester, im Fach Mathematik sind 28 Leistungspunkte zu erbringen. Je nachdem ob der Einstieg zum Winter- oder zum Sommersemester erfolgt, ist das erste oder zweite Fachsemester weitgehend durch den Schulpraxisanteil ausgefüllt, der durch eine Fachdidaktikveranstaltung an der Universität begleitet wird. Fachlich findet zunächst eine Vertiefung im Bereich der Analysis durch ein Modul zu den Grundprinzipien der Funktionentheorie und der Gewöhnlichen Differentialgleichungen statt. Darüber hinaus haben die Studierenden die Möglichkeit, einen eigenen Schwerpunkt in einem der am Fachbereich angebotenen Studienschwerpunkte durch den Besuch einer Vorlesung mit Übungen und einem passenden Seminar zu setzen. Das Studium wird mit der Masterarbeit (15 Leistungspunkte) in einer der beiden gewählten Fachwissenschaften (einschließlich ihrer Fachdidaktiken) oder in den Bildungswissenschaften abgeschlossen. Mit dem Master-Abschluss steht den Studierenden (bei Erfüllung eventueller weiterer Voraussetzungen) der Einstieg in das Referendariat, das Berufsleben, in eine Promotion im Bereich der Fachdidaktik der Mathematik oder der Wechsel in ein weiterführendes Studium offen.

Einen Studienanteil an einer ausländischen Hochschule sinnvoll ins Lehramtsstudium zu integrieren, ist eine Herausforderung, da es gilt, zwei Fächer und die Bildungswissenschaften zu koordinieren; sei es, dass versucht wird, Anteile in allen Bereichen während des Aufenthaltes an der anderen Hochschule zu erbringen, oder sei es, dass versucht wird, das Studium an der Universität Tübingen so zu gestalten, dass Teile des Studiums in andere Semester verschoben werden, um Freiräume zu schaffen, so dass an der anderen Hochschule nicht in allen drei Bereichen Leistungen erbracht werden müssen. Hinzu kommt erschwerend, dass ein Semester durch den Praxisanteil weitgehend blockiert ist. Entsprechend ist es essentiell, dass ein sinnvolles Zeitfenster für einen Studienanteil an einer ausländischen Hochschule in einem persönlichen Beratungsgespräch mit der Studienfachberaterin oder dem Studienfachberater geplant wird. Grundsätzlich kommt aus Sicht der Mathematik hierfür jedes Fachsemester infrage. Die Entscheidung wird im Einzelnen von den bereits erbrachten Leistungen der oder des Studierenden und dem Angebot an der gewählten ausländischen Hochschule abhängen.

2 Studienverlaufsplan

2.1 Übersicht nach Modulen

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

Empfohlenes Fachsemester	Modulnummer	Modultitel	Art der Veranstaltungen	Art des Moduls	Studienleistung	Prüfungsform	ECTS-Punkte
Abschnitt 1: Mathematik							
1-2	MAT-20-02	Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen	V+Ü	PM	ÜN	K o. mP	9
3	MAT-40-51	Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik	V+Ü	PMW	ÜN	K o. mP	9
4	MAT-40-52	Seminar Vertiefung Mathematik	S	PMW	s.M.	R	4
Abschnitt 2: Fachdidaktik Mathematik							
1-2	MAT-80-03	Fachdidaktik Mathematik 3	S+SV	PMW	-	K o. mP o. R o. H	6
Abschnitt 3: Masterarbeit							
4	MAT-40-53	Masterarbeit (Mathematik)	MA	PM	s.M.	MA	15

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, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, S=Seminar, IC=Inverted Classroom
Studienleistung : ÜN=Übungsnachweis
Sonstiges : o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung

2.2 Übersicht nach Studienverlauf

Wir geben zunächst eine Übersicht über den möglichen Studienverlauf in Form einer Tabelle sowohl für den Einstieg im Wintersemester als auch für den Einstieg im Sommersemester.

<table>
<tr><th colspan="5">Studienverlaufsplan bei Studienbeginn im Wintersemester</th></tr>
<tr><th>FS</th><th>LP</th><th>Mathematik</th><th>Fachdidaktik Mathematik</th><th>Masterarbeit</th></tr>
<tr><td>1</td><td>3</td><td></td><td rowspan="2">Fachdidaktik 3
(6 LP)</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>12</td><td>Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen
(9 LP)</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>9</td><td>Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik
(9 LP)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td>4 + (15)</td><td>Seminar Vertiefung Mathematik
(4 LP)</td><td></td><td>Masterarbeit
(15 LP)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Erläuterung der Abkürzungen:
FS=Fachsemester, LP=Leistungspunkte (ECTS-Punkte)</td></tr>
</table>

Figure 2.1: Studienverlaufsplan bei Studienbeginn im Wintersemester

<table>
<tr><th colspan="5">Studienverlaufsplan bei Studienbeginn im Sommersemester</th></tr>
<tr><th>FS</th><th>LP</th><th>Mathematik</th><th>Fachdidaktik Mathematik</th><th>Masterarbeit</th></tr>
<tr><td>1</td><td>12</td><td>Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen
(9 LP)</td><td rowspan="2">Fachdidaktik 3
(6 LP)</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>9</td><td>Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik
(9 LP)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td>4 + (15)</td><td>Seminar Vertiefung Mathematik
(4 LP)</td><td></td><td>Masterarbeit
(15 LP)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Erläuterung der Abkürzungen:
FS=Fachsemester, LP=Leistungspunkte (ECTS-Punkte)</td></tr>
</table>

