Modulhandbuch

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Fakultät für Mathematik und Informatik
Master „Mathematik“

Fassung vom 20.7.2016 zur Prüfungsordnung vom 11.3.2009
mit letzter Änderung vom 7.2.2013

Studienform: Vollzeit

Art des Studiengangs: konsekutiv

Regelstudienzeit: 4 Semester

Einführungsdatum: 11.3.2009

Studienstandort: Heidelberg

Anzahl der Studienplätze: derzeit keine Begrenzung

Gebühren/Beiträge: gemäß allgemeiner Regelung der Universität Heidelberg

Präambel
Qualitätsziele der Universität Heidelberg in Studium und Lehre

Anknüpfend an ihr Leitbild und ihre Grundordnung verfolgt die Universität Heidelberg in ihren Studiengängen fachliche, fachübergreifende und berufsfeldbezogene Ziele in der umfassenden akademischen Bildung und für eine spätere berufliche Tätigkeit ihrer Studierenden. Das daraus folgende Kompetenzprofil wird als für alle Disziplinen gültiges Qualifikationsprofil in den Modulhandbüchern aufgenommen und in den spezifischen Qualifikationszielen sowie den Curricula und Modulen der einzelnen Studiengänge umgesetzt:

- Entwicklung von fachlichen Kompetenzen mit ausgeprägter Forschungsorientierung;
- Entwicklung transdisziplinärer Dialogkompetenz;
- Aufbau von praxisorientierter Problemlösungskompetenz;
- Entwicklung von personalen und Sozialkompetenzen;
- Förderung der Bereitschaft zur Wahrnehmung gesellschaftlicher Verantwortung auf der Grundlage der erworbenen Kompetenzen.

Fachliche und überfachliche Qualifikationsziele des Masterstudiengangs „Mathematik“

Der konsekutive Masterstudiengang „Mathematik“ hat das Ziel einer Erweiterung der mathematischen Grundkenntnisse sowie einer Vertiefung, die bis zum Kontakt mit aktueller Forschung in einem der in Heidelberg vertretenen Gebiete reicht. AbsolventInnen des Masterstudiengangs sind in der Lage, mathematische Methoden und Modelle anzuwenden und selbständig weiterzuentwickeln. Durch die Anfertigung einer Masterarbeit werden in sehr großem Maße die Fähigkeiten zur selbständigen wissenschaftlichen Arbeit, zur Problemanalyse und -lösung und auch zur Organisation von Arbeit gestärkt. Der Masterstudiengang Mathematik unterscheidet sich vom ebenfalls angebotenen internationalen Masterstudiengang Scientific Computing dadurch, dass der Masterstudiengang Mathematik eher auf innermathematische Forschung ausgelegt ist, während beim internationalen Masterstudiengang Scientific Computing der Anwendungsbezug im Vordergrund steht.

Modulbeschreibungen MA Mathematik

Algebraische Zahlentheorie I

Modul	**Code** MG1	**Name** Algebraische Zahlentheorie I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in algebraischer Zahlentheorie			
Inhalt	Die Vorlesung Algebraische Zahlentheorie I enthält das Grundwissen über algebraische Zahlkörper. Hauptthemen sind: Ganzheit, Ideale, Dedekindringe, Primidealzerlegung, Minkowski-Theorie, Klassenzahl, Dirichletscher Einheitensatz, quadratische Zahlkörper, zyklotomische Körper, Erweiterungen von Dedekindringen, Lokalisierung, Bewertungen, Fortsetzungen von Bewertungen, Galoistheorie der Bewertungen, Hilbertsche Verzweigungstheorie.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	S. Lang: Algebraic Number Theory J. Neukirch: Algebraische Zahlentheorie			

Algebraische Zahlentheorie II

Modul	**Code** MG2	**Name** Algebraische Zahlentheorie II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in algebraischer Zahlentheorie			
Inhalt	Die Vorlesung Algebraische Zahlentheorie II enthält die Theorie der lokalen Körper. Hauptthemen sind: I. *Lokale Körper*: Bewertungen, Vervollständigung, lokale Körper, multiplikative Gruppe eines p-adischen Zahlkörpers, unverzweigte und zahm verzweigte Erweiterungen. II. *Kohomologie endlicher Gruppen*: G-Moduln, Kohomologiegruppen, exakte Kohomologiesequenz, Satz von Tate. III. *Lokale Klassenkörpertheorie*: Galoiskohomologie, Klassenformation unverzweigter Erweiterungen, lokales Reziprozitätsgesetz, Existenzsatz.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie I			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	J.W.S. Cassels, A. Fröhlich: Algebraic Number Theory J. Neukirch: Algebraische Zahlentheorie J. Neukirch: Klassenkörpertheorie J.-P. Serre: Local Fields			

Algebraische Geometrie I

Modul	**Code** MG3	**Name** Algebraische Geometrie I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in algebraischer Geometrie			
Inhalt	Die Vorlesung Algebraische Geometrie I vermittelt die Grundlagen sowie algebraischen bzw. geometrischen Methoden zum Studium von Nullstellenmengen algebraischer Gleichungen. Hauptthemen sind: I. Varietäten: Affine und projektive Varietäten, Morphismen und rationale Abbildungen, Funktionenkörper. II. Schemata: Garbentheorie, affine und allgemeine Schemata, Unterschemata, Faserprodukte, Morphismen (separierte, eigentliche, endliche, flache, étale, glatte ...), affine und projektive Vektorraumbündel, insbesondere Geradenbündel und Divisoren, Differentialformen, Aufblasungen.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra II bzw. Kommutative Algebra			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Hartshorne: Algebraic Geometry Iitaka: Algebraic Geometry Liu: Algebraic Geometry and Arithmetic Curves Mumford: The Red Book of Varieties and Schemes Shafarevich: Basic Algebraic Geomety Grothendieck: Éléments de géométrie algébrique (EGA)			

Algebraische Geometrie II

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG4</td><td colspan="3">Name
Algebraische Geometrie II</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Vertiefte Kenntnisse in algebraischer Geometrie</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">In der Vorlesung Algebraische Geometrie II werden Schemata, insbesondere Kurven oder Flächen, mit Hilfe von Kohomologie-Theorien studiert.
Hauptthemen sind:
I. Kohomologie: Derivierte Funktoren und Kategorien, Garbenkohomologie, Cech-Kohomologie, Kohomologie des projektiven Raumes, Serre-Dualität

II. Kurven: Riemann-Roch-Theorem, Hurwitz-Theorem, projektive Einbettungen, elliptische Kurven, Klassifikation

WeitereThemen können sein:

Flächen, Schnitt-Theorie, Etale-Kohomologie und Weil-Vermutungen, cristalline Kohomologie und p-adische Hodge-Theorie, abelsche Varietäten, GAGA</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Algebraische Geometrie I</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">Hartshorne: Algebraic Geometry
Iitaka: Algebraic Geometry
Liu: Algebraic Geometry and Arithmetic Curves
Mumford: The Red Book of Varieties and Schemes
Shafarevich: Basic Algebraic Geomety
Grothendieck: Éléments de géométrie algébrique (EGA)
Grothendieck: Séminaire de Géométrie Algébrique (SGA)</td></tr>
</table>

Algebraische Gruppen I

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG5</td><td colspan="3">Name
Algebraische Gruppen I</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkenntnisse über algebraische Gruppen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung Algebraische Gruppen enthält die Grundlagen der Theorie bis hin zur Klassifikation der reduktiven Gruppen. Insbesondere sollen die folgenden Themen behandelt werden:

I. Elementare Theorie: Affine algebraische Gruppen und Gruppenschemata, Jordanzerlegung, kommutative und unipotente Gruppen

II. Quotienten: Lie-Algebren, Homogene Räume und Torsoren, Semiinvarianten und Invarianten, geometrische Quotienten

III. Allgemeine Struktursätze: Auflösbare Gruppen und Satz von Kolchin, Boreluntergruppen und Konjugiertheit, Dichtigkeitssatz, Zusammenhangssatz und Normalisatorsatz, Weylgruppen und Wurzelsysteme

IV. Reduktive Gruppen: Bruhat-Zerlegung, Tits-System und parabolische Untergruppen, Klassifikation reduktiver Gruppen</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Algebraische Geometrie I</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">A. Borel: Linear Algebraic Groups
J. E. Humphreys: Linear Algebraic Groups
T. A. Springer: Linear Algebraic Groups
W. C. Waterhouse: Introduction to affine group schemes</td></tr>
</table>

Algebraische Gruppen II

Modul	**Code** MG6	**Name** Algebraische Gruppen II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse über algebraische Gruppen			
Inhalt	Die Vorlesung Algebraische Gruppen II behandelt eines oder mehrere Gebiete aus dem folgenden Themenkatalog: I. Gruppenschemata II. Darstellungstheorie linearer Gruppen III. p-adische Lie-Gruppen IV. Arithmetische Gruppen V. Differential-Galoistheorie			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Gruppen I			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Wird in der Vorlesung bekannt gegeben			

p-adische Analysis I

Modul	**Code**	**Name**		
	MG7	p-adische Analysis I		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in p-adischer Analysis			
Inhalt	Diese Vorlesung gibt eine Einführung in die p-adische Analysis bzw. in p-adische Methoden und bereitet ggfs. auf Anwendungen in der Zahlentheorie oder Darstellungstheorie vor. Hauptthemen sind: I. Grundlagen: p-adische Zahlen und nicht-archimedische Körper, Potenzreihen und lokal-analytische Funktionen. II. p-adische Mannigfaltigkeiten und Liegruppen: Karten und Atlanten, Tangentialraum, Campbell-Hausdorff-Formel, formales Gruppengesetz, Lie-Algebren III. Nichtarchimedische Funktionalanalysis: p-adische Banachräume, Distributionen und Maße auf p-adischen Lie-Gruppen, Iwasawa-Algebren IV. p-adische L-Funktionen: Kummer-Kongruenzen, p-adische Interpolation, Kubota-Leopoldt-Zetafunktion, Dirichlet-L-Funktionen			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	L. Washington: Introduction to cyclotomic fields S. Lang: Cyclotomic fields I and II P. Schneider: Nonarchimedean Functional Analysis, p-Adic Analysis and Lie Groups P. Colmez: La fonction zeta J.-P. Serre: Lie algebras and Lie groups			

p-adische Analysis II

Modul	**Code**	**Name**		
	MG8	p-adische Analysis II		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in p-adischer Analysis			
Inhalt	Diese Vorlesung vertieft die p-adischen Methoden aus Teil I und behandelt Anwendungen in der Zahlentheorie bzw. der Darstellungstheorie. Hauptthemen sind: I. Hodge-Tate-Sen-Theorie: Höhere Verzweigunstheorie, Wittvektoren, Cohen-Ringe, Periodenringe, Robbaringe, Schiefpotenz-Laurentreihenringe, semilineare Abbildungen, Theorie des Anstiegs, Galoisdarstellungen, (φ,Γ)-Moduln II. p-adische Differentialgleichungen: Generische Lösungen, Indexsatz, Robbaring III. Stetige und lokal-analytische Darstellungen: Zulässigkeit, Dualität, Frechet-Stein-Algebren, Distributionenalgebren von p-adischen Lie-Gruppen, Induktion, p-adisches Langlands-Programm			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	p-adische Analysis I			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Colmez: Fontaine's rings and p-adic L-functions Schneider/Teitelbaum: Lecture Notes Hangzhou, 2004 Christol, Robba: Equationes differentielles p-adiques			

Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher I

Modul	**Code** MG9	**Name** Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über komplexe Räume			
Inhalt	Die Vorlesung führt in die Theorie der analytischen Funktionen mehrerer Variablen und die lokale Theorie komplexer Räume ein. Hauptthemen sind: I. Lokale Theorie komplexer Räume: Differentialformen, Hodge-Zerlegung, Dolbeault-Theorie II. Grundlagen der Funktionentheorie mehrerer Variabler: Analytische (holomorphe) Funktionen, Cousin-Problem, lokale Ringe von analytischen Funktionen, Oka's Lemma, Weierstraßscher Vorbereitungssatz, Weierstraßscher Divisionssatz Ein weiteres Thema kann sein: Abelsche Funktionen			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	E. Freitag: Funktionentheorie 2 R. Gunning, H. Rossi: Analytic Functions on Several Complex Variables			

Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher II

Modul	**Code** MG10	**Name** Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse über komplexe Räume			
Inhalt	Die Vorlesung Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher II behandelt die globale Theorie komplexer Räume. Hauptthemen sind: I. Die Theorie analytischer Garben: Satz von Oka, Kohärenzsätze II. Endlichkeits- und Verschwindungssätze für kohärente Garben und Anwendungen III. Theorem A und Theorem B IV. Anwendungen der Theorie: Abbildungssätze			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Komplexe Analysis mehrerer Veränderlicher I (MG9)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur				

Analytische Zahlentheorie

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG11</td><td colspan="3">Name
Analytische Zahlentheorie</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkenntnisse in analytischer Zahlentheorie</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung führt in Ergebnisse und Methoden der Analytischen Zahlentheorie ein.

