

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Fachspezifische Studienordnung für den Masterstudiengang Mathematik

Masterstudiengang

**Überfachlicher Wahlpflichtbereich für andere Master-
studiengänge**

Diese Studienordnung ist durch alle zuständigen Gremien bestätigt worden und tritt zum WS 2014/15 in Kraft. Bis zur Veröffentlichung der Ordnung im Amtlichen Mitteilungsblatt der Humboldt-Universität zu Berlin stellen wir diese Fassung zur Verfügung.

Fachspezifische Studienordnung

für den Masterstudiengang „Mathematik“

Gemäß § 17 Abs. 1 Ziffer 3 der Verfassung der Humboldt-Universität zu Berlin in der Fassung vom 24. Oktober 2013 (Amtliches Mitteilungsblatt der Humboldt-Universität zu Berlin Nr. 47/2013) hat der Fakultätsrat der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II am 16. Dezember 2013 die folgende Studienordnung erlassen¹:

- § 1 Anwendungsbereich
- § 2 Beginn des Studiums
- § 3 Ziele des Studiums
- § 4 Lehrveranstaltungsarten
- § 5 Module des Studiums
- § 6 Module für den überfachlichen Wahlpflichtbereich anderer Masterstudiengänge
- § 7 In-Kraft-Treten

Anlage 1: Modulbeschreibungen

Anlage 2: Idealtypischer Studienverlaufsplan ohne Auslandssemester

Anlage 3: Idealtypischer Studienverlaufsplan mit Auslandssemester

§ 1 Anwendungsbereich

Diese Studienordnung enthält die fachspezifischen Regelungen für den Masterstudiengang Mathematik. Sie gilt in Verbindung mit der fachspezifischen Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Mathematik und der Fächerübergreifenden Satzung zur Regelung von Zulassung, Studium und Prüfung (ZSP-HU) in der jeweils geltenden Fassung.

§ 2 Beginn des Studiums

Das Studium kann zum Winter- und Sommersemester aufgenommen werden.

§ 3 Ziele des Studiums

(1) Das Studium zielt auf die Vermittlung eines vertieften Einblickes in Forschungsthemen der Mathematik und damit auch des konzeptionellen Rüstzeuges für eine anschließende Promotion. Gleichzeitig erlangen die Studentinnen und Studenten die notwendigen fachlichen und persönlichen Qualifikationen für Positionen mit Leitungsverantwortung. Absolventinnen und Absolventen sollten über die oben genannten Anforderungen hinaus die folgenden Kompetenzen erworben haben:

- Kenntnis der mathematischen Hauptdisziplinen, ihrer methodischen Ansätze und wechselseitige Beziehungen,
- Studium aktueller Forschungsliteratur,
- Befähigung zur Darstellung und wissenschaftlichen Bearbeitung mathematischer Probleme im Rahmen der Masterarbeit.

Die Mathematik ist seit der Antike international und beschäftigt sich mit Objekten, Gesetzmäßigkeiten und Problemen, die ursprünglich aus konkreten Sachverhalten der Anschauung, der Naturwissenschaften, der Technik und der Wirtschaft sowie vielen anderen Bereichen stammen, und die sie durch Abstraktion über längere Zeiträume zu selbstständigen Theorien und Strukturen entwickelt. Die im Rahmen solcher mathematischer Theorien erzielten Ergebnisse können wiederum in vielen Gebieten der Wissenschaft und Praxis angewendet werden.

(2) Der erfolgreiche Abschluss des Studiums qualifiziert für eine eigenverantwortliche mathematische Tätigkeit in Industrie und Wirtschaft und vermittelt die Eignung als wissenschaftliche Mitarbeiterin oder wissenschaftlicher Mitarbeiter an wissenschaftlichen oder öffentlichen Institutionen. Der Abschluss des Studiums bildet auch die Grundlage für ein anschließendes Promotionsstudium im In- oder Ausland.

§ 4 Lehrveranstaltungsarten

(1) Lehrveranstaltungsarten sind über die in der ZSP-HU benannten Lehrveranstaltungsarten hinaus auch Mathematik-Übungen.

(2) Mathematik-Übung (MU):

Mathematik-Übungen unterstützen die aktive, selbstständige Aneignung sowie die Anwendung des Stoffes einer Vorlesung. Es werden Aufgaben gestellt und unter Anleitung gelöst. Außerdem werden Übungsaufgaben als Hausaufgaben gestellt und müssen selbstständig gelöst werden, was ein besonders wichtiger Bestandteil des Studiums ist, da ohne diese aktive Auseinandersetzung Mathematik nicht erlernbar ist.

§ 5 Module des Studiums

Der Masterstudiengang Mathematik beinhaltet folgende Module im Umfang von insgesamt 120 LP:

(a) Pflichtbereich (30 LP)

Masterarbeit

¹Die Universitätsleitung hat die Studienordnung am _____ bestätigt.

(b) Fachlicher Wahlpflichtbereich (70 LP)

Im Wahlpflichtbereich werden regelmäßig die unten aufgeführten Module angeboten.

Module aus dem fachlichen Wahlpflichtbereich des Bachelorstudienganges Mathematik (Monostudiengang) der Humboldt-Universität zu Berlin können in einem maximalen Umfang von 40 LP im Masterstudium absolviert werden, soweit sie im Rahmen des Bachelorstudiums nicht gewählt wurden.