Figure 2.2: Studienverlaufsplan bei Studienbeginn im Sommersemester

2.3 Übersicht Studienaufbau mit Semesterzuordnung

Übersicht Studienaufbau mit Semesterzuordnung bei Studienbeginn im Wintersemester													
		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: Mathematik									**22**				
Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	9	V	o	4			6		
2.	Übung					Ü	o	2			3		
Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	9	V	o	4				6	
2.	Übung					Ü	o	2				3	
Seminar Vertiefung Mathematik								2	4				
1.	Seminar	R		b	4	S	o	2					4
Abschnitt 2: Fachdidaktik Mathematik									**6**				
Fachdidaktik 3								4	6				
1.	Seminar	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	3	S	o	2		3			
2.	Seminar / Vorlesung	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	3	SV	o	2			3		
Abschnitt 3: Masterarbeit									**15**				
Masterarbeit									15				
1.	Masterarbeit	MA		b		MA	o						15

Erläuterung der Abkürzungen:

- Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet
- Prüfungsform : MA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
- Lehrform : V=Vorlesung, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, T=Repetitorium, P=Praktikum, PS=Proseminar, S=Seminar
- Status : o=obligatorisch, f=fakultativ
- Sonstiges : o.=oder, SWS=Semesterwochenstunden, LP=Leistungspunkte=ECTS-Punkte

Übersicht Studienaufbau mit Semesterzuordnung bei Studienbeginn im Sommersemester													
		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: Mathematik									**22**				
Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	9	V	o	4		6			
2.	Übung					Ü	o	2		3			
Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik								6	9				
1.	Vorlesung	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	9	V	o	4				6	
2.	Übung					Ü	o	2				3	
Seminar Vertiefung Mathematik								2	4				
1.	Seminar	R		b	4	S	o	2					4
Abschnitt 2: Fachdidaktik Mathematik									**6**				
Fachdidaktik 3								4	6				
1.	Seminar	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	3	S	o	2			3		
2.	Seminar / Vorlesung	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	3	SV	o	2		3			
Abschnitt 3: Masterarbeit									**15**				
Masterarbeit									15				
1.	Masterarbeit	MA		b		MA	o						15

Erläuterung der Abkürzungen:

Bewertungssystem : b=benotet, nb=nicht benotet
Prüfungsform : BA=Masterarbeit, mP=mündliche Einzelprüfung, K=Klausur, R=Referat, H=Hausarbeit
Lehrform : V=Vorlesung, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, T=Repetitorium, P=Praktikum, PS=Proseminar, S=Seminar
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges : o.=oder, SWS=Semesterwochenstunden, LP=Leistungspunkte=ECTS-Punkte

3 Modulbeschreibungen

Abschnitt 1: Mathematik

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-20-02</td><td colspan="2">Modultitel:
Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig im Sommersemester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-2</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">
Funktionentheorie:
Holomorphe Funktionen, Cauchy-Riemannsche Differentialgleichungen.
Stammfunktionen, Cauchysche Integralformel, Cauchyscher Integralsatz.
Kompakte Konvergenz von Funktionenfamilien, formale und konvergente Potenzreihen, komplex-analytische Funktionen, Identitätssatz.
Satz von Liouville, Umkehrsatz, Satz von der offenen Abbildung, Maximumprinzip.
Laurentreihen, holomorphe Funktionen mit isolierten Singularitäten, Satz von Casorati-Weierstraß.
Residuensatz und Anwendungen.

Gewöhnliche Differentialgleichungen, eine Auswahl aus den folgenden Themen:
Existenz- und Eindeutigkeitssatz von Picard-Lindelöf.
Lineare gewöhnliche Differentialgleichungen, Lemma von Gronwall.
Stetige Abhängigkeit von den Anfangswerten, differenzierbare Abhängigkeit von den Anfangswerten.
Grundlagen dynamischer Systeme, Stabilität von Gleichgewichtslagen, charakteristische Exponenten, erste Integrale, Liapunov-Funktionen.
Gewöhnliche Differentialgleichungen im Komplexen.
Regularität, das Kriterium von Fuchs, Monodromie.
Die Methode von Frobenius.

</td></tr>
</table>

Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die Grundlagen der Funktionentheorie und der Theorie der Gewöhnlichen Differentialgleichungen. Sie beherrschen die wesentlichen Rechentechniken und können Wegintegrale sowie einfache Differentialgleichungen explizit lösen. Sie kennen wesentliche Anwendungen der Theorie wie z. B. den Fundamentalsatz der Algebra und die Newtonschen Grundgleichungen der Mechanik. Sie haben auch die Fähigkeit, abstrakte Fragestellungen in konkrete Probleme der Funktionentheorie bzw. der Gewöhnlichen Differentialgleichungen zu transferieren und dort zu lösen. In den Übungen haben sie sich einen sicheren, präzisen und selbständigen Umgang mit den Begriffen, Aussagen und Methoden aus den Vorlesungen erarbeitet. Zudem wurde dort die Präsentations- und Kommunikationsfähigkeit der Studierenden durch schriftliche Arbeiten und die Präsentation eigener Lösungen geschult. Die Studierenden sind in der Lage, sich durch Selbststudium Wissen anzueignen und gleichzeitig wurde ihre Teamfähigkeit durch Arbeit in kleineren Gruppen gefördert.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	(siehe Tabelle)

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Einf. Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgl.	V	o	4	6	ja	K o. mP	90-180 o. 20-30	b	100
	Ü	o	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 :

- Lars Valerian Ahlfors: Complex analysis. McGraw-Hill 1979.
- John B. Conway: Functions of one complex variable. Springer 1996.
- Wolfgang Fischer, Ingo Lieb: Einführung in die Komplexe Analysis. Springer 2010.
- Walter Rudin: Reelle und komplexe Analysis. Oldenbourg 2009.
- Earl A. Coddington, Norman Levinson: Theory of ordinary differential equations. McGraw-Hill 1955.
- William T. Reid: Ordinary differential equations. John Wiley & Sons 1971.
- Hille, Einar: Ordinary differential equations in the complex domain. Dover Publications 1997.
- Wasow, Wolfgang: Asymptotic expansions for ordinary differential equations. John Wiley 1965.