Hauptthemen sind:

I. L-Reihen und ihre Anwendungen
II. Primzahlverteilung; etwa die Primzahlsätze von Gauß und Dirichlet
III. Klassenzahlen binärer quadratischer Formen, Darstellungsanzahlen durch binäre quadratische Formen</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">D. Zagier: Zetafunktionen und quadratische Körper</td></tr>
</table>

Automorphe Formen und Galoisdarstellungen

Modul	**Code** MG13	**Name** Automorphe Formen und Galoisdarstellungen		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über Automorphe Formen und Galoisdarstellungen			
Inhalt	Die Theorie der Automorphen Formen ist eine natürliche Weiterentwicklung der Theorie der (elliptischen) Modulformen. Der zunächst funktionentheoretische Zugang wird um Methoden der Algebraischen Zahlentheorie und der Darstellungstheorie, sowie der Arithmetischen Geometrie erweitert. Anhand elliptischer Modulformen sollen einige Eckpfeiler der Theorie sowie die Zusammenhänge mit Galoisdarstellungen erläutert werden. Mögliche Themen sind: I. Klassischer und adelischer Zugang zur Theorie im elliptischen Fall, Hecke-Operatoren, Verallgemeinerungen auf algebraische Gruppen II. Modulkurven und Galoisdarstellungen zu Modulformen III. Darstellungstheoretische Methoden: Zulässige Darstellungen, Klassifikationstheorie, lokale Invarianten IV. Spektralzerlegung: Kontinuierliches und diskretes Spektrum, Multiplizität-1-Satz			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie 1, Algebraische Zahlentheorie 1, Algebraische Kurven			
Prüfungs-modalitäten	Lösen von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	S. Gelbart: Automorphic Forms on Adèle Groups D. Bump: Automorphic Forms and Representations F. Diamond, J. Shurman: A First Course in Modular Forms D. Bump et al.: An Introduction to the Langlands Program			

Siegelsche Modulformen

Modul	Code MG14	Name Siegelsche Modulformen		
Umfang	Leistungspunkte 8 CP	Workload 240 h	Dauer 1 Semester	Turnus
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über Siegelsche Modulformen			
Inhalt	Mögliche Themen sind: I. Siegel'sche und Minkowski'sche Reduktionstheorie, das Koecherprinzip, Siegel'sche und Klingen'sche Eisensteinreihen, Zerlegungssätze, Thetareihen II. Hecketheorie, Zetafunktionen, der Siegel'sche Hauptsatz III. Satakekompaktifizierung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	E. Freitag: Siegelsche Modulfunktionen H. Klingen: Introductory lectures on Siegel modular forms			

Differentialgeometrie I

Modul	Code	Name		
	MG15	Differentialgeometrie I		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Kenntnis der Grundbegriffe der Differentialgeometrie, Beherrschung des Kalküls Fähigkeit, Methoden aus der Analysis und Algebra zu Behandlung geometrischer Probleme anzuwenden.			
Inhalt	Differenzierbare Mannigfaltigkeit, (Semi-) Riemannsche Mannigfaltigkeiten, Zusammenhänge, Geodätische, Krümmung.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Bachelor in Mathematik			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Do Carmo: Riemannian Geometry Gallot-Hulin-Lafontaine: Riemannian Geometry Gromoll-Klingenberg-Meyer: Riemannsche Geometrie im Großen Kobayashi-Nomizu: Foundations of Differential Geometry Petersen: Riemannian Geometry Spivak: Differential Geometry			

Differentialgeometrie II

Modul	**Code** MG16	**Name** Differentialgeometrie II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in Differentialgeometrie. Einbindung geometrischer Probleme in den weiteren mathematischen Kontext.			
Inhalt	Beziehungen zwischen Geometrie und Topologie, Symmetrien Mögliche Themen: Geometrie von Räumen mit oberen und unteren Krümmungsschranken Symmetrische Räume und homogene Räume Hyperbolische Geometrie, oder andere Themen aus der Geometrie			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Differentialgeometrie I (MG15)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Differentialtopologie I

Modul	**Code** MG17	**Name** Differentialtopologie I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Differentialtopologie			
Inhalt	I, differenzierbare Mannigfaltigkeiten und Tangentialräume, II. glatte Abbildungen (Submersionen, Immersionen, Einbettungen, Isotopien, III. reguläre Werte und Satz von Sard, IV. Tubenumgebungen, Kragen, V. Transversalität, VI. orientierte Mannigfaltigkeiten, VII. Abbildungsgrad, VIII. Schnittzahlen, IX. Vektorraumbündel, X. Vektorfelder, XI. Indexsatz von Poincaré-Hopf, XII. de Rham Kohomologie, XIII. Integration auf Mannigfaltigkeiten			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Analysis I, II (MA1, MA2), Lineare Algebra I, II (MA4, MA5), Höhere Analysis (MA3)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Glen E. Bredon: Topology and Geometry Hirsch: Differential Topology John Lee: Introduction to Smooth Manifolds Spivak: Calculus on Manifolds Milnor: Topology from the Differentiable Viewpoint Bröcker, Jänich: Einführung in die Differentialtopologie			

Differentialtopologie II

Modul	**Code** MG18	**Name** Differentialtopologie II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS Vertiefte Kenntnisse in Differentialtopologie			
Inhalt	Die Vorlesung vermittelt tiefere Kenntnisse der Differentialtopologie. Mögliche Themen wären etwa: I. Einführung in die Riemannsche Geometrie, II. Beziehungen zwischen Krümmung und Topologie einer Mannigfaltigkeit, III. Morse Theorie, IV. Faserbündel, V. Charakteristische Klassen: Eulerklasse eines orientierten Bündels, VI. Satz von Leray-Hirsch, Chern Klassen, Chern-Weil-Beschreibung von char. Klassen, Pontrjagin Klassen, VII. Anwendungen auf Bordismustheorie, VIII. Exotische Differentialstrukturen auf Sphären, IX. h-Kobordismen, Satz von Smale, X. Einführung in die Chirurgietheorie.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Differentialtopologie I (MG17)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur				

Computeralgebra I

Modul	Code	Name		
	MG19	Computeralgebra I		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Computeralgebra			
Inhalt	Die Vorlesung Computeralgebra befasst sich mit der Theorie und der Komplexität grundlegender mathematischer Algorithmen und deren Implementierungen in Computeralgebrasystemen. Hauptthemen sind: I. Schnelle Arithmetik: Komplexität der elementaren Grundoperationen, diskrete Fouriertransformation, schnelle Multiplikation und schneller Euklidischer Algorithmus, Subresultanten und Polynomrestfolgen, modulare Algorithmen, Rechnen mit algebraischen Zahlen, schnelle Matrizenmultiplikation II. Primzerlegung und Primzahltests: Primzahltest von Solovay-Strassen und Miller-Rabin, der AKS-Primzahlentest, RSA-Schema, elementare Primzahlzerlegungsverfahren, quadratisches Sieb, Irreduzibilitätstest für Polynome, Berlekamp-Algorithmen, Zassenhaus-Algorithmus, Gitter-Basis-Reduktion, Faktorisierung multivariater Polynome III. Gröbnerbasen-Algorithmen: Gröbnerbasen und reduzierte Gröbnerbasen, Buchberger-Algorithmus, Eliminationstheorie, Algorithmen für elementare Idealoperationen, Berechnung der Dimension eines Ideals.			
Vermittelte Kompetenzen	Methodenkenntnis in Computeralgebra, Selbständiges Lösen von Aufgaben, Umgang mit CA-Systemen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra I (MB1)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	J. von zur Gathen, J. Gerhard: Modern Computer Algebra O. Geddes, S. R. Czapor, G. Labahn: Algorithms for Computer Algebra D. Cox, J. Little, D. O'Shea: Ideals, Varieties and Algorithms B. H. Matzat: Computeralgebra (Skriptum, in Vorbereitung)			

Computeralgebra II

Modul	Code MG20	Name Computeralgebra II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in Computeralgebra			
Inhalt	Die Vorlesung Computeralgebra II behandelt eines oder mehrere Gebiete aus dem folgenden Themenkatalog: I. Algorithmische Zahlentheorie II. Algorithmische kommutative Algebra III. Algorithmische Gruppentheorie IV. Algorithmische Invariantentheorie V. Algorithmische Arithmetische Geometrie			
Vermittelte Kompetenzen	Methodenkenntnis in Computeralgebra, Selbständiges Lösen von Aufgaben, Umgang mit CA-Systemen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra I und II (MB1, MB2), Computeralgebra I (MG19)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Wird in der Vorlesung bekannt gegeben			

Codierungstheorie

Modul	**Code** MG21	**Name** Codierungstheorie		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Codierungstheorie			
Inhalt	Die Vorlesung Codierungstheorie behandelt theoretische Grundlagen und Algorithmen für fehlerkorrigierende Codes. Hauptthemen sind: I. Elementare Codierungstheorie: Übertragungswahrscheinlichkeiten und Satz von Shannon, lineare Codes und Gewichtspolynom, Reed-Solomon-Codes und MDS-Codes, perfekte Codes und Golay-Codes, zyklische Codes und BCH-Codes, quadratische Reste-Codes, Reed-Muller-Codes und Gruppencodes, Schranken für Codes, klassische Goppa-Codes II. Arithmetische Codes: Geometrische Goppa-Codes, rationale Codes und Symmetrien, elliptische und hyperelliptische Codes, Teilkörpercodes, Decodierung arithmetischer Codes, Hermitesche Codes, Codes in Artin-Schreier-Türmen, asymptotische Schranken für Codes, Satz von Drinfeld-Vladut, Darstellung linearer Codes als arithmetische Codes			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra I (MB1), für Teil II: Algebraische Geometrie I (MG3)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	W. C. Huffman, V. Pless: Fundamentals of Error-Correcting Codes S. A. Stepanov: Codes on Algebraic Curves H. Stichtenoth: Algebraic Function Fields and Codes B. H. Matzat: Codierungstheorie (Skriptum)			

Riemannsche Geometrie

Modul	**Code** MG22	**Name** Riemannsche Geometrie		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Riemannscher Geometrie			
Inhalt	Die Vorlesung Riemannsche Geometrie gibt eine Einführung in die Theorie der Riemannschen Mannigfaltigkeiten. Hauptthemen sind: I. Riemannsche Gebiete, Geodätische II. Flächentheorie, Theorema Egregium. III. Tensorrecchnung, Zusammenhänge, Krümmung IV. Klassifikationssätze			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Höhere Analyis, Grundkenntnisse in Topologie			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	E. Freitag, Skript, Jeff Cheeger und David G. Ebin, Comparison Theorems in Riemannian Geometry			

Spezielle Themen der Galoiskohomologie

Modul	**Code** MG23	**Name** Spezielle Themen der Galoiskohomologie		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in ausgewählten Gebieten der algebraischen Zahlentheorie mittels Galoistheorie und kohomologischen Methoden			
Inhalt	Beispiele für mögliche Themen: (1) Arithmetische Dualitätstheorie: lokale Tate-Dualität, globale Tate-Poitou-Dualität, étale Kohomologie von Ganzzahlringen, Artin-Verdier Dualität. (2) Lokale und globale Klassenkörpertheorie. (3) Eulersysteme, (verallgemeinerte) Selmergruppen, Kolyvaginklassen. (4) Absolute Galoisgruppen mit beschränkter Verzweigung. (5) Inverse Galoistheorie: speziell für nilpotente und auflösbare Gruppen, Methode der Rigidität.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie I+II			
Prüfungs-modalitäten	Mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	Neukirch, Schmidt, Wingberg: Cohomology of number fields. Serre: Galois cohomology. Rubin: Euler systems. Malle, Matzat: Inverse Galois Theory. Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Proendliche Gruppen

Modul	**Code** MG24	**Name** Proendliche Gruppen		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4SWS + Übung 2SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über proendliche Gruppen			
Inhalt	- Grundlagen (topologische Gruppen, projektive Limiten, Vervollständigung, proendliche Gruppen als Galoisgruppen) Danach sind verschiedene Schwerpunktthemen möglich, etwa: - Freie proendliche Gruppen - Diskrete und proendliche Moduln, Dualität - Moduln über vollständigen Gruppenringen - Kohomologie von proendlichen Gruppen - Proendliche Gruppen von endlicher kohomologischer Dimension			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra I (MB1), topologische Grundkenntnisse			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Wilson: Profinite Groups Ribes, Zaleskii: Profinite Groups Neukirch, Schmidt, Wingberg: Cohomology of number fields Weitere Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Elliptische Kurven

Modul	**Code** MG25	**Name** Elliptische Kurven		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2SWS + Übung 2SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse der Theorie elliptischer Kurven			
Inhalt	• Grundlagen (Definition, Weierstraßgleichung, Gruppengesetz) Danach sind verschiedene Themengebiete möglich, etwa • elliptische Kurven über verschiedenen Grundkörpern • Modulraumtheorie elliptischer Kurven • Satz von Mordell-Weil • Néron-Modelle • komplexe Multiplikation			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in algebraischer Geometrie und kommutativer Algebra			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Silverman, Tate: Rational points on elliptic curves Silverman: The arithmetic of elliptic curves Silverman: Advanced topics in the arithmetic of elliptic curves Husemöller: Elliptic curves Milne: Elliptic curves Weitere Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Themen der Geometrie

Modul	Code	Name		
	MG26	Themen der Geometrie		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	6 CP	120h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4SWS			
Lernziel	Vertiefung der Kenntnisse in der Geometrie			
Inhalt	Mögliche Themen: z.B. Themen der geometrischen Gruppentheorie, der geometrischen Topologie, der Theorie der Modulräume, der Lie-Theorie, der symplektischen Geometrie, der komplexen Geometrie oder auch der geometrischen Analysis			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Differentialgeometrie I+II (MG15, MG16)			
Prüfungsmodalitäten	Mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Komplexe Räume