- Modul M1:** Mathematische Prinzipien der Kontinuumsmechanik, 10 LP
- Modul M2:** Nichtlineare partielle Differentialgleichungen, 10 LP
- Modul M3:** Nichtlineare Funktionalanalysis und schwache Konvergenz, 10 LP
- Modul M4:** Mehrdimensionale Variationsrechnung, 10 LP
- Modul M5:** Algebraische Gruppen / Liealgebren, 10 LP
- Modul M6:** Arithmetische Geometrie, 10 LP
- Modul M7:** Automorphe Formen / Modulformen, 10 LP
- Modul M8:** Zahlentheorie II, 10 LP
- Modul M9:** Themen in der modernen algebraischen Geometrie, 10 LP
- Modul M10:** Differentialgeometrie II, 10 LP
- Modul M11:** Differentialgeometrie III, 10 LP
- Modul M12:** Differentialgeometrie IV, 10 LP
- Modul M13:** Ausgewählte Themen der Differentialgeometrie, 5 LP
- Modul M14:** Topologie II, 10 LP
- Modul M15:** Algebraische Geometrie I, 10 LP
- Modul M16:** Algebraische Geometrie II, 10 LP
- Modul M17:** Numerik partieller Differentialgleichungen II, 10 LP
- Modul M18:** Numerik Differential-Algebraischer Gleichungen, 10 LP
- Modul M19:** Optimierung bei partiellen Differentialgleichungen, 10 LP
- Modul M20:** Stochastische Optimierung, 5 LP
- Modul M21:** Theorie und Verfahren der nichtglatten Optimierung, 10 LP
- Modul M22:** Ausgewählte Themen der Numerischen Mathematik, 5 LP
- Modul M23:** Ausgewählte Themen der Optimierung, 5 LP
- Modul M24:** Stochastische Analysis, 10 LP
- Modul M25:** Stochastische Finanzmathematik II, 10 LP
- Modul M26:** Ausgewählte Themen der Finanz- und Versicherungsmathematik, 5 LP
- Modul M27:** Ausgewählte Themen der Stochastik, 5 LP
- Modul M28:** Mathematische Statistik, 10 LP
- Modul M29:** Nichtparametrische Statistik, 10 LP
- Modul M30:** Statistik stochastischer Prozesse, 5 LP
- Modul M31:** Gruppentheorie in der Physik, 7 LP
- Modul M32:** Einführung in die Quantenfeldtheorie, 10 LP
- Modul M33:** Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie, 7 LP
- Modul M34:** Hopf-Algebren: Renormierung und die Renormierungsgruppe, 7 LP
- Modul M35:** Bewegungsgleichungen und Quantisierung nicht-abelscher Eichtheorien, 7 LP

(c) Überfachlicher Wahlpflichtbereich (20 LP)

Im überfachlichen Wahlpflichtbereich sind Module aus den hierfür vorgesehenen Modulkatalogen anderer Fächer oder zentraler Einrichtungen im Umfang von insgesamt 20 LP nach freier Wahl zu absolvieren.

§ 6 Module für den überfachlichen Wahlpflichtbereich anderer Masterstudiengänge

Für den überfachlichen Wahlpflichtbereich anderer Masterstudiengänge werden alle Module des Masterstudienganges Mathematik angeboten, einschließlich der gemäß § 5(b) auch im Masterstudiengang Mathematik absolvierbaren Module des fachlichen Wahlpflichtbereiches des Bachelorstudienganges Mathematik (Monostudiengang).

§ 7 In-Kraft-Treten

(1) Diese Studienordnung tritt am Tage nach ihrer Veröffentlichung im Amtlichen Mitteilungsblatt der Humboldt-Universität zu Berlin in Kraft.

(2) Diese Studienordnung gilt für alle Studentinnen und Studenten, die ihr Studium nach dem In-Kraft-Treten dieser Studienordnung aufnehmen oder nach einem Hochschul-, Studiengangs- oder Studienfachwechsel fortsetzen.

(3) Für Studentinnen und Studenten, die ihr Studium vor dem In-Kraft-Treten dieser Studienordnung aufgenommen oder nach einem Hochschul-, Studiengangs- oder Studienfachwechsel fortgesetzt haben, gilt die Studienordnung vom 4. August 2009 (Amtliches Mitteilungsblatt der Humboldt-Universität zu Berlin Nr. 32) übergangsweise fort. Alternativ können sie diese Studienordnung einschließlich der zugehörigen Prüfungsordnung wählen. Die Wahl muss schriftlich gegenüber dem Prüfungsbüro erklärt werden und ist unwiderruflich. Mit Ablauf des Sommersemesters 2021 tritt die Studienordnung vom 4. August 2009 außer Kraft. Das Studium wird dann auch von den in Satz 1 benannten Studentinnen und Studenten nach dieser Studienordnung fortgeführt. Bisherige Leistungen werden entsprechend § 110 ZSP-HU berücksichtigt.

Anlage 1: Modulbeschreibungen

Modul M1: Mathematische Prinzipien der Kontinuumsmechanik		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erlernen die verschiedenen Modellierungsstufen in der Kontinuumsmechanik. Sie erwerben ein systematisches Verständnis für das Zusammenwirken physikalischer Prinzipien und mathematischer Strukturen. Sie können verschiedene Modelle der Kontinuumsmechanik herleiten und einordnen.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Funktionalanalysis“ und „Partielle Differentialgleichungen“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<p><u>4 SWS</u></p> <p><u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung</p>	6 LP, Teilnahme	<ul style="list-style-type: none"> - Grundprinzipien der mathematischen Modellierung: Bilanz- und Ratengleichungen, Prinzipien der Thermodynamik, Energieerhaltung und Entropiesatz; Materialeigenschaften und konstitutive Gesetze, treibende Kräfte und chemisches Potential - Symmetrien und Erhaltungssätze, Eichsymmetrie, Satz von Noether, Variationsprinzipien, geometrische Evolution, Dissipationsmetrik - Herleitung, Einordnung und grundlegende Diskussion folgender Modelle: Maxwell'sche Gleichungen, Schrödinger-Gleichung, kinetische Theorie, Boltzmann-Gleichung, Euler- und Navier-Stokes-Gleichung, lineare und nichtlineare Thermoelastizität, Phasenfeldmodelle, Hysterese, Plastizität freie Randwertprobleme (Stefan-Problem, Minimalflächen, elektrochemische Oberflächenenerzeugung).
MU	<p><u>2 SWS</u></p> <p><u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung</p>	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<p><u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung²; Vorbereitung darauf</p>	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<p>Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.</p>		

²Hier und in den übrigen Modulbeschreibungen gilt: Die Art der Prüfung, sowie bei Klausuren deren Dauer, wird durch die Dozentin oder den Dozenten zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.