Verwendbarkeit	Das Modul ist ggf. Voraussetzung für die Module Seminar Vertiefung Mathematik und Masterarbeit.
Teilnahme-voraussetzungen	Es gibt keine weiteren Voraussetzungen.
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, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, S=Seminar, IC=Inverted Classroom
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-40-51</td><td colspan="2">Modultitel:
Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">9</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">jedes Semester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">3</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch oder Englisch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Bemerkung</td><td colspan="3">Es ist eine Lehrveranstaltung aus dem Katalog der Lehrveranstaltungen in Abschnitt 4.1 im Modulhandbuch im Umfang von 4 SWS Vorlesung und 2 SWS Übungen zu wählen. Über die Zulassung weiterer Lehrveranstaltungen oder anderer Lehrveranstaltungsformate (z.B. zwei Veranstaltungen mit je 2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übungen) entscheidet die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses auf schriftlichen Antrag der oder des Studierenden.</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Der Inhalt ergibt sich aus der Wahl der Lehrveranstaltung.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden haben vertieftes Wissen in einem Teilbereich der Mathematik erlangt und weitere Erfahrungen in der Präsentation und Vermittlung mathematischer Themen gesammelt. Sie sind in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Vorlesung zu benennen und die Techniken ihrer Herleitung und Beweisführung wiederzugeben und kritisch zu hinterfragen. Zudem können sie die methodischen und theoretischen Grundlagen des gewählten mathematischen Teilbereichs miteinander verknüpfen und in den mathematischen Kontext einordnen.
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.</td></tr>
<tr><td>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>Titel</th><th>Art der Lehrform</th><th>Status</th><th>SWS</th><th>ECTS</th><th>Studienleistung</th><th>Prüfungsform</th><th>Prüfungsdauer (min)</th><th>Benotungssystem</th><th>Anteil an der Modulnote</th></tr>
<tr><td rowspan="2">siehe Bemerkung</td><td>V</td><td>o</td><td>4</td><td>6</td><td rowspan="2">ja</td><td rowspan="2">K o. mP</td><td rowspan="2">90-180 o. 20-30</td><td rowspan="2">b</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>Ü</td><td>o</td><td>2</td><td>3</td></tr>
</table>
In dem Modul ist ein Übungsnachweis als Studienleistung zu erwerben. Für die Teilnahme an der Prüfung muss der Übungsnachweis erworben worden sein. Die Prüfungsform Klausur oder mündliche Prüfung wird von der Prüferin oder dem Prüfer mit Genehmigung des Prüfungsausschusses festgelegt.</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="3">Das Modul ist ggf. Voraussetzung für die Module Seminar Vertiefung Mathematik und Masterarbeit.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td>Modul-verantwortliche</td><td colspan="3">Die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Mathematik</td></tr>
</table>

Erläuterung der Abkürzungen:

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

Modulnummer: MAT-40-52	**Modultitel:** Seminar Vertiefung Mathematik		**Art des Moduls:** Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit
ECTS-Punkte	4		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Moduldauer	1 Semester		
Häufigkeit des Angebots	jedes Semester		
Fachsemester	4		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Seminar, Vortrag, Präsentation, E-Learning, Blended Learning		
Modulinhalt	Verschiedene Themen aus den weiterführenden Bereichen der Mathematik.		
Qualifikationsziele	Die Studierenden erarbeiten sich eigenständig ein zusammenhängendes Thema der Mathematik und bereiten dies in einer didaktisch ansprechenden Form vor. Sie lernen, ihre Arbeit vor einer Gruppe zu präsentieren, auf sachliche Fragen einzugehen und eine fachliche Diskussion zu führen. Die Arbeit und der Vortrag können die Grundlage für ein vertieftes Studium innerhalb einer Masterarbeit sein.		

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	4	ja	R	60-90	b	100

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

Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Die Teilnahme am Modul setzt den erfolgreichen Abschluss mindestens eines der Module Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen oder Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik voraus.
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, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, S=Seminar, IC=Inverted Classroom
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Abschnitt 2: Fachdidaktik Mathematik

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-80-03</td><td colspan="2">Modultitel:
Fachdidaktik Mathematik 3</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul mit Wahlmöglichkeit</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">6</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
180 h</td><td>Kontaktzeit:
60 h</td><td>Selbststudium:
120 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">2 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">jedes Semester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">1-2</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung, Übung, Proseminar, Vortrag, Präsentation, E-Learning, Blended Learning, Projektarbeit, Fallstudien</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Im ersten Teil werden wechselnde Themen behandelt, die insbesondere einen verstärkten Professionsbezug haben und der didaktischen Begleitung und Aufarbeitung des Praxissemesters dienen. Im zweiten Teil werden wechselnde Themen der Fachdidaktik Mathematik behandelt, die bis zur aktuellen Forschung in der Fachdidaktik führen können.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden
kennen fachdidaktische Prinzipien und Unterrichtskonzepte und können sie bewerten und hinterfragen,
können fachliche Zugänge zu zentralen Begriffen und Sätzen der behandelten Gebiete vergleichen und beurteilen,
können kompetenzorientierten Mathematikunterricht auf der Basis fachdidaktischer Konzepte planen, durchführen, analysieren und bewerten,
können den allgemeinbildenden Gehalt mathematischer Inhalte und Methoden und die gesellschaftliche Bedeutung der Mathematik begründen und in den Zusammenhang mit Zielen und Inhalten des Mathematikunterrichts stellen,
können gezielt fachspezifische Medien anwenden,
können ein Portfolio anlegen und bedeutsame Erfahrungen, Erkenntnisse und Einsichten strukturiert dokumentieren.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Das Modul besteht aus zwei Teilen (Professionswissen und Wahlbereich), bei denen sowohl die Lehr-Lernform (Vorlesung, Übung oder Seminar) als auch die Prüfungsform (Klausur, mündliche Prüfung, Referat oder Hausarbeit) in der Regel unterschiedlich ist. Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass sich die Prüfungsleistung in diesem Modul aus zwei Teilen zusammensetzt, die gleich gewichtet werden.
Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Für die Teilnahme am Modul gibt es keine Voraussetzungen.
Modul-verantwortliche	Frank Loose, Walther Paravicini

Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
Fachdidaktik 3: Professionswissen	S	o	2	3	ja	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	50
Fachdidaktik 3: Wahlbereich	SV	o	2	3	ja	K o. mP o. R o. H	90-180 o. 20-30	b	50

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, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, S=Seminar, IC=Inverted Classroom
Status : o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges : h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

Abschnitt 3: Masterarbeit

<table>
<tr><td>Modulnummer:
MAT-40-53</td><td colspan="2">Modultitel:
Masterarbeit (Mathematik)</td><td>Art des Moduls:
Pflichtmodul</td></tr>
<tr><td>ECTS-Punkte</td><td colspan="3">15</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
450 h</td><td>Kontaktzeit:
0 h</td><td>Selbststudium:
450 h</td></tr>
<tr><td>Moduldauer</td><td colspan="3">1 Semester</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">jedes Semester</td></tr>
<tr><td>Fachsemester</td><td colspan="3">4</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Masterarbeit</td></tr>
<tr><td>Modulinhalt</td><td colspan="3">Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Studierenden haben unter Anleitung durch eine Betreuerin oder einen Betreuer eine begrenzte Aufgabenstellung aus dem Fach Mathematik (einschließlich der Fachdidaktik), die bis an die aktuelle Forschung heranführen kann, 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 und ggf. mündliche Darstellung des Projekts und der Ergebnisse im Kontext des aktuellen Forschungsstandes.
Die Ergebnisse sollen zur wissenschaftlichen Erkenntnis beitragen.</td></tr>
<tr><td>Qualifikationsziele</td><td colspan="3">Die Studierenden
• sind in der Lage, sich innerhalb einer vorgegebenen Frist in eine Problemstellung, die bis an die aktuelle Forschung heranreichen kann, 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.</td></tr>
</table>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Benotung (ggf. Gewichtung)	Titel	Art der Lehrform	Status	SWS	ECTS	Studienleistung	Prüfungsform	Prüfungsdauer (min)	Benotungssystem	Anteil an der Modulnote
	Masterarbeit	MA	o	-	15	nein	MA	-	b	100

Verwendbarkeit	-
Teilnahme-voraussetzungen	Fachliche Zulassungsvoraussetzung für die Zulassung zum Modul Masterarbeit ist neben den im Allgemeinen Teil der Studien- und Prüfungsordnung genannten Voraussetzungen der erfolgreiche Abschluss mindestens eines der Module Einführung Funktionentheorie und Gewöhnliche Differentialgleichungen oder Vertiefung spezielle Gebiete der 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, SV=Seminar oder Vorlesung, Ü=Übungen, S=Seminar, IC=Inverted Classroom
Status	: o=obligatorisch, f=fakultativ
Sonstiges	: h=Stunden, o.=oder, s.M.=siehe Modulbeschreibung, SWS=Semesterwochenstunden

4 Lehrveranstaltungen für das Modul Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik

4.1 Katalog der Lehrveranstaltungen

Im Folgenden werden die Lehrveranstaltungen aufgelistet, die im Modul Vertiefung spezielle Gebiete der Mathematik eingebracht werden können. Weitere Lehrveranstaltungen können auf schriftlichen Antrag an die Vorsitzende oder den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses genehmigt werden.

<table>
<tr><td>Veranstaltungstitel:</td><td colspan="3">Algebraische Topologie 1</td></tr>
<tr><td>Studienschwerpunkt</td><td colspan="3">Geometrie</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">unregelmäßig</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="3">• Mengentheoretische Topologie.
• Grundlagen der Kategorientheorie.
• Die Fundamentalgruppe eines punktierten topologischen Raumes.
• Überlagerungstheorie.
• Grundlagen der singulären Homologietheorie.
• Anwendungen.</td></tr>
<tr><td>Spezielle Qualifikationsziele</td><td colspan="3">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.</td></tr>
<tr><td>Literatur</td><td colspan="3">Exemplarische Literatur :
• Allen Hatcher: Algebraic topology. Cambridge University Press 2009.
• Horst Schubert: Topologie. Teubner 1971.
• Edwin H. Spanier: Algebraic topology. McGraw-Hill 1966.
• Ralph Stöcker, Heiner Zieschang: Algebraische Topologie. Teubner 1994.</td></tr>
<tr><td>Veranstaltungs-verantwortliche</td><td colspan="3">Anton Deitmar, Frank Loose</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>Veranstaltungstitel:</td><td colspan="3">Algorithmen der Numerischen Mathematik</td></tr>
<tr><td>Studienschwerpunkt</td><td colspan="3">Numerik</td></tr>
<tr><td>Arbeitsaufwand
- Kontaktzeit
- Selbststudium</td><td>Arbeitsaufwand:
270 h</td><td>Kontaktzeit:
90 h</td><td>Selbststudium:
180 h</td></tr>
<tr><td>Häufigkeit des Angebots</td><td colspan="3">regelmäßig</td></tr>
<tr><td>Unterrichtssprache</td><td colspan="3">Deutsch</td></tr>
<tr><td>Lehr- / Lernformen</td><td colspan="3">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
</table>