Modul	**Code** MG27	**Name** Komplexe Räume		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS Übung 2 SWS			
Lernziel	garbentheoretische kohomologische Funktionentheorie mehrerer Veränderlicher			
Inhalt	Im ersten Teil der Vorlesung wird eine Einführung in die lokale Funktionentheorie mehrerer Veränderlicher gegeben bis hin zu den Kohärenzsätzen. Danach soll die kohomologische Theorie der Steinschen Räume behandelt werden und insbesondere die berühmten Theoreme A und B von Cartan bewiesen werden. Als Anwendung werden die klassischen Cousinschen Probleme behandelt. Schließlich sollen noch kompakte komplexe Räume, insbesondere Endlichkeitssätze behandelt werden			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in Topologie, Funktionentheorie und Algebra, Garbentheorie und Kohomologie			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Ein Skript liegt vor. Als Vorbereitung empfehle ich mein Skript “Riemann Surfaces”, vor allem die einleitenden Teile über Garbentheorie und ihre Kohomologie. Es gibt einige Klassiker, Gunning Rossi, Complex Spaces, Grauert Remmert, Coherent analytic sheaves u.a. Eine Literaturübersicht wird in der Vorlesung gegeben			

Geometrische Gruppentheorie

Modul	**Code** MG28	**Name** Geometrische Gruppentheorie		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Master Mathematik, BSc Mathematik			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Verständnis der grundlegenden Konzepte der geometrischen Gruppentheorie. Verständnis der Wechselwirkungen zwischen geometrischen Eigenschaften eines Raumes und Gruppenwirkungen auf dem Raum.			
Inhalt	Endlich erzeugte Gruppen und ihre Cayley-Graphen Gruppenwirkungen auf metrischen Räumen Quasi-Isometrien und Quasi-Isometrie-Invarianten Beispiele von Gruppen und deren Strukturtheorie: z.B. Hyperbolische Gruppen, Flächengruppen, Fuchsche Gruppen, Gitter in Liegruppen, arithmetische Gruppen, etc			
Vermittelte Kompetenzen	Methoden und Werkzeuge der geometrischen Gruppentheorie			
Teilnahme-voraussetzungen	Keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, Algebra, Analysis			
Prüfungs-modalitäten	Übungsaufgaben, schriftliche oder mündliche Prüfung. Genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Bridson-Haefliger: Metric spaces of non-positive curvature			

Étale Kohomologie

Modul	**Code** MG29	**Name** Étale Kohomologie		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in étaler Kohomologie und die Fähigkeit anschließend selbständig Literatur in diesem Bereich zu studieren.			
Inhalt	Étale Kohomologiegruppen von glatten, eigentlichen Varietäten über den rationalen Zahlen $\mathbf{Q}$ liefern die wichtigsten ℓ-adischen Darstellungen der absoluten Galoisgruppe von $\mathbf{Q}$. Dies erlaubt die Konstruktion von Galoisdarstellungen zu Modulformen, oder die Definition von L-Funktionen zu Varitäten. Beide sind grundlegend für zentrale Gebiete der arithmetischen Geometrie. Ziel der Vorlesung ist eine Einführung in die Theorie der étalen Garben und deren Kohomologie. Dabei soll zumindest grundsätzlich geklärt werden, welche Rolle die étale Kohomologie bei verschiedenen Fragen der Arithmetik spielt, z.B. bei den Weil-Vermutungen oder dem großen Satz von Fermat.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Kenntnisse der Algebraischen Geometrie im Umfang einer 2-semestrigen Vorlesung Algebraische Zahlentheorie (optional)			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Pierre Deligne, *Cohomologie étale*, SGA $4\frac{1}{2}$ Eberhard Freitag, Reinhardt Kiehl, *Étale cohomology and the Weil conjectures* James Milne, *Étale Cohomology* Günter Tamme, *Introduction to étale cohomology*			

Abelian Varieties I

Module	Code MG30	Name Abelian Varieties I		
	Credit Points 4 CP	**Workload** 120 h	**Duration** 1 Semester	**Cycle**
Program	Mathematics Master, Physics Master			
Course type	Lecture course 2 h			
Objectives	Acquire basic working knowledge of abelian varieties			
Course description	Abelian varieties are smooth projective group varieties. They are the natural generalization of elliptic curves to arbitrary dimensions. They are among the most-studied objects in Algebraic and Arithmetic Geometry. They form the moduli of the base space for Siegel modular forms, and more generally of many Shimura varieties. They occur as Jacobians of curves and thereby play an important role in Faltings' proof of the Mordell Conjecture. Via their Galois representations on torsion points they are often linked to modular forms. The aim of the course is an introduction to abelian varieties. The challenge is that, unlike in the case of ellitpic curves, explicit equations are of little use and tools from Algebraic Geometry are needed. A continuation in the upcoming Summer term is planned.			
Skills to be acquired	Ability to solve basic (homework) problems and to present them in class.			
Prerequisites	none			
Helpful previous knowledge	Knowledge of Algebraic Geometry in the amount of a 2-semester course (e.g. most of Hartshorne I-IV) Algebraic Number Theory (optional)			
Grading policy	Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	James Milne, *Abelian Varieties* David Mumford, *Abelian Varieties*			

Fundamentalgruppen algebraischer Kurven

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG31</td><td colspan="3">Name
Fundamentalgruppen algebraischer Kurven</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
5 CP</td><td>Workload
150 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkenntnisse in der Theorie algebraischer Kurven, ihrer Überlagerungen und Fundamentalgruppen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Algebraische Kurven: affine und projektive Kurven, Morphismen und rationale Abbildungen, Punkte als Bewertungen des Funktionenkörpers, Vergleich mit dem Konzept der Riemannschen Fläche, Divisoren, Satz von Riemann-Roch, Geschlecht einer Kurve
Überlagerungen von Kurven: Überlagerungen, Verzweigung, Riemann-Hurwitz-Formel, topologische und algebraische Fundamentalgruppe, Riemannscher Existenzsatz, Vergleich der Fundamentalgruppen

Danach sind verschiedene Themengebiete möglich, etwa:
– Satz von Belyi, Kinderzeichnungen
– Rigidität, Hilbert-Irreduzibilität, inverse Galoistheorie</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Algebra I, II. Für Teile der Vorlesung können auch funktionentheoretische Grundkenntnisse hilfreich sein.</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">W. Fulton: Algebraic Curves
T. Szamuely: Galois Groups and Fundamental Groups
H. Völklein: Groups as Galois Groups

Weitere Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekanntgegeben.</td></tr>
</table>

Schnitttheorie

Modul	Code MG32	Name Schnitttheorie		
Umfang	**Leistungspunkte** 5CP	**Workload** 150h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 4SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in algebraischer Geometrie			
Inhalt	Die Vorlesung *Schnitttheorie* enthält vertiefende Themen der algebraischen Geometrie: (1) Algebraische Zykeln auf Schemata, rationale Äquivalenz, Chowgruppen, Chernklassen. (2) Deformation zum Normalenkegel, Schnittprodukt, Schnittmultiplizitäten, Chowring. (3) Grothendieck–Riemann–Roch. (4) Anwendungen in der algebraischen Geometrie.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Geometrie I+II (MG3+4)			
Prüfungs-modalitäten	Schriftliche oder mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	Fulton: Intersection Theory Eisenbud und Harris: 3264 & All That — Intersection Theory in Algebraic Geometry Serre: Algèbre locale. Multiplicités. Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Borcherds Produkte

Modul	Code MG33	Name Borcherds Produkte		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übungen 2 SWS			
Lernziel	Grundkentnisse über automorphe Produkte			
Inhalt	Bei Borcherds Produkten handelt es sich um Produktdarstellungen bestimmter automorpher Formen, welche durch eine Liftung aus (vektorwertigen) elliptischen Modulformen hervorgehen. Diese von R. E. Brocherds entdeckte Konstruktion hat inzwischen vielfältige Anwendungen, von der Arithmetik über die Geometrie bis hin zur theoretischen Physik. Mögliche Hauptthemen sind: I. Gitter und quadratische Formen. II. Die Weildarstellung, vektorwertige Modulformen III. Thetaliftungen (allgemein: Grundlagen, Howe-Dualität), der singuläre Thetalift und dessen Regularisierung. IV. Symmetrische Gebiete für die orthogonale Gruppe $\mathrm{O}(2, l)$, Grundbegriffe zu orthogonalen Modulformen. V. Die multiplikative Liftung von Borcherds: Borcherds Produkte, Heegner-Divisoren und Weyl-Kammern. Nach Möglichkeit sollen auch einige Beispiele und Anwendungen skizziert werden.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekannt gegeben.			

Algebraische D-Moduln

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG34</td><td colspan="3">Name
Algebraische D-Moduln</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundlagen der Theorie algebraischer D-Moduln</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">1. Die Garbe der Differentialoperatoren, direkte und inverse Bilder von D-Moduln, Kashiwaras Äquivalenz
2. Kohärente D-Moduln, gute Filtrationen, charakteristische Zykel und holonome D-Moduln
3. Reguläre holonome D-Moduln
4. Die Riemann-Hilbert-Korrespondenz
5. Ausblick in ausgewählte Anwendungen</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Grundkenntnisse über kohärente Garben, etwa aus einer Vorlesung über algebraische Geometrie oder komplexe Räume</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Schriftliche oder mündliche Prüfung, genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">R. Hotta, K. Takeuchi, T. Tanisaki, D-Modules, perverse sheaves and representation theory, Birkhäuser (2008).
A. Borel et al., Algebraic D-Modules, Academic Press (1987).
J.-E. Björk, Analytic D-Modules and applications, Kluwer (1993).
Weitere Literatur wird in der Vorlesung genannt.</td></tr>
</table>

L-Reihen

Modul	Code MG35	Name L-Reihen		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übungen 2 SWS			
Lernziel	Kenntnisse in der vertieften Funktionentheorie und ihrer Anwendung in der Arithmetik			
Inhalt	Dieser Modul befasst sich mit Aspekten von L-Reihen und ihren Anwendungen. Mögliche Themen sind u.a.: - spezielle L-Funktionen (z.B. Dirichlet-, Hecke-, Artin-, Rankin-Selberg-L-Funktionen oder zu Spitzenformen, automorphen Darstellungen, abelschen Varietäten) - Modularität - axiomatische Zugänge			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie I, vertiefte Kenntnisse durch eine weitere Veranstaltung von Vorteil			
Prüfungs-modalitäten	Schriftliche oder mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	wird vom Dozenten bekannt gegeben			

Kompakte Lie-Gruppen und ihre Darstellungen

Modul	**Code**	**Name**		
	MG36	Kompakte Lie-Gruppen und ihre Darstellungen		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	5 CP	150 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in der Darstellungstheorie kompakter Lie-Gruppen			
Inhalt	**Kompakte Lie-Gruppen:** Lie-Gruppen und Lie- Algebren, Killing-Form, maximale Tori und Weyl- Gruppe, Wurzeln und Gewichte, Wurzelsysteme, Dynkindiagramme, Klassifikation kompakter Lie- Gruppen. **Darstellungstheorie:** Irreduzible Darstellungen, Schurs Lemma, Charaktere und Orthogonalitätsrelationen, Satz von Peter-Weyl, Moduln mit höchstem Gewicht, Weyl-Charakterformel, Freudenthal Multiplizitätsformel, Clebsch-Gordan Koeffizienten, Satz von Borel-Weil.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	Keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Analysis 1+2, lineare Algebra 1+2, elementare Topologie			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	B. Simon, Representations of finite and compact groups W. Fulton, J. Harris, Representation theory J.P. Serre, Complex semisimple Lie algebras A. Knapp, Representation theory of semisimple Lie groups, an overview based on examples T. Broecker, T. tom Dieck, Representations of compact Lie groups			

Geometry and topology of surfaces

Module	Code MG37	Name Geometry and topology of surfaces		
	Credit Points 6 CP	**Workload** 180 h	**Duration** 1 semester	**Cycle**
Program	Mathematics Master, Physics Master			
Course type	Lecture course 4 hours			
Objectives	Learn the basics of geometric topology and low dimensional topology starting from the simplest example (surfaces), understand how geometric and topological properties are related, apply tools already learned in calculus classes to geometric problems.			
Course description	The course is about the theory of surfaces, as developed by Thurston in the end of the 70s. The main aim is to prove Thurston's theorem of classification of homeomorphisms of surfaces up to isotopy, in principle a purely topological statement. To prove this theorem Thurston used geometric structures on surfaces, showing that geometric and topological properties are intimately related. In the course we will introduce some geometric structures on surfaces, mainly foliations and hyperbolic structures, we will classify them and we will show how they are useful to solve the purely topological problem stated above.			
Skills to be acquired	Ability to apply some techniques learned in calculus to solve geometric problems, ability to solve homework problems.			
Prerequisites	None.			
Helpful previous knowledge	Calculus and linear algebra.			
Grading policy	Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	Fathi, Laudenbach, Poénaru : Thurston's Work on Surfaces			

Einführung in die Theorie der Kreisteilungskörper

Modul	**Code** MG38	**Name** Einführung in die Theorie der Kreisteilungskörper		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2SWS + Übung 2SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse der Theorie der Kreisteilungskörper			
Inhalt	Verschiedene Themengebiete sind möglich, etwa • p-adische L-Funktionen • Strukturtheorie für Iwasawa-Moduln • $\mathbb{Z}_p$-Erweiterungen • Theorem von Stickelberger • Spiegelungssätze • Theorem von Herbrand • Hauptvermutung der Iwasawa-Theorie • Theorem von Washington • Satz von Thaine			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in kommutativer Algebra und algebraischer Zahlentheorie			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Washington: Introduction to Cyclotomic Fields Lang: Cyclotomic Fields I+II Coates, Sujatha: Cyclotomic Fields and Zeta Values Weitere Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Abelian Varieties II