Modul M2: Nichtlineare Partielle Differentialgleichungen		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben Verständnis und Anwendungskompetenz im Bereich der nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen. Sie beherrschen die wesentlichen Konstruktionsprinzipien für Lösungen für verschiedene Klassen von Problemen.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Funktionalanalysis“ und „Partielle Differentialgleichungen“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	- Elliptische Gleichungen: Monotone Operatoren, p-Laplace-Gleichung, stationäre Diffusionsprozesse, Variationsungleichungen - Hyperbolische Systeme: Quasilineare symmetrische hyperbolische Systeme, Riemann-Invarianten, Entropiebedingung, div-curl-Lemma, maßwertige Lösungen - Parabolische Probleme: Semi- und quasilineare Systeme, lokale und globale Lösungen, schwache Lösungen, Regularität. - Anwendungen auf Reaktionsdiffusionssysteme, Cahn-Hilliard-Gleichung, Probleme der Strömungsmechanik wie Gasdynamik und Navier-Stokes-Gleichung.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M3: Nichtlineare Funktionalanalysis und schwache Konvergenz			Leistungspunkte: 10
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben Verständnis und Anwendungskompetenz im Bereich der nichtlinearen Funktionalanalysis. Sie können deren Konzepte auf konkrete Integral- und Differentialgleichungen anwenden und die Theorie der schwachen Konvergenz für nichtlineare Probleme benutzen.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Funktionalanalysis“ und „Partielle Differentialgleichungen“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Fixpunktesätze von Brouwer, Schauder und Tychonov; monotone und pseudomonotone Operatoren, Mooreau-Yosida-Regularisierung, Satz von Browder-Minty; mengenwertige Operatoren, Subdifferentiale, Variationsungleichungen; Konvergenz von Operatorfamilien, G-Konvergenz; Prinzipien der schwachen Konvergenz, div-curl-Lemma; Homogenisierung, Zweiskalenkonvergenz; Anwendungen auf konkrete Differential- und Integralgleichungen.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M4: Mehrdimensionale Variationsrechnung		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten können mit der ersten und zweiten Variation von Integralfunktionalen umgehen und verstehen deren Verbindung zu partiellen Differentialgleichungen. Sie können die Resultate dieser Theorie auf verschiedene mathematische und physikalische Problemstellungen anwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Funktionalanalysis“ und „Partielle Differentialgleichungen“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Erste und zweite Variation mehrdimensionaler Integralfunktionale; abstrakte Minimierungstheorie, direkte Methode der Variationsrechnung, schwache Unterhalbstetigkeit; diverse Konvexitäten: Rang-1-, Poly- und Quasikonvexität; Existenzsätze für globale Minimierer in Sobolevräumen; Extrema unter Nebenbedingungen, Eigenwertprobleme; Anwendungen wie z.B. Minimalflächen, Quantenmechanik, lineare und nichtlineare Elastizitätstheorie.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M5: Algebraische Gruppen / Liealgebren		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten verstehen das Konzept der Algebraischen Gruppen und Liealgebren sowie deren Wechselbeziehung. Sie kennen zentrale Struktur- und Klassifikationsresultate hierzu und können diese beim Studium verschiedener spezieller Klassen solcher Objekte anwenden.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Lineare Algebra und analytische Geometrie I“ und algebraische Inhalte des Moduls „Algebra und Funktionentheorie“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Benennung und Studium wichtiger Klassen algebraischer Gruppen (unipotente, auflösbare, diagonalisierbare, einfache, halbeinfache, reductive etc.) und Untergruppenbeziehungen (Borel, parabolisch, unipotentes Radikal etc.); Liealgebren: Derivationen, universelle Einhüllende, Satz von Poincaré-Birkhoff-Witt, wichtige Klassen von Liealgebren (nilpotente, auflösbare, halbeinfache etc.); weitere vertiefte Themen wie z.B. Klassifikationssätze für Liealgebren und algebraische Gruppen, Darstellungstheorie algebraischer Gruppen und Liealgebren, kombinatorische Aspekte der Strukturtheorie von Liealgebren.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M6: Arithmetische Geometrie		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten beherrschen Theorie und Denkweise der Arithmetischen Geometrie, welche zahlentheoretische Methoden fruchtbar mit geometrischen verknüpft. Sie können diese zur Untersuchung der Lösungen polynomialer Gleichungen über endlichen Körpern, Zahlkörpern und p-adischen Körpern anwenden. Sie sind in der Lage, Fachliteratur zu aktuellen Forschungsthemen der Arithmetischen Geometrie selbstständig zu studieren.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Algebra II“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<p><u>4 SWS</u></p> <p><u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung</p>	6 LP, Teilnahme	<p>Mögliche Programme sind:</p> <p>(1) Arithmetik elliptischer Kurven bzw. abelscher Varietäten, beispielsweise die Sätze von Hasse-Weil und Mordell-Weil</p> <p>(2) Arithmetik glatter projektiver Kurven vom Geschlecht größer eins, beispielsweise der Satz von Weil oder der Beweis der Mordellvermutung über die Endlichkeit rationaler Punkte nach Bombieri</p> <p>(3) Einführung in die Theorie arithmetischer Flächen bis hin zum Beweis des arithmetischen Riemann-Rochschen Satzes nach Faltings</p> <p>(4) Einführung in die nicht-archimedische Analysis / rigide Geometrie.</p>
MU	<p><u>2 SWS</u></p> <p><u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung</p>	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<p><u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf</p>	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M7: Automorphe Formen / Modulformen		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten können mit dem Konzept der Modulformen bzw. automorphen Formen umgehen. Sie verstehen die zentrale Stellung dieser Theorie im Wechselspiel verschiedener Gebiete der Mathematik (u.a. Algebraische Geometrie, Darstellungstheorie, Komplexe Analysis, Zahlentheorie) und sind in der Lage, Fachliteratur zu aktuellen Forschungsthemen auf diesem Gebiet selbstständig zu studieren.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Algebra II“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Mögliche Programme sind: (1) Einführung in die Theorie der elliptischen Funktionen und der elliptischen Modulformen (2) Einführung in die Theorie der automorphen Darstellungen (lokal/global) (3) Einführung in die Theorie der Shimura-Varietäten.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M8: Zahlentheorie II		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erlangen eine vertiefte Einsicht in ausgewählte Fragestellungen der Zahlentheorie und sind fähig, Techniken aus verschiedenen Teilgebieten der Mathematik (komplexe Analysis, nichtarchimedische Analysis, arithmetische algebraische Geometrie, Darstellungstheorie) auf diese Fragestellungen anzuwenden. Mit Hilfe dieser Techniken können sie versteckte Beziehungen zwischen verschiedenartigen arithmetischen Objekten erkennen und erklären.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Zahlentheorie“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Mögliche Programme sind: (1) Klassenkörpertheorie: die Theorie der abelschen Erweiterungskörper eines (globalen oder lokalen) Zahlkörpers (2) Analytische Zahlentheorie (Zetafunktionen, L-Funktionen, Thetafunktionen, Langlandsprogramm) (3) Arithmetik lokaler Körper (Darstellungen ihrer absoluten Galoisgruppen, lokales Langlandsprogramm, p-divisible Gruppen, nichtarchimedische Analysis).