Inhalt	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.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der algorithmischen Numerischen Mathematik kennengelernt.
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Peter Deuflhard, Andreas Hohmann: Numerische Mathematik 1. De Gruyter 2008. • Martin Hanke-Bourgeois: Grundlagen der Numerischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens. Vieweg 2009.
Veranstaltungs-verantwortliche	Christian Lubich, Andreas Prohl

Veranstaltungstitel:	Einführung in die K-Theorie		
Studienschwerpunkt	Geometrie		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Inhalt	• Vektorbündel. • Topologische K-Theorie. • Künneth-Formel und Bott-Periodizität. • Charakteristische Klassen. • Chern-Charakter. • Algebraische K-Theorie • Plus-Konstruktion.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ein wichtiges mathematisches Gebiet kennengelernt, das Analysis, Geometrie, Algebra und Zahlentheorie miteinander verbindet. Sie haben gelernt, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Gebieten zu erkennen und zu nutzen. Sie können Begriffe wie Vektor- oder Faserbündel oder kategorische K-Gruppen verstehen und anwenden. Sie haben gelernt, in großen Zusammenhängen zu denken.		

Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Michael Atiyah: K-theory. Addison-Wesley 1989. • Max Karoubi: K-theory. Springer 2008. • Emilio Lluis-Puebla, Jean-Louis Loday, Henri Gillet, Christophe Soule, Victor Snaith: Higher algebraic K-theory: an overview. Springer 1992.
Veranstaltungs-verantwortliche	Anton Deitmar

Veranstaltungstitel:	Einführung in die Mathematische Logik		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Inhalt	• Aussagenlogik. • Sprachen erster Stufe: – Vollständigkeit und Kompaktheit. • Berechenbarkeitstheorie: – Registermaschinen; – Gödelisierung. • Unvollständigkeit der Arithmetik: – Erster und zweiter Unvollständigkeitssatz. • Mengenlehre: – Ordinal- und Kardinalzahlen; – Unvollständigkeit der Mengenlehre.		
Spezielle 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.		
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Rautenberg, Wolfgang: Einführung in die Mathematische Logik. Vieweg+Teubner 2008. • Ziegler, Martin: Mathematische Logik. Birkhäuser 2016.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Anton Deitmar		

Veranstaltungstitel:	Einführung in die Mengenlehre		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Inhalt	**Inhalte:** •		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden können		
Literatur	**Exemplarische Literatur :** •		
Veranstaltungs-verantwortliche	Frank Loose		

Veranstaltungstitel:	Einführung in die Optimierung		
Studienschwerpunkt	Numerik		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 3 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• Optimalitätstheorie für glatte, konvexe und lineare Optimierungsprobleme mit Nebenbedingungen. • Grundlagen der Theorie konvexer Mengen und Funktionen. • Dualitätstheorie für konvexe und lineare Optimierungsprobleme. • Lösungsverfahren für lineare Optimierungsprobleme.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen Methoden und Algorithmen zur Lösung konvexer und linearer Optimierungsprobleme. Sie haben gelernt, die Methoden auf einfache Probleme mit wirtschaftswissenschaftlichem, technischem oder physikalischem Bezug anzuwenden. Sie können die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes der Methoden kritisch beurteilen.		

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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Christian Lubich

Veranstaltungstitel:	Einführung in Dynamische Systeme		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 90 h	Kontaktzeit: 30 h	Selbststudium: 60 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS		
Inhalt	• Die Keplerschen Gesetze. • Gleichgewichtslagen. • Stabilität. • Räuber-Beute-Modell. • Satz von Poincaré-Bendixson. • Limesmengen. • Periodische Bahnen. • Himmelsmechanik.		
Spezielle 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.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Frank Loose		

Veranstaltungstitel:	Einführung in Geometrische Maßtheorie
Studienschwerpunkt	Analysis

Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Maße, Überdeckungssätze, Differentiation von Maßen, Hausdorff-Maße und -Dichten. • Isodiametrische Ungleichung. • Sätze von Rademacher und Whitney. • Flächen- und Koflächenformel. • Abzählbar rektifizierbare Mengen, rektifizierbare Varifaltigkeiten.		
Spezielle 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 Methoden der Geometrischen Maßtheorie kennengelernt und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Reiner Schätzle		

Veranstaltungstitel:	Einführung in Geometrische Maßtheorie – Maßtheoretische Methoden		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• Maße, Überdeckungssätze, Differentiation von Maßen, Hausdorff-Maße und -Dichten. • Isodiametrische Ungleichung. • Sätze von Rademacher und Whitney.		

Spezielle 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.
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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Reiner Schätzle

Veranstaltungstitel:	Einführung in Geometrische Maßtheorie – Varifaltigkeiten		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• Flächen- und Koflächenformel. • Abzählbar rektifizierbare Mengen, rektifizierbare Varifaltigkeiten.		
Spezielle 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 grundlegende Begriffe, Ergebnisse und Methoden der Geometrischen Maßtheorie kennengelernt und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Reiner Schätzle		

Veranstaltungstitel:	Einführung in Kommutative Algebra und Algebraische Geometrie
Studienschwerpunkt	Algebra

Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester (im Wechsel mit dem Modul MAT-45-02)		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• 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.		
Spezielle 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.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Jürgen Hausen		

Veranstaltungstitel:	Einführung in Partielle Differentialgleichungen		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Unterrichtssprache	Englisch		

Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS
Inhalt	• Harmonische Funktionen. • Maximumprinzipien. • Sobolev-Räume. • L^2-Theorie. • Wichtige Beispiele (Laplace-Gleichung, Wellengleichung, Wärmeleitungsgleichungen). • Fundamentallösungen (elliptische Situation). • Schwache Lösungen elliptischer Gleichungen.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ein zentrales Gebiet der Analysis kennengelernt, dessen Begriffe und Methoden grundlegend für viele andere Gebiete sind, etwa für die Numerik und die Stochastik. Des Weiteren werden auch Evolutionsgleichungen thematisiert, die starke Verbindungen zur Geometrie haben. Die Studierenden sind mit den zentralen Begriffen, Ergebnissen und Methoden der Linearen Partiellen Differentialgleichungen vertraut und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden.
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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Gerhard Huisken, Reiner Schätzle

Veranstaltungstitel:	Einführung in Partielle Differentialgleichungen – Teil 1		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• Harmonische Funktionen. • Maximumprinzipien. • Sobolev-Räume.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben ein zentrales Gebiet der Analysis in seinen ersten Grundzügen kennengelernt, dessen Begriffe und Methoden grundlegend für viele andere Gebiete sind, etwa für die Numerik und die Stochastik. Die Studierenden sind mit zentralen Begriffen, Ergebnissen und Methoden der Linearen Partiellen Differentialgleichungen vertraut und können diese Methoden in den weitergehenden Veranstaltungen erfolgreich anwenden.		

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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Gerhard Huisken, Reiner Schätzle

Veranstaltungstitel:	Elementare Zahlentheorie		
Studienschwerpunkt	Algebra		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Teilbarkeit in den ganzen Zahlen. • Primzahlen. • Kongruenzen. • Quadratische Reste. • Arithmetische Funktionen. • Multiplikative Funktionen. • Klassische Sätze. • Anwendungen.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden vertiefen Grundkenntnisse über die ganzen Zahlen und erleben das Anwenden auf mathematische Probleme unterschiedlicher Art.		
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Friedhelm Padberg: Elementare Zahlentheorie. Spektrum Akademischer Verlag 2001. • Stefan Mueller-Stach, J. Piontkowski: Elementare und algebraische Zahlentheorie. Vieweg 2006.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Victor Batyrev, Thomas Markwig		

Veranstaltungstitel:	Funktionalanalysis
Studienschwerpunkt	Analysis

Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Normierte Räume, Banachräume, Dualräume. • Satz von Hahn-Banach, Prinzip der gleichmäßigen Beschränktheit. • Satz vom abgeschlossenen Graphen, Satz der offenen Abbildung, Satz von Banach-Alaoglu. • Kompakte Operatoren, normale Operatoren, Spektralsätze.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken der Theorie unendlich-dimensionaler Räume und können sie auf Probleme aus der Analysis und Geometrie anwenden. Sie verstehen die Problematik der Spektraltheorie und können ihre Aussagen zur Lösung analytischer Probleme nutzen.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Carla Cederbaum, Anton Deitmar, Gerhard Huisken, Reiner Schätzle		

Veranstaltungstitel:	Geometrie von Mannigfaltigkeiten 1		
Studienschwerpunkt	Geometrie		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Inhalt	• Mannigfaltigkeiten und Untermannigfaltigkeiten. • Vektorfelder und Flüsse. • Metriken, Grundlagen der Riemannschen Geometrie. • Vektorbündel und Zusammenhänge. • Komplexe Strukuren. • Satz von Gauß-Bonnet auf Flächen.
Spezielle 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.
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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Christoph Bohle, Frank Loose

Veranstaltungstitel:	Geometry in Physics		
Studienschwerpunkt	Mathematische Physik		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Unterrichtssprache	Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	Das Modul beinhaltet eine Einführung in grundlegende Methoden der Differentialgeometrie und ihre Bedeutung in der Physik. Themen sind insbesondere Mannigfaltigkeiten, Differentialformen, Riemannsche Metriken und zugehörige Krümmungsbegriffe, Riemannsche Geometrie von Untermannigfaltigkeiten, reelle Vektorbündel und Zusammenhänge. Es werden beispielhaft Anwendungen in der Physik genannt.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die genannten Begriffe der Differentialgeometrie und die grundlegenden Techniken im Umgang mit ihnen. Sie sind zu einem vertieften Verständnis insbesondere der Differential- und Integralrechnung gelangt und haben beispielhaft erfahren, wie die mathematischen Konzepte in natürlicher Weise in physikalischen Theorien Anwendung finden.		

Literatur	**Exemplarische Literatur :** • John Lee: Introduction to smooth manifolds. Springer 2012. • John Lee: Riemannian manifolds: An introduction. Springer 1997. • Chris Isham: Modern differential geometry for physicists. World Scientific 1999. • Mikio Nakahara: Geometry, Topology and Physics. IOP Publishing 2003.
Veranstaltungs-verantwortliche	Christoph Bohle, Carla Cederbaum, Stefan Teufel

Veranstaltungstitel:	Grundlagen der diskreten Mathematik		
Studienschwerpunkt	Stochastik		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Logik. • Mengen, Relationen, Funktionen. • Halbordnungen. • Kombinatorik. • Zahlentheorie. • Graphentheorie. • Algorithmen und formale Sprachen. • Diskrete Optimierung.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die Verwendung von grundlegenden Methoden der diskreten Mathematik erlernt. Sie können diskrete Strukturen analysieren und diskrete Strukturen in verschiedenen Kontexten identifizieren.		
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Ronald Graham, Donald Knuth, Oren Patashnik: Concrete Mathematics. Addison-Wesley 1994. • Kenneth H. Rosen: Discrete Mathematics and Its Application. McGraw-Hill 2019. • Ralph P. Grimaldi: Discrete and Combinatorial Mathematics. Addison-Wesley 2004. • Norman L. Biggs: Discrete Mathematics. Oxford University Press 2002.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Martin Möhle, Martin Zerner, Elmar Teufl		