Module	Code	Name		
	MG39	Abelian Varieties II		
	Credit Points	**Workload**	**Duration**	**Cycle**
	4 CP	120 h	1 Semester	
Program	Mathematics Master, Physics Master			
Course type	Lecture course 2 h			
Objectives	Learn Honda–Tate theory of abelian varieties over finite fields			
Course description	Honda–Tate theory gives an elegant description of the semisimple category of *abelian varieties up to isogeny* over a finite field k. The main results says that there is natural bijection between k–isgeny class of simple abelian varieties A and Galois conjugacy classes of Weil q-numbers (these are algebraic integers whose complex absolute values are all equal to $q^{1/2}$). Moreover the endomorphism algebra $\mathrm{End}_k(A) \otimes \mathbf{Q}$ for A simple is a division ring that can be caracterized completely from the q–Weil number associated to A. The proof of this result involves several techniques and auxiliary results, interesting in their own, that we will have the chance to study. For example we need to understand simple algebras over number fields, ℓ–divisible groups and their Dieudonné modules, and CM abelian varieties over the complex numbers (which enter in the proof of the above bijection!).			
Skills to be acquired	Ability to solve basic (homework) problems.			
Prerequisites				
Helpful previous knowledge	Content of Abelian Varieties I (including the relevant algebraic geometry) is expected. Algebraic Number Theory (optional)			
Grading policy	Solution of exercises and a final exam in oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	F. Oort, *Abelian varieties over finite fields* C.-L. Chai, B. Conrad, F. Oort, *Complex Multiplication and Liftings Problems* J. Tate, *Classes d'isogénie des variétés abéliennes sur un corps fini* W. C. Waterhouse, *Abelian Varieties over finite fields* David Mumford, *Abelian Varieties*			

Galoiskohomologie I

Modul	**Code** MG40	**Name** Galoiskohomologie I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Master Mathematik, Lehramt Mathematik			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in ausgewählten Gebieten der algebraischen Zahlentheorie mittels Galoistheorie und kohomologischen Methoden			
Inhalt	Lokale und globale Klassenkörpertheorie. Lokale und Globale Dualität, Lokal-Global-Prinzien, Erweiterungen mit beschränkter Verzweigung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie I + II			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Neukirch/Schmidt/Wingberg: Cohomology of Number Fields Serre: Galois Cohomology			

Spezielle Werte von L- und Zeta-Funktionen

Modul	**Code** MG41	**Name** Spezielle Werte von L- und Zeta-Funktionen		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Master Mathematik, Lehramt Mathematik			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse über bekannte und vermutete Zusammenhänge zwischen Speziellen Werten von L- und Zeta-Funktionen und verschiedenen Kohomologietheorien.			
Inhalt	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Vermutungen über spezielle Werte von Hasse-Weil L-Funktionen von Varietäten über Zahlkörpern, bzw. von Zeta-Funktionen arithmetischer Schemata, sowie in die dabei relevanten Kohomologie-Theorien (Motivische Kohomologie, etale Kohomologie, p-adische Hodge-Theorie und Weil-etale Kohomologie).			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie, Algebraische Geometrie			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Wird in der Vorlesung bekannt gegeben.			

Auflösung von Singularitäten

Modul	Code	Name		
	MG42	Auflösung von Singularitäten		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	5 CP	150 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Kenntnisse über Auflösungen von Singularitäten durch Aufblasungen oder Alterationen			
Inhalt	Mögliche Themengebiete sind: • *Auflösung von Singularitäten durch Aufblasungen*: Aufblasungen, birationale Transformationen, Auflösung von Singularitäten für Kurven und Flächen, maximaler Kontakt, markierte Ideale, Auflösungsalgorithmus, eingebettete Auflösung von Singularitäten • *Auflösung von Singularitäten durch Alterationen*: Alterationen, Faserungen, stabile punktierte Kurven, Drei-Punkt-Lemma, Auflösungsalgorithmus			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Geometrie im Umfang von Hartshorne, Algebraic Geometry, 2. Kapitel			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	S.D. Cutkosky: *Resolution of Singularities* H. Hauser et al. (eds.): *Resolution of Singularities* H. Hironaka, *Resolution of singularities of an algebraic variety over a field of characteristic zero*, Ann. Math. **79** (1964), 109–326 A. J. de Jong, *Smoothness, semi-stability and alterations*, Publ. Math. IHÉS **83** (1996), 51–93 J. Kollár: *Lectures on Resolution of Singularities* Weitere Literatur wird gegebenenfalls in der Vorlesung bekanntgegeben.			

Darstellungen und Invarianten

Modul	**Code**	**Name**		
	MG43	Darstellungen und Invarianten		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	4 CP	120 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Studierende der Mathematik und Physik (Bachelor/Master)			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Vorlesung/Übung 1 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Invariantentheorie klassischer Lie-Gruppen. Kenntnisse wichtiger Beispiele (insb. zur Konstruktion von *allgemeineren* Invarianten).			
Inhalt	Eins der *"generischsten"* Probleme der Mathematik ist das Klassifizieren von Objekten bis auf Äquivalenz. In vielen Fällen sind die Äquivalenzen durch die Operation von einer Lie-Gruppe G auf den Objekten gegeben – z.B. von $\mathrm{GL}_n(K)$, $\mathrm{O}_n(K)$, $\mathrm{Sp}_n(K)$ für $K = \mathbf{R}, \mathbf{C}$ (von klassischem Lie-Typ). Ist G die Gruppe der reellen/komplexen Punkten einer klassischen, linearen algebraischen Gruppe, dann besitzt dieser als Untergruppe einer $\mathrm{GL}_N(K)$ eine reguläre Darstellung auf einem N dimensionalen K-Vektorraum V. Das Hauptziel dieser Vorlesung ist das Studium der *Invarianten* $(W_1^{\otimes a} \otimes W_2^{\vee \otimes b})^G$, wobei die W_i verschiedene G-Darstellungen sein werden, die i.A. aus V konstruiert sind. Wir beschreiben die Erzeuger ("Erster Fundamentalsatz", FFT) und die Relationen ("Zweiter Fundamentalsatz", SFT). Anhand von interessanten Beispielen werden wir am Ende der Vorlesung den Bogen zum ursprünglich erwähnten Problem zum Teil schließen. **Themen:** Höchst-Gewichtstheorie; Darstellungen assoziativer Algebren, Doppel-Kommutator-Satz, Schur-Weyl Dualität, Capellis Theorem; Invariantentheorie klassischer Gruppen, FFT, SFT, Howe-Dualität.			
Nützliche Vorkenntnisse	Kenntnisse in Lie-Gruppen und -Algebren. (Optional: Lineare algebraische Gruppen.)			
Prüfungs-modalitäten	Schriftliche Klausur oder mündliche Prüfung (mit einer möglichen Wiederholung) über den Vorlesungsstoff bzw. die Übungen.			
Nützliche Literatur	Roe Goodman, Nolan R. Wallach, *Symmetry, representations, and invariants*, GTM 255 (2009), Springer Verlag Hermann Weyl, *The classical groups – their Invariants and Representations*, (1997), Princeton Academic Press William Fulton, Joe Harris, *Representation theory*, GTM 129 (2004), Springer Verlag			

Moduli von Vektorbündeln

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG44</td><td colspan="3">Name
Moduli von Vektorbündeln</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Einführung in die Geometrie von Modulräumen
am Beispiel semistabiler Vektorbündel</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Nach einer kurzen Einführung in die Theorie von Modulräumen werden in der Vorlesung stabile Vektorbündel auf algebraischen Varietäten studiert. Dabei werden folgende Themen behandelt:

1. Grobe und feine Modulräume
2. Mumford’s Geometrische Invariantentheorie
3. Semistabile Vektorbündel
4. Konstruktion des Modulraumes
stabiler Vektorbündel auf Kurven
5. Der Satz von Narasimhan und Seshadri

Je nach Vorkenntnissen und zeitlicher Planung sind verschiedene weitere Themen möglich, etwa Verallgemeinerungen für prinzipale Bündel, der Fall höherdimensionaler Varietäten, ein Einblick in die nichtabelsche Hodge-Theorie etc.</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Grundkenntnisse aus der algebraischen Geometrie</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">schriftliche oder mündliche Prüfung,
die genauen Modalitäten werden in der Vorlesung genannt</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">Seshadri: Fibrés vectoriels sur les courbes algébriques
Le Potier: Lectures on vector bundles
Bradlow et al: Moduli spaces and vector bundles
Huybrechts and Lehn: The geometry of moduli spaces of sheaves</td></tr>
</table>

Komplexe Hodge-Theorie

Modul	**Code** MG 45	**Name** Komplexe Hodge-Theorie		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS Übung 2 SWS			
Lernziel	Differentialgeometrische Methoden in der komplexen Analysis			
Inhalt	Im ersten Teil der Vorlesung wird der Dolbeault Komplex behandelt bis hin zur Hodge-Zerlegung der Kohomologie. Danach werden die Kähler-Relationen studiert. Anschließend wird die Theorie auf Vektorraumbündel ausgeweitet, und es wird der Kodairasche Verschwindungssatz bewiesen. Ein Hauptziel ist es, den Kodairaschen Einbettungssatz zu beweisen. Er stellt ein Kriterium dar, wann eine kompakte komplexe Mannigfaltigkeit projektiv algebraisch ist.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in Differentialgeometrie und Funktionentheorie (eine Variable genügt)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Ein Skript liegt vor. Es gibt einen Klassiker, O. Wells, Differential Analysis on Complex Manifolds (Graduate Texts in Mathematics). Eine Literaturübersicht wird in der Vorlesung gegeben.			

Darstellungen und Invarianten II

Modul	**Code** MG46	**Name** Darstellungen und Invarianten II		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Studierende der Mathematik und Physik (Master)			
Lehrform	Vorlesung 3 SWS + Vorlesung/Übung 1 SWS			
Lernziel	Tiefere Einblicke in Invariantentheorie klassischer Lie-Gruppen.			
Inhalt	In der ersten Vorlesung dieser Reihe, *Darstellungen und Invarianten (I)*, hat man die Grundkenntnisse in Invariantentheorie klassischer Gruppen erworben, insbesondere Polynomiale- bzw. Tensorinvarianten klassischer Gruppen studiert. Das Hauptziel dieser zweiten, vierstündigen Vorlesung ist das Studium der Tensordarstellungen klassischer Gruppen – ungefähr jede zweite Woche wird man in dem zweiten Vorlesungstermin der betreffenden Woche Übungsaufgaben sowie relevante Beispiele diskutieren. Die unten angegebenen Themen werden primär nach dem Buch von Goodman und Wallach (S.u.) behandelt, aber auch Forschungsartikel, fortgeschrittene Literatur sowie eigene Darstellungen werden herangezogen, um ausgewählte Themen noch detaillierter zu behandeln. **Themen:** Irreduzible Darstellungen klassischer Gruppen, Howe-Dualität, Capelli-Identitäten; Charakterformeln (algebraischer und analytischer Zugang); Tensordarstellungen, invariante Differentialoperatoren, invariante (pluri-) harmonische und sphärische Polynome.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Kenntnisse in Lie-Gruppen und -Algebren. (Optional: Lineare algebraische Gruppen.) Höchstgewichtstheorie.			
Prüfungs-modalitäten	Mündliche Prüfung (mit einer möglichen Wiederholung) über den Vorlesungsstoff bzw. die Übungen.			
Nützliche Literatur	Roe Goodman, Nolan R. Wallach, *Symmetry, representations, and invariants*, GTM 255 (2009), Springer Verlag M. Kashiwara, M. Vergne, *On the Segal-Shale-Weil representations and harmonic polynomials*, Inventiones Math. 44, 1–47 (1978) Sigurdur Helgason, *Groups and geometric analysis*, Mathematical Surveys and Monographs Vol. 83, AMS (2000)			

Galoiskohomologie II

Modul	**Code**	**Name**		
	MG47	Galoiskohomologie II		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Master Mathematik, Lehramt Mathematik			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in ausgewählten Gebieten der algebraischen Zahlentheorie mittels Galoistheorie und kohomologischen Methoden			
Inhalt	Die Vorlesung bringt vertiefte Kapitel zu lokaler und globaler Dualitätstheorie. Mögliche Themenbereiche sind: Globale Dualität über Zahlkörpern, Hasse-Prinzipien, Der Satz von Grundwald-Wang, Erweiterungen mit beschränkter Verzweigung, Die Leopoldt-Vermutung, Strukturtheorie lokaler Galoisgruppen, Konstruktion globaler Erweiterungen mit und ohne lokale Vorgaben			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie I + II, Galoiskohomologie I			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Neukirch/Schmidt/Wingberg: Cohomology of Number Fields Serre: Galois Cohomology			