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M9: Themen in der modernen algebraischen Geometrie			Leistungspunkte: 10
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten lernen moderne Methoden der Algebraischen Geometrie kennen und können diese anwenden. Sie erwerben eine vertiefte Einsicht in ausgewählte Fragestellungen der Algebraischen Geometrie und sind in der Lage, Fachliteratur zu aktuellen Forschungsthemen auf diesem Gebiet selbstständig zu studieren.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Algebraische Geometrie I“</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Mögliche Themen sind: (1) Der Modulraum von Kurven (Konstruktion des Modulraums, stabile Kurven und Deligne-Mumford-Kompaktifizierung, Untersuchung über die feinere Geometrie des Modulraums) (2) Birationale algebraische Geometrie und die Theorie der minimalen Modelle (3) Einführung in die Untersuchung von abelschen Varietäten (4) Hodge-Theorie (Kähler-Mannigfaltigkeiten, Garben, Kohomologie und der Satz von Hodge, Polarisierungen und Hodge-Strukturen).
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M10: Differentialgeometrie II		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten kennen Differentialformen und ihre Integration auf Mannigfaltigkeiten. Sie sind mit den Anfangsgründen der Riemannschen oder der symplektischen Geometrie vertraut.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Differentialgeometrie I“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	- Differentialformen, Integration auf Mannigfaltigkeiten, Satz von Stokes für Differentialformen, - Anfänge der Riemannschen oder der symplektischen Geometrie, z.B.: - Beziehungen zwischen Topologie und Krümmung, - Geometrie isometrischer Immersionen, - Hamiltonmechanik, Symplektomorphismen und Satz von Darboux.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input type="checkbox"/> Wintersemester <input checked="" type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M11: Differentialgeometrie III		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studierenden können mit Faserbündeln umgehen, insbesondere Hauptfaserbündeln und dazu assoziierten Vektorbündeln. Sie sind mit dem Begriff der Zusammenhänge und deren Krümmungen in solchen Bündeln vertraut. Sie können diese Techniken in ausgewählten Gebieten der Differentialgeometrie anwenden.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Differentialgeometrie I“ (aus dem Bachelorstudium), Differentialformen und deren Differential und Integral aus dem Modul „Differentialgeometrie II“</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<p><u>4 SWS</u></p> <p><u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung</p>	6 LP, Teilnahme	<p>Einführung in die Differentialgeometrie auf Faserbündeln mit ausgewählten Anwendungen. Grundlegende Themen: Hauptfaserbündel, Vektorbündel, Zusammenhänge, Krümmungen, Parallelverschiebung. Mögliche Anwendungsthemen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Holonomietheorie, - Charakteristische Klassen in der De Rham-Kohomologie und Krümmung, - Yang-Mills-Gleichung, - Vertiefende Aspekte der Riemannschen Geometrie (z.B. homogene und symmetrische Räume, spezielle Geometrien), - Vertiefende Aspekte der symplektischen Geometrie (z.B. symplektische Faserungen, Satz von Riemann-Roch).
MU	<p><u>2 SWS</u></p> <p><u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung</p>	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<p><u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf</p>	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M12: Differentialgeometrie IV		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studierenden können mit geometrisch definierten Differentialoperatoren umgehen und verstehen Zusammenhänge zwischen deren analytischen und geometrischen Eigenschaften.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Differentialgeometrie I“ (aus dem Bachelorstudium), „Differentialgeometrie III“; Differentialformen und deren Differential und Integral aus dem Modul „Differentialgeometrie II“			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Mögliche Themen: - Dirac-Operatoren und Spin-Geometrie, - Laplace-Operatoren auf Funktionen und Differentialformen, Hodge-Theorie, Spektralgeometrie, - Pseudo-holomorphe Kurven und Floer-Theorie.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input type="checkbox"/> Wintersemester <input checked="" type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M13: Ausgewählte Themen der Differentialgeometrie		Leistungspunkte: 5	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studierenden kennen aktuelle Entwicklungen in der Differentialgeometrie und haben auf einem forschungsrelevanten Gebiet vertiefte Kenntnisse.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Differentialgeometrie I“ (aus dem Bachelorstudium) sowie mindestens zweier weiterer Differentialgeometrie-Module			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> 90 Stunden 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Ausgewählte und vertiefende Themen der aktuellen Entwicklung der Differentialgeometrie.
MU	<u>1 SWS</u> 30 Stunden 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M14: Topologie II		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten sind mit grundlegenden Konzepten der homologischen Algebra vertraut und können diese auf Probleme der Algebraischen Topologie anwenden. Sie können mit Kohomologiegruppen umgehen, diese mittels geeigneter Methoden in verschiedenen Situationen berechnen und kennen zentrale Strukturresultate hierzu.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Topologie I“ aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<p><u>4 SWS</u></p> <p><u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung</p>	6 LP, Teilnahme	<ul style="list-style-type: none"> - Kohomologie und Cup-Produkt, Dualitäten und universelle Koeffizienten, Künneth-Formeln, - Vektorbündel und charakteristische Klassen, - Weiterführende Themen wie z.B.: Morsetheorie, Satz von de Rham, Homotopiegruppen, Spektralfolgen, K-Theorie.
MU	<p><u>2 SWS</u></p> <p><u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung</p>	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<p><u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf</p>	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M15: Algebraische Geometrie I		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten kennen Konzepte und Methoden der Algebraischen Geometrie und können mit Varietäten und Schemata umgehen. Sie sind fähig, algebraische Methoden in geometrischen Strukturen anzuwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Algebra II“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	(1) Affine und projektive Varietäten (2) Morphismen zwischen Varietäten (3) Garben (4) Schemata (5) Ebene Kurven, lokale Ringe (6) Hilbert-Polynome und Syzygien (7) Dimensionstheorie und endliche Morphismen (8) Tangentialkegel und Singularitäten (9) Divisoren und lineare Systeme
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M16: Algebraische Geometrie II		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben vertiefte Kompetenzen zum Umgang mit algebraischen Varietäten. Sie sind in der Lage, kohomologische Methoden auf Probleme der Algebraischen Geometrie anzuwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Algebraische Geometrie I“			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Ausgewählte Themen aus der Algebraischen Geometrie. Mögliche Themenblöcke sind: (1) Eigenschaften von Schemata (2) Kohärente Garben (3) Kohomologische Methoden und Verschiebungssätze (4) Serre-Dualität und der allgemeine Satz von Riemann-Roch (5) Algebraische Flächen (6) Chern-Klassen und Schnitttheorie