Veranstaltungstitel:	Hyperbolische Geometrie: axiomatisch, spiegelungsgeometrisch, algebraisch		
Studienschwerpunkt	Geometrie		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	Ausgehend von einem Axiomensystem für die ebene absolute Geometrie mit den Grundbegriffen Inzidenz und Kongruenz wird die zugehörige Bachmannsche Spiegelungsgeometrie entwickelt. Nach Einführung des hyperbolischen Axioms wird diese mit spiegelungsgeometrischer Endentheorie weitergeführt. Aus den Drehungen um ein Ende und den Translationen entlang einer Geraden entsteht ein euklidischer Körper, mit dessen Hilfe die betrachtete hyperbolische Ebene algebraisch beschrieben wird.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben gelernt, ein und dasselbe mathematische Objekt (hier absolute und hyperbolische Ebenen) unter völlig verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und diese miteinander zu verknüpfen. Dabei haben sie insbesondere die gruppentheoretisch orientierte Bachmannsche Spiegelungsgeometrie kennen gelernt, die im Curriculum eher selten erscheint, und vertiefen so den Umgang mit Gruppen. Sie zudem ihre Kenntnis der Verschränkung von Geometrie und Algebra vertieft.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Hermann Hähl, Hannah Markwig		

Veranstaltungstitel:	Integrations- und Maßtheorie		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Inhalt	• Maße und Integrale. • Lebesgue-Integral, Satz von Fubini, Transformationsformel. • Konvergenzsätze. • L^p-Räume, Satz von Radon-Nikodym und Darstellungssatz von Riesz. • Untermannigfaltigkeiten im $\mathbb{R}^n$, Differentialformen, Satz von Stokes.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Begriffe, Konstruktionen, Ergebnisse und Beweismethoden der Integrationstheorie in mehreren reellen Veränderlichen und in allgemeinen Maßräumen. Sie sind zudem in der Lage, Flächeninhalte und Volumina auch von komplexeren Körpern sowie mehrdimensionale Integrale zu berechnen. Sie haben gelernt abstrakte Fragestellungen des Fachgebietes in konkrete Problemstellungen zu transferieren und kennen wesentliche Anwendungen, z. B. in der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Physik.
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Heinz Bauer: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie. De Gruyter 1978. • Anton Deitmar: Analysis. Springer Spektrum 2017. • Jürgen Elstrodt: Maß- und Integrationstheorie. Springer 2011. • Lawrence C. Evans, Ronald F. Gariepy: Measure theory and fine properties of functions. CRC Press 1992. • Otto Forster: Analysis 3. Friedr. Vieweg+Teubner 2011. • Edwin Hewitt, Karl Robert Stromberg: Real and Abstract Analysis. Springer 1975. • Georg Nöbeling: Integralsätze der Analysis. De Gruyter 1979. • Walter Rudin: Reelle und komplexe Analysis. Oldenbourg 2009.
Veranstaltungs-verantwortliche	Anton Deitmar, Reiner Schätzle

Veranstaltungstitel:	Kommutative Algebra		
Studienschwerpunkt	Algebra		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester (im Wechsel mit dem Modul MAT-45-01)		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Inhalt	• Ringe und Ideale. • Lokalisierung und lokale Ringe. • Noethersche und Artinsche Ringe und Moduln. • Ganze Ringerweiterungen und die Cohen-Seidenberg Sätze. • Krullscher Hauptidealsatz und Dimensionstheorie. • Primärzerlegung. • Normalität, Regularität und Diskrete Bewertungsringe. • Hilbertscher Nullstellensatz und Noether-Normalisierung.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen und verstehen die Sprache und die Methoden der kommutativen Algebra, welche zum Studium der Bereiche Algebra, Geometrie sowie Zahlentheorie notwendig sind. Sie erkennen, wie das Einnehmen eines höheren Standpunktes, sprich die Abstraktion der Problemstellung, es erlaubt, auf den ersten Blick vollkommen verschiedene Fragestellungen gleichzeitig zu behandeln und zu lösen.
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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Victor Batyrev, Thomas Markwig

Veranstaltungstitel:	Konvexe Geometrie		
Studienschwerpunkt	Geometrie		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Kegel, Polytope, Polyeder, Fächer, Polyederkomplexe. • Normalenfächer von Polygonen. • Triangulierungen, Unterteilungen, Sekundärfächer, Diskriminanten.		

Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen in der Vorlesung grundlegende Begriffe, Ergebnisse und Methoden der konvexen Geometrie kennen. Sie entwickeln ein vertieftes Verständnis für den Begriff der Dualität mathematischer Objekte am Beispiel von Polytopen und Fächern. Ferner schulen sie ihr geometrisches Anschauungs- und ihr räumliches Vorstellungsvermögen.
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Günter M. Ziegler: Lectures on Polytopes. Springer 1998.
Veranstaltungs-verantwortliche	Hannah Markwig

Veranstaltungstitel:	Kryptographie		
Studienschwerpunkt	Algebra		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• 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.		
Spezielle 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 Angriffszenarien 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.		