Bruhat-Tits Gebäude

Modul	**Code**	**Name**		
	MG48	Bruhat-Tits Gebäude		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über Bruhat-Tits Gebäde			
Inhalt	Die Theorie der Gebäude wurde von Jacques Tits eingeführt. Sie bietet einen einheitlichen Rahmen, um algebraische Gruppen über beliebigen Körpern zu beschrieben. Ihre Kombinatorik erlaubt es Präsentationen gewisser Arithmetischer Gruppen und deren Kohomologie zu beschreiben. Hierdurch werden Darstellungen und Kohomologie auch algorithmisch zugänglich. Die Vorlesung will einen elementaren Zugang in das Thema geben. Algebraische Gruppen werden nur der Form klassischer Gruppen exemplarisch behandelt. Algorithmen und Kohomologie könnten Thema eines weiterführenden Seminars sein. **Themen:** Endliche Spiegelungsgruppen, Coxetergruppen, Coxeter-Komplexe, Gebäude, Gruppenoperationen auf Gebäuden, BN-Paare, Euklidische Spiegelungsgruppen. Eventuell: Harmonische Koketten, Präsentationen arithmetischer Gruppen.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, Algebra 1, Grundkenntnisse in Topologie und affiner Geometrie			
Prüfungs-modalitäten	Lösen von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	P. Abramenko, K.S. Brown: Buildings K.S. Brown: Buildings P. Garrett: Buildings and Classical Groups			

Homotopietheorie

Modul	Code	Name		
	MG49	Homotopietheorie		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	5 CP	150h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2SWS + Übung 2SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse der Homotopietheorie			
Inhalt	Faserungen und Kofaserungen, Homotopiegruppen, Hindernistheorie, Eilenberg-MacLane Räume und Postnikov-Türme, Kohomologie-Operationen, klassifizierende Räume, Lokalisierung, Elemente der rationalen Homotopietheorie			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in algebraischer Topologie und homologischer Algebra.			
Prüfungs-modalitäten	Übungsaufgaben, schriftliche oder mündliche Prüfung. Genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur	J.F.Adams, Stable homotopy an generalized homology, University of Chicago Press P. Griffiths, J.Morgan, Rational homotopy theory and differential forms, Progress in Mathematics 16, Birkhäuser G.W.Whitehead, Elements of homotopy theory, GTM 61, Springer			

Quadratische Formen und Zetafunktionen

Modul	Code	Name		
	MG50	Quadratische Formen und Zetafunktionen		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	5 CP	150	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik MSc, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übungen 2 SWS			
Lernziel	Erwerb von Kenntnissen über quadratische Formen, Erlernen von Konzepten der Arithmetik an Beispielen			
Inhalt	Dieser Modul befasst sich mit der Theorie der quadratischen Formen und ihren Zetafunktionen. Dabei werden einige Konzepte der Zahlentheorie wie Lokal-Global-Prinzipien und Zetafunktionen an deren Beispiel erläutert. Mögliche Inhalte sind u.a.: - quadratische Formen über endlichen Körpern, Bewertungsringen, $\mathbb{Q}$, $\mathbb{Z}$ - Clifford-Algebren - Wittgruppe und Invarianten - Schwache und starke Approximation - unimodulare Gitter - Klassen und Geschlechter - orthogonale Gruppen, Spingruppen - binäre quadratische Formen und quadratische Zahlkörper - Tamagawa-Maß und Zetafunktionen - Theta-Reihen und Hecke-Operatoren			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebra I, weiteres Vorwissen kann ggf. vom Dozenten vorausgesetzt werden			
Prüfungsmodalitäten	Schriftliche oder mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Kneser: Quadratische Formen, Springer, 2002; weitere Literatur wird vom Dozenten bekannt gegeben			

Torische Geometrie

Modul	**Code** MG51	**Name** Torische Geometrie		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über torische Varietäten			
Inhalt	Torische Varietäten sind eine spezielle Klasse von algebraischen Varietäten, die aus kombinatorischen Objekten konstruiert werden können. Sie spielen in verschiedenen Bereichen der algebraischen/symplektischen Geometrie eine wichtige Rolle, da man für sie viele geometrische Invarianten explizit berechnen kann. Die Hauptthemen sind: - Konstruktion von torischen Varietäten über Fächer, Polytope und symplektische Reduktion - Divisoren und Geradenbündel auf torischen Varietäten - Kohomologiering einer torischen Varietät			
Vermittelte Kompetenzen	Selbstständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse aus der algebraischen Geometrie und/oder der symplektischen Geometrie			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	D. Cox, J. Little, H. Schenck, *Toric varieties* W. Fulton, *Introduction to toric varieties* T. Oda, *Convex bodies and algebraic geometry*			

Einführung in die Theorie automorpher Formen

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG52</td><td colspan="3">Name
Einführung in die Theorie automorpher Formen</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkentnisse über die Theorie automorpher Formen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Grundlagen der Theorie elliptischer Modulformen werden zunächst funktionentheoretisch entwickelt, um dann auf Adel-Gruppen erweitert zu werden. Hierbei kommen zahlentheoretische und darstellungstheoretische Methoden ins Spiel. Bei diesen soll jedoch in Wesentlichen eine Beschränkung auf die rationalen Zahlen als Grundkörper erfolgen.

Mögliche Themen sind:

I. Klassischer Zugang zur Theorie elliptischer Modulformen, Hecke-Theorie und Dirichlet-Reihen zu Modulformen
II. Darstellungstheorie der speziellen linearen Gruppe
III. Nicht-archimedische Methoden:
p-adische Zahlen, Adele und Idele, harmonische Analysis auf Adel- und Idel-Gruppen
IV. L-Funktionen: Tate's Thesis
V. Automorphe Darstellungen
VI. Automorphe L-Funktionen</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">A. Deitmar: Automorphe Formen
D. Bump: Automorphic Forms and Representations</td></tr>
</table>

Garbenkohomologie

Modul	**Code** MG53	**Name** Garbenkohomologie		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS			
Lernziel	Grundlagen der Kohomologie von Garben			
Inhalt	Die Vorlesung soll eine Einführung in die Kohomologie von Garben geben. Mögliche Themen sind: - Triangulierte und derivierte Kategorien - Direkte und inverse Bilder - Abgeleitete Funktoren - Poincaré-Verdier Dualität - Konstruierbare und perverse Garben - Verschwindungszykeln - Topologie von Singularitäten			
Vermittelte Kompetenzen	Selbstständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse aus der algebraischen Topologie und/oder algebraischen Geometrie sind von Vorteil			
Prüfungs-modalitäten	Schriftliche oder mündliche Prüfung, genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	A. Dimca, *Sheaves in Topology* B. Iversen, *Cohomology of sheaves* M. Kashiwara, P. Schapira, *Sheaves on manifolds*			

Lorentzmannigfaltigkeiten

Modul	**Code** MG54	**Name** Lorentzmannigfaltigkeiten		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in Riemann'scher und Lorentz'scher Geometrie			
Inhalt	Die Vorlesung Lorentzmannigfaltigkeiten gibt eine Einführung in die Theorie der pseudo-Riemann'schen Mannigfaltigkeiten, wozu neben den eigentlichen Riemann'schen Mannigfaltigkeiten auch die Lorentzmannigfaltigkeiten gehören, durch welche in der allgemeinen Relativitätstheorie die Raumzeit modelliert wird.. Hauptthemen sind: I. Riemannsche Mannigfaltigkeiten, Tensoren II. Zusammenhänge und Geodätische III. Riemann'scher Krümmungstensor IV. Explizite Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen V. Urknallmodell, Modelle für schwarze Löcher			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Topologie, Analysis I und II, Lineare Algebra I und II			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Ein Skript ist in Vorbereitung			

Étale Kohomologie II

Modul	Code MG55	Name Étale Kohomologie II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefende Kenntnisse über étale Kohomologie.			
Inhalt	Die Vorlesung Étale Kohomologie II ist eine Weiterführung der Vorlesung Étale Kohomologie (MG29). Sie soll auf Themengebiete eingehen, die von der vorangehenden Veranstaltung nicht abgedeckt wurden. Mögliche Themen sind etwa • Basiswechsel und Endlichkeitssätze, • kohomologische Reinheit, • Dualität, • ℓ-adische Garben, • Beweis der Weil-Vermutungen.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Étale Kohomologie (MG29)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur- bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Pierre Deligne, *Cohomologie étale*, SGA 4 1/2 Eberhard Freitag, Reinhardt Kiehl, *Étale cohomology and the Weil conjectures* James Milne, *Étale Cohomology* Reinhardt Kiehl, Rainer Weissauer, *Weil Conjectures, Perverse Sheaves and l'adic Fourier Transform*			

Riemannsche Flächen

Modul	**Code** MG56	**Name** Riemannsche Flächen		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in der Theorie der Riemannschen Flächen			
Inhalt	Die Vorlesung Riemannsche Flächen enthält das Grundwissen über Riemannsche Flächen. Hauptthemen sind: Überlagerungstheorie, Riemannsche Flächen zu gegebenen Funktionen, Garben, Differentialformen, Kohomologie, Satz von Riemann-Roch, Serre'scher Dualitätssatz, Cousin-Verteilungen, Mittag-Leffler-Verteilungen, Großer Riemann'scher Abbildungssatz, Uniformisierung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionentheorie II			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	O. Forster: Riemannsche Flächen H. Farkas, I. Kra: Riemann Surfaces			

Modulformen einer Variablen

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG57</td><td colspan="3">Name
Modulformen einer Variablen</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Vertiefte Kenntnisse in der Theorie der Modulformen einer Variablen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Mögliche Themen sind etwa
Modulformen auf Kongruenzgruppen. Theorie der Neuformen
L-Reihen, Umkehrsätze
Rankin-Selberg-Methode und Anwendungen
Spurformel à la Eichler-Selberg
Modulformen halbganzen Gewichts, Liftungen
Größenabschätzungen von Fourierkoeffizienten
Vorzeichenwechsel von Fourierkoeffizienten</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Funktionentheorie I(MB3), Funktionentheorie II(MB4)</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben bzw. mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Topologie singulärer Räume

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG58</td><td colspan="3">Name
Topologie singulärer Räume</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkenntnisse in der Topologie singulärer Räume</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung soll eine Einführung in die Topologie von singulären Räumen geben. Mögliche Themen sind:
- Whitney Stratifizierungen
- Schnitt-Kohomologie
- Konstruierbare und perverse Garben
- Verschwindungszykeln
- Topologie von Singularitäten</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbstständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Grundkenntnisse aus der Garbenkohomologie</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Schriftliche oder mündliche Prüfung, genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">A. Borel, Intersection Cohomology
M. Kashiwara, P. Schapira, Sheaves on manifolds
J. Schürmann, Topology of Singular Spaces and Constructible Sheaves</td></tr>
</table>

Geometry of Surfaces and their Dynamics

Module	**Code** MG59	**Name** Geometry of Surfaces and their Dynamics		
	Credit Points 5 CP	**Workload** 150 h	**Duration** 1 semester	**Cycle**
Program	Mathematics Master			
Form of teaching	Lecture course 2 hours + exercise session 2 hours			
Objectives	Learn Hyperbolic Geometry on Surfaces and study the behaviour of their geodesic flow and horocyclic flow.			
Course description	The following topics will be covered in this course: • Hyperbolic Geometry : Upper half-plane model, Poincaré disc model, • Quotient surfaces, • Birkhoff Ergodic Theorem, • Ergodicity and Mixing properties of the geodesic flow and the horocyclic flow.			
Learning outcomes	Ability to solve homework problems and present them in exercise sessions.			
Prerequisites	none			
Suggested previous knowledge	Probability/Measure Theory			
Grading policy	Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	• Fuchsian Groups by Svetlana Katok, • A Short and Dirty Introduction to Hyperbolic Surfaces by François Labourie.			

RTG Lecture “Asymptotic invariants and limits of groups and spaces”

Module	**Code** MG60	**Name** RTG Lecture “Asymptotic invariants and limits of groups and spaces”		
	Credit Points 4 CP	**Workload** 120 h	**Duration** 1 Semester	**Cycle**
Program	Master and BSc Mathematics			
Form of teaching	Lecture 2h (twice every 2 weeks), in cooperation with KIT			
Objectives	Introduction to current research in asymptotic invariants, deformations, and limits of geometric spaces			
Content	Potential Topics include: l^2-Invariants, Harmonic maps, Bounded cohomology and its applications, Introduction to higher Teichmüller theory, Asymptotic cones, Algebraic groups and rigidity theory, Boundaries of groups, Convergence of manifolds and metric spaces, Lattices and invariant random subgroups, Compactifications of symmetric and locally symmetric spaces			
Learning outcomes	Acquire enough background in asymptotic geometry and deformation spaces to start research projects in this area			
Prerequisites	None			
Suggested previous knowledge	Linear Algebra, Algebra, Analysis, Differential Geometry			
Grading Policy	Oral exam.			
Suggested Literature				

Unitäre Modulformen

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MG61</td><td colspan="3">Name
Unitäre Modulformen</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Grundkentnisse über Modulformen zu unitären Gruppen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung soll in die Theorie der Modulformen für indefinite unitäre Gruppen einführen. Im Gegensatz zu den aus der Funktionentheorie bekannten elliptischen Modulformen werden hier von vornherein zahlentheoretische, geometrische und darstellungstheoretische Überlegungen eine wichtige Rolle spielen. Nach der Konstruktion der symmetrischen Gebiete, für den vornehmlich zu behandelnden Fall der Signatur $(1, n)$ sind dies sog. Ballquotienten, soll die grundlegenden Theorie der Modulformen entwickelt und auch ein Einblick in fortgeschrittenere Themen gegeben werden, etwa (Theta-)Liftungen.