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input type="checkbox"/> Wintersemester <input checked="" type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M17: Numerik partieller Differentialgleichungen II		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten verfügen über vertiefte Kenntnisse im Bereich Numerischer Verfahren für partielle Differentialgleichungen und Variationsungleichungen in Anwendungen. Sie erwerben einen Einblick in aktuelle Forschungsthemen zur Numerik partieller Differentialgleichungen.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Partielle Differentialgleichungen“, „Funktionalanalysis“, „Numerik partieller Differentialgleichungen I“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Variationsungleichungen und Kontaktprobleme, lineare und nichtlineare Elastizitätstheorie, Navier-Stokes Gleichungen, Maxwell-Gleichungen; Gebietszerlegungsmethoden, Mehrgittermethoden.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; Bearbeitung von schriftlichen Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche) und Programmieraufgaben	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M18: Numerik Differential-Algebraischer Gleichungen		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben vertiefte Kenntnisse zur Theorie und Numerik Differential-Algebraischer Gleichungssysteme. Sie sind in der Lage, Praxisprobleme numerisch zu lösen.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Numerik gewöhnlicher Differentialgleichungen“ aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Lösbarkeit Differential-Algebraischer Gleichungen, Kronecker-Index, Störungsindex, Entkopplungskonzepte, numerische Verfahren für Anfangswertprobleme Differential-Algebraischer Gleichungen, konsistente Anfangswerte, numerische und asymptotische Stabilität, Lösung von Anwendungsproblemen aus der Elektronik, Mechanik, Medizin, Gas- und Wasserversorgung.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M19: Optimierung bei partiellen Differentialgleichungen		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten kennen die Theorie und Numerik für Optimierungsprobleme mit partiellen Differentialgleichungen als Nebenbedingungen. Darüberhinaus sind sie in der Lage, die erworbenen Kenntnisse auf konkrete Problemstellungen anzuwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Partielle Differentialgleichungen“ (aus dem Bachelorstudium), „Numerik partieller Differentialgleichungen I“ (aus dem Bachelorstudium), „Variationsrechnung und Optimale Steuerung“			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Optimale Steuerung elliptischer partieller Differentialgleichungen 2. Ordnung; Steuerungs- und Zustandsschranken; Regularität der Restriktionen; Optimalitätsbedingungen 1. und 2. Ordnung; Verteilte vs. Randsteuerung; Numerische Behandlung (projizierte Gradienten-, verallgemeinerte Newton-Verfahren); Behandlung von Problemen mit parabolischen partiellen Differentialgleichungen.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M20: Stochastische Optimierung		Leistungspunkte: 5	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben grundlegende Kenntnisse im Bereich der stochastischen Optimierung. Sie können einfache Optimierungsprobleme unter Ungewissheit lösen.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module Analysis I und II, Lineare Algebra und Analytische Geometrie I und II, Stochastik I sowie Nichtlineare Optimierung aus dem Bachelorstudium			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> 90 Stunden 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Stochastische Optimierungsmodelle, Anwendungen, Eigenschaften von Erwartungswertfunktionalen, zweistufige lineare stochastische Optimierungsmodelle, Optimalität und Dualität, diskrete Approximationen und Dekomposition, Wahrscheinlichkeitsrestriktionen: Eigenschaften und numerische Berechnung, Risikofunktionale.
MU	<u>1 SWS</u> 30 Stunden 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M21: Theorie und Verfahren der nichtglatten Optimierung		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten lernen Ideen kennen, wie man mit Nichtdifferenzierbarkeit umgehen kann. Sie verstehen grundlegende Definitionen, Sätze und ihre Zusammenhänge. Sie sind mit wenigstens einem Standardverfahren im Detail vertraut.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module Analysis I und II, Lineare Algebra und Analytische Geometrie I und II sowie Nichtlineare Optimierung aus dem Bachelorstudium</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Nichtglatte Optimierungsaufgaben entstehen vor allem dann, wenn Lösungen gegebener Aufgaben in weitere Probleme eingehen (hierarchische, multiphase oder multilevel Probleme; s. auch „Variational Analysis“ in der Literatur). In der Regel sind dann wesentliche Funktionen nicht differenzierbar. Schwerpunkte: Subdifferentialie, Variationsprinzipien, verallg. Ableitungen, stabile Lösungen, Optimalitätsbedingungen, Lipschitz-Funktionen, mehrwertige Abbildungen, nichtglatte Newton-Verfahren, Komplementarität und NCP-Funktionen.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M22: Ausgewählte Themen der Numerischen Mathematik		Leistungspunkte: 5	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben Kenntnisse und Fähigkeiten in aktuellen, forschungsrelevanten Gebieten der Numerischen Mathematik. Sie sind in der Lage, Fachliteratur zu aktuellen Forschungsthemen (auch interdisziplinäre) selbstständig zu studieren.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Wünschenswert: Inhalte der Module „Partielle Differentialgleichungen“ (aus dem Bachelorstudium), „Numerik partieller Differentialgleichungen I“ (aus dem Bachelorstudium), „Numerik partieller Differentialgleichungen II“, „Numerik Differential-Algebraischer Gleichungen“</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Vertiefung in ausgewählte aktuelle Gebiete der Numerischen Mathematik und deren Anwendung sowie Heranführen an aktuelle forschungsrelevante Themen. Beispiele möglicher Themen sind Vertiefungen in der Numerik partieller Differentialgleichungen sowie die Numerik gekoppelter Systeme partieller Differentialgleichungen und Differential-Algebraischer Gleichungen. Weitere Themen können parallele Algorithmen, schnelle Löser, etc. sein.
MU	<u>1 SWS</u> <u>30 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M23: Ausgewählte Themen der Optimierung		Leistungspunkte: 5	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben Kenntnisse und Fähigkeiten in aktuellen, forschungsrelevanten Gebieten der Optimierung. Sie sind in der Lage, Fachliteratur zu aktuellen Forschungsthemen (auch interdisziplinäre) selbstständig zu studieren.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Partielle Differentialgleichungen“ (aus dem Bachelorstudium), „Numerik partieller Differentialgleichungen I“ (aus dem Bachelorstudium), „Variationsrechnung und Optimale Steuerung“			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Vertiefung in ausgewählte Gebiete der Optimierung und deren Anwendung sowie Heranführung an aktuelle forschungsrelevante Bereiche in der Optimierung. Beispiele möglicher Themen sind: Form- und Topologieoptimierung, Globale Optimierung, Inverse Probleme, Mathematische Bildverarbeitung, Multikriterielle Optimierung und Stochastische Optimierung.