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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Thomas Markwig

Veranstaltungstitel:	Lie-Gruppen		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• 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.		
Spezielle 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.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Anton Deitmar, Frank Loose		

Veranstaltungstitel:	Lineare Kontrolltheorie		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	Mathematische Methoden sind für die Steuerung und Kontrolle von komplexen Systemen und Prozessen unentbehrlich. Die zugrunde liegende Theorie fasziniert aber nicht nur durch ihre vielfältigen Anwendungen, sondern auch, in ihrer abstrakten Form, durch Klarheit und Eleganz ihrer Methoden und Resultate. In dieser Vorlesung werden zunächst endlichdimensionale Systeme behandelt, wofür gute Kenntnisse der Analysis und Linearen Algebra ausreichen. Ziele sind das Kontrollierbarkeitskriterium von Kalman und die daraus folgenden Kriterien für Stabilisierbarkeit. Wenn die Zeit reicht, werden wir die Theorie auf unendlichdimensionale Systeme erweitern. In den Übungen wird die Theorie auf konkrete Beispiele angewandt.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben grundlegende Methoden der linearen Kontrolltheorie erlernt. Gleichzeitig haben sie das Zusammenwirken verschiedener theoretischer Konzepte aus der Linearen Algebra und der Analysis und deren Nutzen für konkrete Anwendungen erlebt und verstanden.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Rainer Nagel		

Veranstaltungstitel:	Nichtlineare Optimierung		
Studienschwerpunkt	Numerik		
Arbeitsaufwand **- Kontaktzeit** **- Selbststudium**	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS		

Inhalt	• Endlich-dimensionale Optimierung, Gradientenverfahren mit Armijos Regel, globalisiertes Newton-Verfahren. • Restringierte Optimierung, Lemma von Farkas, Tangentialkegel. • Abadie CQ, KKT Bedingungen, Slater Bedingungen. • Lineares Programm, Dualität, Simplexverfahren. • Penalty- und Barrieremethoden, Innere Punkte Verfahren. • Nichtlineare Programme, SQP Verfahren, nichtglatte Optimierung.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden beherrschen die Grundprinzipien und Techniken zur Analysis und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben.
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Carl Geiger, Christian Kanzow: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben. Springer 2002.
Veranstaltungs-verantwortliche	Andreas Prohl

Veranstaltungstitel:	Topologie		
Studienschwerpunkt	Geometrie		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 180 h	Kontaktzeit: 60 h	Selbststudium: 120 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• Rückblick auf metrische Räume: Abgeschlossene Mengen, Umgebung, Stetigkeit, vollständige metrische Räume, Kompaktheit in metrischen Räumen. • Mengentheoretische Topologie: Topologische Räume, Stetigkeit und Konvergenz, Kompaktheit, Trennungsaxiome. • Räume stetiger Funktionen: Das Lemma von Urysohn und Anwendungen, Stone-Cech-Kompaktifizierung, der Satz von Stone-Weierstraß, Konvergenzbegriffe in Funktionenräumen, Kompaktheit in Funktionenräumen. • Bairesche Räume und die Anwendung der Baireschen Theorie: Bairesche Funktionenklassen, Existenzsätze. • Ausblick auf die algebraische Topologie.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die zentralen Begriffe, Ergebnisse und Methoden der mengentheoretischen Topologie kennengelernt und verstanden, dass man mit Hilfe dieser Theorie viele Phänomene in verschiedenen Teilgebieten der Mathematik beschreiben kann. Sie vernetzen so ihr Wissen zu sehr unterschiedlichen Teilgebieten der Mathematik.		

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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Rainer Nagel

Veranstaltungstitel:	Variationsrechnung		
Studienschwerpunkt	Analysis		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 150 h	Kontaktzeit: 45 h	Selbststudium: 105 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS		
Inhalt	• Direkte Methode der Variationsrechnung. • Euler-Lagrange Gleichungen. • Palais-Smale Bedingung. • Mountain-Pass Lemma nach Ambrosetti-Rabinowitz.		
Spezielle 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.		
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.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Reiner Schätzle		

Veranstaltungstitel:	Wahrscheinlichkeitstheorie
Studienschwerpunkt	Stochastik

Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	regelmäßig im Wintersemester		
Unterrichtssprache	Deutsch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		
Inhalt	• 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.		
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden können maßtheoretisch fundiert grundlegende stochastische Abhängigkeitsstrukturen von Zufallsgrößen wahrscheinlichkeitstheoretisch modellieren, analysieren und interpretieren.		
Literatur	**Exemplarische Literatur :** • Heinz Bauer: Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie. De Gruyter 2010. • Richard Durrett: Probability, Theory and Examples. Cambridge University Press 2010. • Hans-Otto Georgii: Stochastik. De Gruyter 2009. • Jean Jacod, Philip E. Protter: Probability essentials. Springer 2004. • Olav Kallenberg. Foundations of Modern Probability. Springer 2002. • Achim Klenke: Wahrscheinlichkeitstheorie. Springer 2013. • David Meintrup, Stefan Schäffler: Stochastik. Springer 2005. • Albert N. Shiryaev: Probability-1. Springer 2016.		
Veranstaltungs-verantwortliche	Martin Möhle, Martin Zerner		

Veranstaltungstitel:	Zahlentheorie und Kryptographie		
Studienschwerpunkt	Algebra		
Arbeitsaufwand - Kontaktzeit - Selbststudium	Arbeitsaufwand: 270 h	Kontaktzeit: 90 h	Selbststudium: 180 h
Häufigkeit des Angebots	unregelmäßig		
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS		

Inhalt	• 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.
Spezielle Qualifikationsziele	Die Studierenden haben die grundlegenden Begriffe der elementaren Zahlentheorie und ihre Anwendungen auf die Kryptographie kennengelernt. Sie haben ihre Kenntnisse über Nachbardisziplinen vertieft und erweitert: Sie begegnen Methoden der Theorie dynamischer Systeme und lernen elliptische Kurven über endlichen Körpern kennen. Sie verstehen, wie grundlegende kryptographische Protokolle funktionieren. Durch die Beschäftigung mit zahlreichen offenen Problemen der Kryptographie, deren Lösungsansätze überraschenderweise aus unterschiedlichsten Bereichen der Mathematik stammen können, üben die Studierenden kritisch zu denken.
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.
Veranstaltungs-verantwortliche	Elena Klimenko, Thomas Markwig