Mögliche Themen sind:
I. Hermitesche Räume und Gitter
II. Konstruktion von symmetrischen Gebieten
III. Die (kanonische) toroidale Komaktifizierung des Ballquotienten, Aktion der Heisenberggruppe
IV. Definition und Eigenschaften unitärer Modulformen
V. Fourier-Jacobi-Entwicklungen und Thetafunktionen
VI. Konstruktion von Modulformen durch Theta-Liftung</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Funktionentheorie I (MB3), Funktionentheorie II (MB4)</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">Wird in der Vorlesung bekannt gegeben</td></tr>
</table>

Algebraische Flächen

Modul	**Code** MG62	**Name** Algebraische Flächen		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS			
Lernziel	Einführung in die Geometrie algebraischer Flächen			
Inhalt	Die Vorlesung soll einen Einblick in die Geometrie algebraischer Flächen geben. Mögliche Themen sind dabei 1. Beispiele algebraischer Flächen 2. Schnittheorie auf Flächen 3. Castelnuovo-Kriterium 4. Albaneseabbildungen 5. Enriques-Kodaira Klassifikation Je nach Vorkenntnissen der Teilnehmer kann dies als Einführung in die algebraische Geometrie dienen, oder es können weiterführende Themen wie die Klassifikation algebraischer Flächen in positiver Charakteristik, Modulräume, Flächen vom allgemeinen Typ und K3-Flächen behandelt werden.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich und die Fähigkeit zum Studium weitergehender Literatur			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse aus der algebraischen Geometrie sind hilfreich, können aber auch in der Vorlesung bereitgestellt werden.			
Prüfungsmodalitäten	Schriftliche oder mündliche Prüfung, genaue Modalitäten werden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	N. Badescu, *Algebraic surfaces* A. Beauville, *Complex algebraic surfaces* W. Barth et al., *Compact complex surfaces* M. Reid, *Chapters on algebraic surfaces*			

Étale Kohomologie III

Modul	**Code** MG63	**Name** Étale Kohomologie III		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 150 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS			
Lernziel	Anwendung étaler Kohomologie auf die Weil-Vermutungen.			
Inhalt	Die Vorlesung Étale Kohomologie III ist eine Weiterführung der Vorlesung Étale Kohomologie II (MG55). Die in den vorangehenden Veranstaltungen entwickelten Techniken sollen auf die Weil-Vermutungen angewendet werden. Mögliche Themen sind etwa • ℓ-adische Garben, • Weil Garben, • der Gewichts-Formalismus, • Beweis der Weil-Vermutungen, • Beweis von Weil II.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Nacharbeiten der Vorlesung.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Étale Kohomologie (MG29) und Étale Kohomologie II (MG??)			
Prüfungs-modalitäten	Mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Pierre Deligne, *Cohomologie étale*, SGA 4 1/2 Eberhard Freitag, Reinhardt Kiehl, *Étale cohomology and the Weil conjectures* Reinhardt Kiehl, Rainer Weissauer, *Weil Conjectures, Perverse Sheaves and l'adic Fourier Transform*			

L-Funktionen und ϵ-Konstanten I

Modul	**Code** MG64	**Name** L-Funktionen und ϵ-Konstanten I		
Umfang	**Leistungspunkte** 4-8 CP	**Workload** 120-240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt			
Lehrform	Vorlesung 2-4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in algebraischer Zahlentheorie			
Inhalt	Die Vorlesung *L-Funktionen und ϵ-Konstanten I* enthÃďlt die folgenden Hauptthemen : I. *Pontryagin-DualitÃďt und Fouriertransformation*: Poisson-Summationsformel II. *Zeta- und L-Funktionen globaler KÃűrper*: Dirichlet L-Reihen, Dedekindsche Zetafuntion, Hecke L-Reihen, Artin L-Reihen, DichtigkeitssÃďtze III. *Funktionalgleichung und ϵ-Konstanten*: "Tate's Thesis", Heckes Beweis			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algebraische Zahlentheorie			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	J.W.S. Cassels, A. Fröhlich: Algebraic Number Theory J. Neukirch: Algebraische Zahlentheorie S. Lang: Algebraic Number Theory H. Davenport: Multiplicative Number Theory E. Hecke: Collected Works W. Rudin: Fourier Analysis on Groups L. Loomis: An Introduction to abstract Harmonic Analysis			

Nichtlineare Funktionalanalysis

Modul	Code	Name		
	MH1	Nichtlineare Funktionalanalysis		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Beherrschung der wichtigsten Techniken der nichtlinearen Analysis und Fähigkeit zu deren Anwendung			
Inhalt	I. Differentialkalkül in Banachräumen und Satz von der impliziten Funktion II. Banachmannigfaltigkeiten und Fredhomabbildungen, Satz von Sard-Smale III. Der Abbildungsgrad modulo 2 IV. Der Abbildungsgrad von Brouwer, topologische Anwendungen V. Der Leray-Schauder-Grad VI. Lösungszweige und Verzweigungen von Lösungen VII. Monotone Operatoren In allen Abschnitten soll es exemplarische Anwendungen auf konkrete Probleme der Analysis (z.B. Differentialgleichungen) geben.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Funktionalanalysis (MC3)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Aubin-Ekeland: Applied nonlinear Analysis Deimling: Nonlinear Functional Analysis Schwartz: Nonlinear Functional Analysis Zeidler: Nonlinear Functional Analysis and its applications			

Harmonische Analyse

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH2</td><td colspan="3">Name
Harmonische Analyse</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Kenntnisse in einem Teilgebiet der harmonischen Analyse</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Dieses Modul befasst sich mit einem der folgenden Gebiete:

- Euklidische Harmonische Analyse
- Harmonische Analyse lokal kompakter Gruppen
- Darstellungstheorie
- Banach-Algebren (inkl. C^*-Algebren)
- von Neumann-Algebren

(Weitere Möglichkeiten sind Math. Physik, Quantentheorie, Wavelets, Liegruppen und -algebren, Operatorräume).</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Grundkenntnisse in Algebra, Topologie, Funktionentheorie</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Partielle Differentialgleichungen II

Modul	Code MH3	Name Partielle Differentialgleichungen II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4SWS + Übungen 2SWS			
Lernziel	Kenntnisse über Methoden zur Lösung nichtlinearer partieller Differentialgleichungen			
Inhalt	In diesem Kurs wird die Existenztheorie nichtlinearer partielle Differentialgleichungen betrachtet. Dazu werden die Fixpunktsätze von Banach, Schauder, Brouer und Leray-Schauder eingeführt um die Existenz von semilinearen elliptischen und parabolischen Gleichungen herzuleiten. Außerdem werden anhand von Reaktions-Diffusionsgleichungen Monotoniemethoden veranschaulicht. Ein weiterer Aspekt werden Euler-Lagrange Gleichungen sein, die aus Variationsansätzen auf natürliche Weise hervorgehen. In diesem Zusammenhang werden kompakte Einbettungen ein wichtiges Werkzeug sein um Existenzaussagen zu erhalten. Diese Methoden können dann auf die Navier-Stokes Gleichung und die nichtlineare Diffusionsgleichung angewandt werden. Ebenso werden Blow-up Phänomene und Nichtexistenz besprochen.			
Vermittelte Kompetenzen	Handhabung von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Partielle Differentialgleichungen, Lineare Funktionalanalysis			
Prüfungs-modalitäten	Mündliche Prüfungen			
Nützliche Literatur	Partial Differential Equations, L.C. Evans Weak convergence methods for nonlinear partial differential equations, L.C. Evans			

Spezielle Themen der Analysis

Modul	Code MH4	Name Spezielle Themen der Analysis		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse in speziellen Gebieten der Analysis			
Inhalt	Beispiele: Analysis und mathematische Modellierung: Vorgestellt und mathematisch analysiert werden Modellgleichungen z.B. aus der mathematischen Biologie - Chemotaxis und Kreuzdiffusion - Transportgleichungen und altersstrukturierte Modelle Variante: Modellgleichungen aus der Physik oder Erhaltungsgleichungen und Stroemungsmechanik: - inkompressible Fluessigkeiten - Euler Gleichungen - Stokes Gleichungen - Navier-Stokes Gleichungen (oder Freie Randwertprobleme, Regularitätstheorie)			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Partielle Differentialgleichungen I Lineare Funktionsanalysis			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben.			
Nützliche Literatur				

Numerische Lineare Algebra

Modul	**Code**	**Name**		
	MH5	Numerische Lineare Algebra		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Kenntnis der gebräuchlichen Methoden zur numerischen Lösung Der von Aufgaben der Linearen Algebra			
Inhalt	I. Lineare Gleichungssysteme und Eigenwertaufgaben II. Iterative Verfahren, Fixpunktiterationen III. Krylowraum-Methoden IV. Iterative Verfahren für Eigenwertaufgaben V. Singulärwertzerlegung VI. Anwendungen auf Systemmatrizen bei der Diskretisierung partieller Differentialgleichungen			
Vermittelte Kompetenzen	Analytisches und algorithmisches Denken, Anwendung von Techniken der Analysis und linearen Algebra, selbständiges Lösen von Aufgaben mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Einführung in die Numerik			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter 2-stündiger Klausur (und einer Freischussmöglichkeit), Wiederholungsmöglichkeit mit der Vorlesung in den Folgejahren.			
Nützliche Literatur	Bekanntgabe in der Vorlesung (Vorlesungsskriptum)			

Numerical methods for partial differential equations

<table>
<tr><td>Module</td><td>Code
MH7</td><td colspan="3">Name
Numerical methods for partial differential equations</td></tr>
<tr><td></td><td>Credit Points
8 CP</td><td>Workload
240h</td><td>Duration
1 semester</td><td>Cycle
annually, WS
or SS</td></tr>
<tr><td>Program</td><td colspan="4">MA Mathematik, MA Scientific Computing, MA Angewandte Informatik</td></tr>
<tr><td>Course type</td><td colspan="4">Lecture 4 h + Exercise course 2 h</td></tr>
<tr><td>Objectives</td><td colspan="4">Basic knowledge of theoretical and practical aspects of the most relevant numerical methods for the standard types of partial differential equations: Poisson equation (elliptic), heat equation (parabolic) and wave equation (hyperbolic).</td></tr>
<tr><td>Course description</td><td colspan="4">Theory of partial differential equations, type classification and properties of solutions;
(optional) Finite difference method for elliptic boundary-value problems: consistency, stability (maximum principle) and a priori error analysis;
(Galerkin) finite element method (FEM) for elliptic boundary-value problems: discretization, a priori and a posteriori error analysis, grid adaptation;
Algebraic solution methods for large linear systems: fixed-point iterations, Krylow subspace methods, multigrid/decomposition technics;
Methods for parabolic problems (heat equation)
(optional) Methods for hyperbolic problems (wave equation)</td></tr>
<tr><td>Skills to be acquired</td><td colspan="4">Algorithmic thinking;
Application of technics from analysis and linear algebra;
Solution of exercises with presentation.</td></tr>
</table>

Prerequisites	none
Helpful previous knowledge	Basic knowledge in Analysis and Linear Algebra, Introduction to Numerical Mathematics, Numerical Methods for Ordinary Differential Equations; knowledge on Functional Analysis and Partial Differential Equations is helpful but not required, as the necessary background is provided in the course.
Grading policy	Participation in the homework exercises and a final written or oral exam. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.
Suggested literature	Grossmann, Roos(, Stynes): Numerical Treatment of Partial Differential Equations, English edition/deutsche Ausgabe. More literature will be given in the course.