MU	<u>1 SWS</u> <u>30 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M24: Stochastische Analysis		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erwerben Kenntnisse wichtiger Klassen stochastischer Prozesse in kontinuierlicher Zeit und erlernen den Umgang mit dem Itô-Kalkül der stochastischen Analysis. Sie verstehen den Zusammenhang zwischen dem stochastischen Paradigma der Teilchenbewegung und analytischen Konzepten.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Analysis I“, „Analysis II“, „Stochastik I“, „Stochastik II“ aus dem Bachelorstudium; empfohlen werden maßtheoretische Grundlagen aus „Analysis III“</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Brownsche Bewegung und ihre Feinstruktur, Martingale in stetiger Zeit, stochastische Integration, Ito-Formel, Maßwechsel, Martingaldarstellungssatz, stochastische Differentialgleichungen und Diffusionen, Zusammenhang zwischen Diffusionstheorie und der Theorie partieller Differentialgleichungen, harmonische Funktionen, Anwendungsbeispiele.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M25: Stochastische Finanzmathematik II		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten lernen zeitstetige stochastische Modelle der Finanzmathematik und typische Anwendungsbeispiele kennen. Sie beherrschen stochastische Methoden zur Modellierung und besitzen die Fähigkeit, finanzmathematische Fragestellungen zu analysieren und entsprechende Modelle zu diskutieren. Sie erlangen eine höhere Abstraktionsfähigkeit und vertiefen das Verständnis der Theorie und Anwendungen von stochastischen Prozessen.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Stochastik I“, „Stochastik II“ aus dem Bachelorstudium. Empfohlen wird „Stochastische Analysis“ ggf. parallel zu hören. Auch „Stochastische Finanzmathematik I“ (aus dem Bachelorstudium) ist hilfreich, wird aber nicht vorausgesetzt.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Zeitstetige Modelle der Finanzmathematik, Diffusionsmodelle und Martingalmethoden aus der stochastischen Analysis, Anwendung auf die Bewertung und Absicherung von Finanzrisiken und derivativen Instrumenten, wie zum Beispiel Zins- oder Aktienderivaten. Ausgewählte ergänzende Themen, wie z.B. dynamische Risikomaße, Modellunsicherheit oder Portfoliooptimierung.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M26: Ausgewählte Themen der Finanz- und Versicherungsmathematik		Leistungspunkte: 5	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten vertiefen die Kenntnisse moderner Wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden und ihrer Anwendungen. Sie erwerben eine höhere Abstraktionsfähigkeit und erhalten eine Einführung in aktuelle Forschungsgebiete und Anwendungsfelder der Stochastik. Sie erlangen die Befähigung zum Studium von (auch interdisziplinärer) Fachliteratur.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Stochastik I“, „Stochastik II“ aus dem Bachelorstudium. Empfohlen wird außerdem ein passendes weiterführendes Modul, wie z.B. „Stochastische Finanzmathematik II“.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Vertiefung ausgewählter Themen aus der Finanz- und Versicherungsmathematik oder der mathematischen Wirtschaftstheorie. Beispiele sind Risikomanagement, Liquiditäts- oder Kreditrisiken, unvollständige Märkte, Risikothorie sowie andere Fragestellungen der Versicherungsmathematik, Monte-Carlo-Verfahren und numerische Methoden, Spieltheorie oder Gleichgewichtsprobleme.
MU	<u>1 SWS</u> <u>30 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M27: Ausgewählte Themen der Stochastik		Leistungspunkte: 5	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten vertiefen die Kenntnisse moderner Wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden und ihrer Anwendungen. Sie erwerben eine höhere Abstraktionsfähigkeit und erhalten eine Einführung in aktuelle Forschungsgebiete. Sie erlangen die Befähigung zum Studium von (auch interdisziplinärer) Fachliteratur.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Stochastik I“, „Stochastik II“ aus dem Bachelorstudium. Empfohlen wird außerdem ein weiterführendes Modul, z.B. „Stochastische Analysis“.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Vertiefung ausgewählter Gebiete und Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie zum Beispiel Levy-Prozesse, Malliavin-Kalkül, optimale stochastische Kontrolltheorie, stochastische Simulation und Numerik, stochastische Rückwärtsgleichungen oder große Abweichungen.
MU	<u>1 SWS</u> <u>30 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M28: Mathematische Statistik		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten modellieren statistische Fragestellungen auf maßtheoretischer Grundlage und erlernen einen sicheren Umgang mit Standardverfahren der Statistik im Bereich der Tests, Punkt- und Bereichsschätzer, Reflexion über Gütemessung und Optimalität statistischer Prozeduren, Asymptotische Analyse von statistischen Verfahren. Sie erwerben Kenntnisse von Anwendungsbeispielen.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Lineare Algebra und Analytische Geometrie I“, „Analysis I – II“, „Stochastik I“ aus dem Bachelorstudium; empfohlen werden die maßtheoretischen Grundlagen aus „Analysis III“ aus dem Bachelorstudium. Vorkenntnisse aus „Stochastik II“ (aus dem Bachelorstudium) sind wünschenswert, werden aber nach Bedarf kurz eingeführt.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	1. Grundlagen: Statistische Modellierung, Minimax- und Bayesansatz, Likelihood, suffiziente Statistik, Exponentialfamilien 2. Testtheorie: Niveau und Güte, Neyman-Pearson-Theorie, Analyse wichtiger Testverfahren, Zusammenhang mit Konfidenzbereichen 3. Schätztheorie: Allgemeine Konstruktionsprinzipien, Regularität und Effizienz, Asymptotik.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M29: Nichtparametrische Statistik		Leistungspunkte: 10	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten modellieren selbstständig funktionale statistische Probleme. Sie vertiefen Ihr Verständnis der nichtparametrischen Herangehensweise im Unterschied zur parametrischen Statistik und erlangen Kenntnisse grundlegender nichtparametrischer Methoden und ihrer mathematischen Analyse. Sie werden an moderne Methoden zur adaptiven Wahl der Regularisierungsparameter herangeführt und erwerben Kenntnisse typischer Anwendungsfälle.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Stochastik I“ aus dem Bachelorstudium; Vorkenntnisse in Stochastik II (aus dem Bachelorstudium) und Mathematischer Statistik sind hilfreich, werden aber nicht vorausgesetzt.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Modelle der nichtparametrischen Statistik (u.a. Regression, Dichteschätzung, Signal im Rauschen), Schätzmethoden (z.B. Kernschätzer, Projektionsschätzer), obere und untere Fehlerschranken, Orakel-Ungleichungen, adaptive Verfahren (z.B. Kreuzvalidierung, lokale Modellwahl), Anwendungen (z.B. in maschinellem Lernen, Ökonometrie).
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro Woche)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M30: Statistik stochastischer Prozesse		Leistungspunkte: 5	
<p>Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten modellieren selbstständig dynamische statistische Probleme. Sie erlangen Kenntnisse grundlegender Modelle und Methoden in der Zeitreihenanalyse, sie werden an moderne Methoden zur Statistik bei Diffusions- und Sprungprozessen herangeführt und erlernen, diese an Beispielen zu verdeutlichen.</p>			
<p>Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte der Module „Stochastik I“ (aus dem Bachelorstudium), „Stochastik II“ (aus dem Bachelorstudium), „Mathematische Statistik“ (kann ggf. parallel gehört werden); Stochastische Analysis ist hilfreich, wird aber nicht vorausgesetzt.</p>			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	3 LP, Teilnahme	Langzeitverhalten von stochastischen Prozessen (Stationarität, Ergodizität, Mischungsverhalten), Zeitreihenmodelle (u.a. AR, ARMA, GARCH), Asymptotik von Schätzern, Likelihoodprozesse, Drift- und Volatilitäts-schätzung, Anwendungen.
MU	<u>1 SWS</u> <u>30 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 15 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	1 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	Das Modul kann nur unregelmäßig angeboten werden. Eine feste Zuordnung zum Wintersemester oder Sommersemester ist nicht vorgesehen. Ob das Modul in einem Semester angeboten wird, kann jeweils dem Vorlesungsverzeichnis entnommen werden.		