Numerische Optimierung bei Differentialgleichungen

Modul	**Code**	**Name**		
	MH8	Numerische Optimierung bei Differentialgleichungen		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 Stunden	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Parameterschätzung sowie optimale nichtlineare Versuchsplanung bei Differentialgleichungen			
Inhalt	Das Modul behandelt Grundlagen und numerische Methoden der optimalen Steuerung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Kenntnisse, wie sie in den Vorlesungen Einführung in die Numerische Mathematik und Numerische Mathematik I vermittelt werden sowie Grundkenntnisse der linearen Algebra und Analysis sowie einer Programmiersprache, Vorlesung Gewöhnliche Differentialgleichungen (MC1)			
Prüfungsmodalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (Erreichen einer Mindestpunktzahl) und Bestehen einer Abschlussprüfung.			
Nützliche Literatur				

Numerische Methoden der Kontinuumsmechanik

Modul	Code	Name		
	MH9	Numerische Methoden der Kontinuumsmechanik		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Kenntnis der gebräuchlichen Methoden zur numerischen Lösung der Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik			
Inhalt	I. Mathematische Modelle der Kontinuumsmechanik: Lame-Navier-, Euler- und Navier-Stokes-Gleichungen II. Finite-Elemente-Verfahren in der Strukturmechanik III. Finite-Elemente-Verfahren für die Navier-Stokes-Gleichungen: Stokes-Elemente, inf-sup-Bedingung, Stabilisierungen IV. Lösungsverfahren für die algebraischen Probleme V. Zeitdiskretisierungen VI. Behandlung von Fluid-Struktur-Wechselwirkung			
Vermittelte Kompetenzen	Analytisches und algorithmisches Denken, Anwendung von Techniken der Analysis und linearen Algebra, selbständiges Lösen von Aufgaben mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Einführung in die Numerik, Partielle Differentialgleichungen I und II, Numerik partieller Differentialgleichungen, Funktionalanalysis			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter 2-stündiger Klausur (und einer Freischussmöglichkeit), Wiederholungsmöglichkeit mit der Vorlesung in den Folgejahren.			
Nützliche Literatur	Bekanntgabe in der Vorlesung (Vorlesungsskriptum)			

Numerische Methoden der Strömungsmechanik

Modul	**Code** MH9a	**Name** Numerische Methoden der Strömungsmechanik		
Umfang	**Leistungspunkte** 5 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Master Scientific Computing, Physik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Finite Elemente Methoden zur Lösung der Grundgleichungen der Strömungsmechanik			
Inhalt	1. Modellierung und Theorie der Navier-Stokes Gleichungen 2. Finite Elemente Verfahren für die Navier-Stokes Gleichungen 3. Zeitdiskretisierung für die Navier-Stokes Gleichungen 4. Lösungsverfahren für die algebraischen Probleme			
Vermittelte Kompetenzen	Analytisches und algorithmisches Denken, Anwendung von Techniken der Analysis und linearen Algebra, selbständiges Lösen von Aufgaben mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Einführung in die Numerik, Partielle Differentialgleichungen, Numerik partieller Differentialgleichungen			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben und Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur				

Special topics in Numerics

Module	Code	Name		
	MH10	Special topics in Numerics		
	Credit Points	**Workload**	**Duration**	**Cycle**
	8/4	240 h / 120 h	1 Semester	
Program	Master Scientific Computing, Master Mathematics and Master Physics			
Methods	Lecture 4 h / 2 h + Exercise course 2 h / 1 h			
Objectives	Knowledge of methods for the modeling, analysis, simulation and optimization of complex problems from different application areas			
Content	The course discusses special numerical approaches for the treatment of problems arising in different applications of mathematical modeling. Possible topics are: 1. Non-standard Galerkin methods 2. Discontinuous finite element methods 3. Numerical multi-scale methods 4. Adaptuve finite element methods 5. Finite elements for nonlinear problems 6. Numerics of pde-constrained optimization problems 7. Numerical methods for conservation laws 8. Numerics of risk analysis 9. Numerics of multi-physics problems 10. Numerics of the Schrödinger equation			
Learning outcomes	Analytical and algorithmic skills, mathematical modeling, skills for selecting problem-adapted numerical methods, independent work on problem sets, presentation in tutorials			
Prerequisites	N/A			
Suggested previous knowledge	Basics of numerical mathematics, numerical methods for ordinary and partial differential equations			
Assessment(s)	homeworks and presentation, final exam (written or oral)			
Literature	Will be announced in class			

Statistik II

Modul	Code	Name		
	MH12	Statistik II		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Vertiefte Behandlung einer Auswahl statistischer Methoden			
Inhalt	Mögliche Themen sind: I. Multivariate Statistik: Wishart-Verteilung, multipler Korrelationskoeffizient, Hotellings T2-Verteilung, Hauptkomponentenanalyse, kanonische Korrelationen, grafische Modelle II. Zeitreihenanalyse: Lineare Filter, ARMA-Modelle, Prädiktion, State-Space Modelle, Spektraldarstellung, Periodogramm, Whittle-Likelihood, nichtlineare Zeitreihenmodelle III. Nichtparametrik: Dichteschätzung und nichtparametrische Regression, Kernschätzer, lokal polynomiale Schätzer, Orthogonalreihenschätzer, Adaptivität, Risikoabschätzung, nichtparametrische Tests			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Wahrscheinlichkeitstheorie I (MC5), Statistik I (MD3) Analysis I, Lineare Algebra I			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter 2-stündiger Klausur. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung wird vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Anderson, T. W.: An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, John Wiley Jørgensen, Bent: The Theory of Linear Models, Chapman&Hall, New York, 1993. Brockwell, P. J. and Davis R. A.: Time Series: Theory and Methods, Springer-Verlag Wasserman, L.: All of Nonparametric Statistics, Springer-Verlag			

Statistical Forecasting

<table>
<tr><td>Module</td><td>Code
MH12c</td><td colspan="3">Name
Statistical Forecasting</td></tr>
<tr><td></td><td>Credit Points
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Duration
1 Semester</td><td>Cycle</td></tr>
<tr><td>Program</td><td colspan="4">Master Scientific Computing, Master Mathematics</td></tr>
<tr><td>Methods</td><td colspan="4">Lecture 4 h + Exercise course 2 h</td></tr>
<tr><td>Lecturer</td><td colspan="4">Prof. Dr. Tilmann Gneiting</td></tr>
<tr><td>Objectives</td><td colspan="4">To have a firm understanding of the statistical theory of forecasting, and the ability to design, implement and evaluate prediction techniques</td></tr>
<tr><td>Content</td><td colspan="4">Basic notions: statistical decision theory, probabilistic and point forecasts, prediction spaces, information bases, calibration and sharpness
Proper scoring rules and consistent scoring functions
Forecasts combinations
Times series forecasts and spatial prediction
Statistical postprocessing of ensemble forecasts; combining numerical and statistical approaches
Applications and case studies in meteorology, economics and other disciplines</td></tr>
<tr><td>Learning outcomes</td><td colspan="4">Firm theoretical understanding of the measure theoretic, probabilistic and statistical foundations of forecasting
Design and implementation of statistical forecasting algorithms, along with associated assessment techniques</td></tr>
<tr><td>Prerequisites</td><td colspan="4">MC4 or equivalent; MD2 or equivalent</td></tr>
<tr><td>Suggested previous knowledge</td><td colspan="4">Programming in R</td></tr>
<tr><td>Assessment(s)</td><td colspan="4">TBD (typically, homework and written exam)</td></tr>
<tr><td>Literature</td><td colspan="4">Gneiting, T.: Making and evaluating point forecasts. Journal of the American Statistical Association 106 (2011), 746–762.
Gneiting, T. and Raftery, A. E.: Strictly proper scoring rules, prediction, and estimation. Journal of the American Statistical Association 102 (2007), 359–378.</td></tr>
</table>

Wahrscheinlichkeitstheorie II

Modul	**Code** MH13	**Name** Wahrscheinlichkeitstheorie II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Ausgewählte Themen zu Stochastischen Prozessen und zur Stochastischen Analyse.			
Inhalt	I. Theorie Stochastischer Prozesse: Endlich-dimensionale Verteilungen, Existenzsatz von Kolmogorov, stetige Pfade, Konstruktion und Eigenschaften der Brownschen Bewegung, Gaußprozesse II. Ergodentheorie: Stationäre und ergodische Prozesse, Ergodensätze III. Invarianzprinzipien: Straffheit, schwache Konvergenz im Raum der stetigen Funktionen, Invarianzprinzip von Donsker, Theorie der Empirischen Prozesse IV. Stochastisches Integral: Martingale in stetiger Zeit, Itô-Integral, Itô-Formel			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Analysis I, Lineare Algebra I, Wahrscheinlichkeitstheorie I			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungs-prüfung wierden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	Durret, S.: Probability: Theory and Examples, Duxbury Press Karlin, S. and Taylor, H.: A First/Second Course in Stochastic Processes, Academic Press Karatzas, I. and Shreve, S.: Brownian Motion and Stochastic Calculus, Springer			

Berechenbarkeit und Komplexität I

Modul	**Code** MH14	**Name** Berechenbarkeit und Komplexität I		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität			
Inhalt	Die Berechenbarkeitstheorie liefert den formalen Rahmen, die Lösbarkeit algorithmischer Probleme zu untersuchen, die Komplexitätstheorie stellt Methoden und Konzepte zur Analyse des erforderlichen Aufwands algorithmischer Problemlösungen zur Verfügung. Ziel des Moduls ist es die Studierenden mit den zentralen Konzepten und Methoden der Berechenbarkeits- und der Komplexitätstheorie vertraut zu machen. In der Berechenbarkeitstheorie stehen Methoden zum Nachweis der Unentscheidbarkeit im Mittelpunkt, in der Komplexitätstheorie liegt der Schwerpunkt auf dem Vergleich und der strukturellen Analyse der polynomiell beschränkten Komplexitätsklassen. Insbesondere werden das P-NP-Problem und die NP-Vollständigkeit behandelt.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse aus der Theoretischen Informatik sind hilfreich			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur				

Berechenbarkeit und Komplexität II

Modul	**Code** MH15	**Name** Berechenbarkeit und Komplexität II		
Umfang	**Leistungspunkte** 6 CP	**Workload** 180 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 3 SWS + Übung 1 SWS			
Lernziel	Vertiefte Kenntnisse über Berechenbarkeit und Komplexität			
Inhalt	In diesem Modul werden ausgewählte fortgeschrittene Themen aus dem Bereich der Berechenbarkeits- und Komplexitätstheorie behandelt.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Berechenbarkeit und Komplexität I			
Prüfungsmodalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur				

Algorithmische Optimierung I

Modul	**Code**	**Name**		
	MH16	Algorithmische Optimierung I		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse über algorithmische Optimierung			
Inhalt	Das Modul behandelt moderne Verfahren der unbeschränkten und beschränkten Optimierung. Die Studierenden werden in die Lage versetzt moderne Verfahren des Gebietes anzuwenden, zu beurteilen und zu entwickeln.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Mathematische Grundvorlesungen MA1-MA8			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungs-prüfung wierden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Bekanntgabe in der Vorlesung			

Algorithmische Optimierung II

Modul	**Code** MH17	**Name** Algorithmische Optimierung II		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundlagen der linearen und ganzzahligen Optimierung			
Inhalt	I. Dualitätstheorie II. Simplexalgorithmus und Varianten III. Innere-Punkte-Verfahren IV. Schnittebenen-Verfahren			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Algorithmische Optimierung I (MH16)			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungs-prüfung wierden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	Bekanntgabe in der Vorlesung			

Mustererkennung

Modul	Code	Name		
	MH18	Mustererkennung		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Mathematik Lehramt, Scientific Computing Master, Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Mathematische Methoden und algorithmische Verfahren zur überwachten und unüberwachten Klassifikation empirischer Daten.			
Inhalt	Euklidische Einbettungen, Multidimensionale Skalierung, Bayes Klassifikator, Fehlerschranken und -abschätzungen, Entscheidungsbäume, Kombination und Performanzsteigerung einfacher Klassifikatoren, Klassifikation mit Kernfunktionen , Gaußsche Prozesse und Klassifkation, Klassifikation mit Mischungsverteilungen, nichtparametrische Klassifikation, Merkmalsauswahl und -extraktion, Ballungsanalyse mit Prototypen, Ähnlichkeitsgraphen und unüberwachtes Lernen.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges computergestütztes Lösen von Problemen der Statistischen Mustererkennung.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Mathematische Grundvorlesungen, Wahrscheinlichkeitstheorie I, Numerische Lineare Algebra (MH5), Algorithmische Optimierung I (MH16)			
Prüfungs-modalitäten	Bearbeiten von Übungsblättern und Übungen am Computer, Semesterbegleitende Prüfung, Art und Zeitrahmen werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben			
Nützliche Literatur	Bekanntgabe in der Vorlesung und auf der entsprechenden WWW-Seite.			

Eine mathematische Einführung in Compressed Sensing

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH19</td><td colspan="3">Name
Eine mathematische Einführung in Compressed Sensing</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 SWS</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus
–</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Bachelor/Master, Scientific Computing (Wiss. Rechnen) Master, Angewandte Informatik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Mathematische Einführung in das Gebiet von Compressed Sensing</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Theorie: Dünnbesetzte (sparse) Rekonstruktion via ℓ_1-Minimierung; Grundannahmen: mutual incoherence; nullspace property, restricted isometry property; Rekonstruktion mit Zufallsmatrizen; Phasendiagramme; Grundlagen der konvexen Analysis, der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Integralgeometrie.
Algorithmen: Orthogonal matching pursuit; Thresholding basierte Verfahren; Primal-duale Verfahren.
Anwendungen: Sparse Approximation; Bildverarbeitung (Tomographische Inversion, Entfalten, etc.); Low-Rank Completion.</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Mathematische Modellierung und computergestÃijtztes Lösen zentraler Probleme der sparsen Rekonstruktion.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Lineare Algebra, Analysis, Umgang mit Matlab. Weitere Kenntnisse (Optimierung, Wahrscheinlichkeitstheorie) wären vorteilhaft, werden aber nicht vorausgesetzt.</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Erfolgreiche Teilnahme an den ÃIJbungen (mehr als 50% der Punkte mÃijssen erreicht werden) und Bestehen einer mündlichen Abschlussprüfung</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">S. Foucart, H. Rauhut, A Mathematical Introduction to Compressive Sensing, Springer, 2013
S. Boyd, L. Vandenberghe, Convex Optimization, Cambridge University Press, 2004
M. Ledoux, The Concentration of Measure Phenomenon American Mathematical Society, 2005
R. Schneider, W. Weil, Stochastic and Integral Geometry, Springer, 2008
J.-L. Starck, F. Mutagh, J.M. Fadili, Sparse Image and Signal Processing, Cambridge University Press, 2010</td></tr>
</table>

Krümmungsprobleme

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH20</td><td colspan="3">Name
Krümmungsprobleme</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Kenntnisse in der Behandlung und Anwendung von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen auf Mannigfaltigkeiten zur Lösung von geometrischen Problemen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung Krümmungsprobleme befasst sich mit nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen und Krümmungsflüssen in semiriemannschen Mannigfaltigkeiten.