Modul M31: Gruppentheorie in der Physik		Leistungspunkte: 7	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten lernen die Theorie der Liegruppen und Liealgebren kennen und können diese im Kontext der Elementarteilchenphysik und der Quantenfeldtheorie anwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Grundkenntnisse in Linearer Algebra			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>3 SWS</u> <u>120 Stunden</u> 35 Stunden Präsenzzeit, 85 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	4 LP, Teilnahme	Struktur von Gruppen, endliche Gruppen, Liegruppen, Darstellungen von Gruppen, Gruppentheorie und Quantenmechanik, Anwendungen in Molekülphysik und Festkörperphysik, Liealgebren, 3-dimensionale Rotationsgruppen, halbeinfache komplexe Liealgebren, halbeinfache reelle Liealgebren, klassische Liealgebren ($su(n)$, $so(n)$, $sp(2n)$), Darstellungen von Liealgebren, Wurzeln und Gewichte, Dynkindiagramme, Youngdiagramme, Charaktere, Klassifikation von Liealgebren, exzeptionelle Algebren, Lorentz-Poincaré- und konforme Algebren und Gruppen, Anwendungen in der Theorie der Elementarteilchen und Quantenfeldtheorie, Lie-Superalgebren und -Supergruppen, unendlichdimensionale Liealgebren.
MU	<u>1 SWS</u> <u>60 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 45 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	2 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M32: Einführung in die Quantenfeldtheorie		Leistungspunkte: 10	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten können die Grundlagen der Quantenfeldtheorie systematisieren, und sind in der Lage, diese zur Lösung von einschlägigen Fragestellungen anzuwenden.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Empfohlen werden Kenntnisse in Quantenphysik und spezieller Relativitätstheorie.			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>4 SWS</u> <u>180 Stunden</u> 45 Stunden Präsenzzeit, 135 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	6 LP, Teilnahme	Bosonischer und fermionischer Fock-Raum, Aufsteiger, Absteiger, Quantisierung, freies reelles und komplexes Feld, Propagatoren, Wechselwirkungsbild, Dyson-Entwicklung, Wick-Theorem und Gauss'sche Integrale, erzeugende Funktionen, Pfad-Integral, zusammenhängende und 1PI Green-Funktion, VEVs, Feynman-Regeln, Graphen, Wightman-Axiome, CPT, LSZ, Kallen-Lehmann-Streumatrix, Wirkungsquerschnitte, Darstellungen der Poincaré-Gruppe, Dirac-Gleichung, Spinfelder, QED, Yukawa-Theorem, Anfangsgründe der Renormierung.
MU	<u>2 SWS</u> <u>90 Stunden</u> 25 Stunden Präsenzzeit, 65 Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	3 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M33: Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie		Leistungspunkte: 7	
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten werden in fortgeschrittene Themen der Quantenfeldtheorie eingeführt und an die aktuelle Forschung herangeführt.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Inhalte des Moduls „Einführung in die Quantenfeldtheorie“			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>3 SWS</u> <u>120 Stunden</u> 35 Stunden Präsenzzeit, 85 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	4 LP, Teilnahme	<ul style="list-style-type: none"> - Streuprozesse in der QED - Infrarot- und Ultraviolettdivergenzen - Regularisierung und Renormierung - Schleifenrechnungen in der QED - Yang-Mills-Theorie - Symmetriebrechung und Higgsmechanismus
MU	<u>1 SWS</u> <u>60 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 45 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	2 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input type="checkbox"/> Wintersemester <input checked="" type="checkbox"/> Sommersemester		

Modul M34: Hopf-Algebren: Renormierung und die Renormierungsgruppe			Leistungspunkte: 7
Lern- und Qualifikationsziele: Die Studentinnen und Studenten erlernen die Anwendung von Hopf-Algebren zur Behandlung von Singularitäten, wie sie insbesondere im Zusammenhang von Renormierung und Quantenfeldtheorie auftreten.			
Fachliche Voraussetzungen für die Teilnahme am Modul: Kenntnisse in Quantenfeldtheorie			
Lehrveranstaltungsart	Präsenzzeit, Workload in Stunden	Leistungspunkte und Voraussetzung für deren Erteilung	Themen, Inhalte
VL	<u>3 SWS</u> <u>120 Stunden</u> 35 Stunden Präsenzzeit, 85 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	4 LP, Teilnahme	<ul style="list-style-type: none"> - Feynman-Graphen und ihre Operadenstruktur - Hopf-Algebren - Hopf-Algebren-Struktur von Graphen - Bewertete Graphen und Divergenzgrade - das Renormierungsproblem in der Quantenfeldtheorie - Hochschildkohomologie und Dynkin-Operatoren - Renormierung von Singularitäten in Feynman-Integralen - Green'sche Funktionen und die Renormierungsgruppe
MU	<u>1 SWS</u> <u>60 Stunden</u> 15 Stunden Präsenzzeit, 45 Stunden Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung und der speziellen Arbeitsleistung	2 LP, Teilnahme an Übungen; schriftliche Bearbeitung von Übungsaufgaben (in der Regel 1 Aufgabenblatt pro 2 Wochen)	(siehe VL)
Modulabschlussprüfung	<u>30 Stunden</u> Maximal dreistündige Klausur oder halbstündige mündliche Prüfung; Vorbereitung darauf	1 LP, Bestehen	
Dauer des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester		
Beginn des Moduls	<input checked="" type="checkbox"/> Wintersemester <input type="checkbox"/> Sommersemester		

Anlage 2: Idealtypischer Studienverlaufsplan

Hier finden Sie eine Aufteilung der Module mit den jeweiligen Lehrveranstaltungen, SWS und LP auf die Semester, die einem idealtypischen, aber nicht verpflichtenden Studienverlauf entspricht.

	1. Semester	2. Semester	3. Semester	4. Semester
	Fachliches Wahlpflichtmodul, 6 SWS, 10 LP			
	Fachliches Wahlpflichtmodul, 6 SWS, 10 LP	Fachliches Wahlpflichtmodul, 6 SWS, 10 LP	Fachliches Wahlpflichtmodul, 6 SWS, 10 LP	
	Überfachliches Wahlpflichtmodul, 10 LP	Überfachliches Wahlpflichtmodul, 10 LP		
			Masterarbeit, 10 + 20 = 30 LP	
LP je Semester	30 LP	30 LP	30 LP	30 LP

Das 2. Semester eignet sich besonders für ein Studium an einer Universität im Ausland. Zur Vereinfachung der Anrechnung der an der ausländischen Universität erbrachten Studienleistungen und Prüfungen wird der vorherige Abschluss eines Learning Agreements empfohlen.