Themen sind:

1. Krümmungsflüsse: Krümmungsfunktionen, Existenz für kleine Zeiten, Existenz auf einem maximalen Zeitintervall, a priori Abschätzungen

2. Hyperflächen vorgeschriebener Krümmung: Existenz mittels Krümmungsflüssen, Existenz mittels Stetigkeitsmethode, Smale's Verallgemeinerung des Sardschen Satzes

3. Spezielle geometrische Probleme: Minkowski Problem, Blätterung durch Hyperflächen konstanter Krümmung, Analyse von Raum-Zeit Singularitäten mittels Krümmungsflüssen</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Kenntnisse in partiellen Differentialgleichungen und Differentialgeometrie</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">Claus Gerhardt: Curvature Problems
Claus Gerhardt: Analysis II, Kap. 11 und 12
David Gilbarg & Neil S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations of Second Order
Barrett O'Neill: Semi-Riemannian Geometry</td></tr>
</table>

Statistische Datenanalyse

Modul	Code	Name		
	MH21	Statistische Datenanalyse		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	BA Mathematik Bachelor, Mathematik Master, LA Mathematik, Diplom Mathematik, BA/Master Ang. Informatik, Master Scientific Computing			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS und Projekt-Arbeit. Die Vorlesung geht problemorientiert vor: anhand von konkreten Fallbeispielen und Datensätzen werden unterschiedliche Methoden und Strategien der Analyse diskutiert.			
Lernziel	Statistische Modellierung und Modelldiagnostik; grundlegende Methoden und Strategien der Datenanalyse.			
Inhalt	Datenanalyse ist ein Teil der Statistik, der die klassischen Zugänge ergänzt. Zum einen spielt sie als „explorative Datenanalyse" bei der Modellbildung eine wesentliche Rolle; zum anderen bietet sie als „Residuenanalyse" Ansätze, die Gültigkeit von formalen statistischen Ergebnissen im Anwendungsfall datenbezogen zu prüfen. Die Datenanalyse ist eine neuere Entwicklung in der Statistik und geht in großen Teilen auf Arbeiten von J. Tukey zurück. In einzelnen Bereichen, so der Residuenanalyse für lineare Modelle, ist ein weitgehend abgeschlossener Stand erreicht. In anderen Bereichen liegt keine geschlossene Theorie vor. Deshalb muss hier auf Beispiele und Fallstudien zurückgegriffen werden. Themenbereiche: - Visualisierung in der Statistik. - Statistik für höherdimensionale Probleme; Dimensionsreduktion. - Multi-Resolutionsanalyse.			
Vermittelte Kompetenzen	Konkrete Anwendung statistischer Methoden in der Datenanalyse. Diagnostik und Modellierung. Präsentation und Kommunikation der Diagnostik an Beispielen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	MA8 Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik MD2 Statistik			
Prüfungs-modalitäten	Schriftliche Ausarbeitung einer Fallstudie			
Nützliche Literatur	Tukey, J.W.; The Collected Works of John W. Tukey: Vol. III. Philosophy and Principles of Data Analysis : 1949-1964 Vol. IV. Philosophy and Principles of Data analysis : 1965-1986 Vol. V. Graphics : 1965-1985 Aktuelle Literatur, im wesentlichen aus den Zeitschriften „Journal of Computational and Graphical Statistics" und „Statistics and Computing"			

Grenzwertsätze für Semimartingale

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH22</td><td colspan="3">Name
Grenzwertsätze für Semimartingale</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
4 CP</td><td>Workload
120 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Diplom</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Vertiefung in Theorie der Grenzwertsätze</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">In dieser Vorlesung werden aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Gebiet der Grenzwertsätze für Semimartingale dargestellt. Wir führen den Begriff der stabilen Konvergenz ein und beweisen stabile zentrale Grenzwertsätze für Funktionale der Diffusionsprozesse.</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Erlernen von Inhalten aus einem aktuellen Forschungsbereich</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Wahrscheinlichkeitstheorie 1 + 2</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Mündliche Prüfung.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">P. Hall and C.C. Heyde (1990): "Martingale Limit Theory and Its Application", Academic Press.
J. Jacod and A. Shiryaev (2003): "Limit Theorems for Stochastic Processes", Springer.</td></tr>
</table>

Krümmungsprobleme II

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH23</td><td colspan="3">Name
Krümmungsprobleme II</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
270 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Vorlesung 4 SWS + Übungen 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Kenntnisse in der Behandlung und Anwendung von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen auf Mannigfaltigkeiten zur Lösung von geometrischen Problemen</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Die Vorlesung Krümmungsprobleme II befasst sich mit nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen und Krümmungsflüssen in semi-riemannschen Mannigfaltigkeiten. Sie ist eine Fortsetzung der Vorlesung Krümmungsprobleme.

Themen sind:

1. Krümmungsflüsse: Krümmungsflüsse in Raumformen.

2. Hyperflächen vorgeschriebener mittlerer Krümmung: Existenz mittels Methoden der Variationsrechnung, Lösungen in $BV(\Omega)$, Regularitätstheorie

3. Spezielle geometrische Probleme: Kapillaritätsproblem in Riemannschen Mannigfaltigkeiten</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Kenntnisse in partiellen Differentialgleichungen und Differentialgeometrie</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter Klausur bzw. mündlicher Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">Claus Gerhardt: Curvature Problems
Claus Gerhardt: Analysis II, Kap. 11 und 12
David Gilbarg & Neil S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations of Second Order
Barrett O’Neill: Semi-Riemannian Geometry</td></tr>
</table>

Modellierung und Optimierung in Robotik und Biomechanik (MORB)

Modul	Code MH24	Name MORB		
Umfang	**Leistungspunkte** 6 CP	**Workload** 180 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus** mindestens jedes 4. Sem.
Verwendbarkeit	BA, MA und LA Mathematik & Informatik			
Lehrform	Spezialvorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Grundkenntnisse in der Modellierung und Optimierung von Bewegungen im Bereich Biomechanik und Robotik. Grundfertigkeiten im Umgang mit Softwarewerkzeugen für Modellierung, Visualisierung, Simulation und Optimale Steuerung.			
Inhalt	**Vorlesung:** Dynamische Prozessmodellierung, Mechanische Grundbegriffe (Kinematik, Dynamik), Modellierung von Mehrkörpersystemen, Bewegungssimulation, Nichtlineare Optimierung, Direkte Methoden der Optimalen Steuerung, Steuerung und Regelung von Bewegungen, Modellierung menschlicher Geh- und Rennbewegungen, Modellierung von Laufbewegungen humanoider und zweibeiniger Roboter, Stabilität von Bewegungen **Computerübungen:** Simulation und Visualisierung mechanischer Systeme, Modellierung der Dynamik von Mehrkörpersystemen mit der RBDL (Rigid Body Dynamics Library), Implementieren und Lösen von Optimalsteuerungsproblemen mit MUSCOD-II			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von einfachen mechanischen Modellierungsaufgaben und Optimalsteuerungsaufgaben am Computer			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	*Einführung in die Numerik, Kenntnisse in C++*, vorteilhaft: Numerik 1, Alg. Optimierung 1, Kenntnisse in Octave/Matlab			
Prüfungs-modalitäten	Bestehen einer 2-stündigen benoteten Klausur. Zulassungsvoraussetzung: erfolgreiche Teilnahme an den Computerübungen (Anwesenheit, Lösung und Präsentation von Programmieraufgaben).			
Nützliche Literatur	D. Greenwood: Principles of Dynamics I .Newton: Principia J. T. Betts: Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming J. Craig: Introduction to Robotics - Mechanics and Control J. Nocedal, S. Wright: Numerical Optimization B. Siciliano, et al: Robotics - Modeling, Planning and Control Spong, Hutchinson, Vidyasagar: Robot modeling and control Perry, Burnfield: Gait Analysis - Normal and pathological function M. Raibert: Legged Robots that Balance			

Finite Variationsungleichungen

Modul	Code	Name		
	MH25	Finite Variationsungleichungen		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	6 CP	180 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master/Diplom, Scientific Computing Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 1 SWS			
Lernziel	Einführung in das Gebiet der finiten Variationsungleichungen und in den wichtigsten numerischen Verfahren zur derer Lösung.			
Inhalt	*Grundlagen:* Definition und Beispiele, Komplementaritätsprobleme, Zusammenhang mit Nash-Gleichgewichtsproblemen, Zwei-Personen-Spiele *Theorie:* Monotone Funktionen, Existenz- und Eindeutigkeitssätze, Verallgemeinerte KKT-Bedingungen *Algorithmen:* Fixpunktverfahren, Proximal-Point Methoden, Straffunktion-basierte Algorithmen, Gap-Funktionen, KKT-basierte Algorithmen, Nichtglatte Newton-Verfahren			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges insb. computergestütztes Lösen von Variationsungleichungen.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, Analysis I + II			
Prüfungs-modalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (mehr als 50% der Punkte müssen erreicht werden) und Bestehen einer schriftlichen oder mündlichen Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur	Cottle, R. W., Pang, J-S and Stone. R. E. *The Linear Complementarity Problem*, Academic Press, 1992. Facchinei, F. and Pang, J-S. *Finite-Dimensional Variational Inequalities and Complementarity Problems*, Vols. I and II., Springer-Verlag, 2003. Geiger, C. und Christian Kanzow, C. *Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben*, Springer-Verlag, 2002. Konnov, I.V. *Equilibrium Models and Variational Inequalities*, Elsevier, 2007.			

Numerical Simulation of Transport Processes in Porous Media

Module	**Code** MH26	**Name** Numerical Simulation of Transport Processes in Porous Media		
	Credit Points 6 CP	**Workload** 180 h	**Duration** 1 Semester	**Cycle** yearly
Program	Applied Informatics Bachelor and Master, Mathematics Bachelor and Master, Physics Master, Scientific Computing			
Course type	Lecture 2 SWS + Exercises 2 SWS			
Objectives	Students can model water flow and solute transport processes in porous media. They know the limitations of the applied models and can use typical numerical approaches to simulate the processes. They can apply the models to practical problems.			
Course description	Basics of partial differential equations Basics of porous media: Groundwater flow and Darcy equation, heterogeneity and its characterisation Transport of dissolved chemicals, hydrodynamical dispersion Finite Differences, Finite Volumes and Finite Elements Iterative solution of linear equation systems One-step methods for the solution of time-dependent problems Advanced numerical schemes for hyperbolic equations (higher-order Godunov, particle tracking) Solution of non-linear equations			
Skills to be acquired	Ability to implement numerical solvers for elliptic, parabolic and hyperbolic as well as degenerate non-linear second order PDE and required linear solvers.			
Prerequisites	none			
Helpful previous knowledge	Vorlesung “Einführung in die praktische Informatik” or equivalent programming skills in C++ Vorlesung “Einführung in die Numerik”			
Grading policy	Successful participation in exercises (at least 50 % of the available points) required to participate in exam. Grades are based on written exam (can be replaced by an oral exam if the number of participants is low).			
Suggested literature				

Implementation of numerical methods for partial differential equations

Module	Code MH27	Name Implementation of numerical methods for partial differential equations		
	Credit Points 6 CP	**Workload** 180h	**Duration** 1 semester	**Cycle** yearly
Program	Master Scientific Computing, Mathematics, Computer Science, Physics, advanced bachelor students			
Course type	2 SWS lecture + 2 SWS exercise session			
Objectives	Learn to use the software deal.II to numerically solve a wide range of partial differential equations.			
Course description	This course serves as an introduction to the use of deal.II with an emphasis on the practical implementation of the finite element methods.			
Skills to be acquired	Ability to modify existing deal.II codes to solve the partial differential equations and to write new deal.II based programs.			
Prerequisites	none			
Helpful previous knowledge	Knowledge in C/C++ particularly in classes, pointers, references, templates. Basic knowledge of numerical analysis. Prior knowledge of implementating finite element methods to solve differential equations is helpful. It would be beneficial to simultaneously attend the course "Numerical methods for partial differential equations" although not a mandatory prerequiste.			
Grading policy	Grade based on assigned tasks including a final project with an oral presentation.			
Suggested literature	The lectures will be based on the available online documentation provided on the webpage http://www.dealii.org.			

Computably Enumerable Sets and Degrees

Modul	Code MH28	Name Computably Enumerable Sets and Degrees		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik (Master, Lehramt, Diplom)			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übungen 1 SWS			
Lernziel	Erlernen der Grundtechniken der Theorie der Unlösbarkeitsgrade (insbesondere der Prioritätsmethode) und Kennenlernen zentralen Ergebnisse dieser Theorie			
Inhalt	Computably enumerable (c.e.) sets play an important role in the foundations of mathematics, and the investigation of these sets and their degrees of unsolvability is one of the central areas in computability theory (recursive function theory). Many of the fundamental techniques of computability theory - like the priority method - have been introduced and developed in this area. The course gives an introduction to this area. One focus is on the required techniques, in particular variants of the priority method (finite and infinite injury arguments). Another focus is on recent work on the strongly bounded Turing reducibilities which do not not only capture the notion of relative computation but also of relative algorithmic randomness.			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich			
Teilnahme-voraussetzungen	Keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Gute Grundkenntnisse aus der Berechenbarkeitstheorie, wie sie etwa in der Vorlesung “Theoretische Informatik” vermittelt werden			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben und benotete mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	Downey, Rodney G.; Hirschfeldt, Denis R. Algorithmic randomness and complexity. Theory and Applications of Computability. Springer, New York, 2010. xxviii+855 pp.			

Fundamentals of Computational Environmental Physics (FCEP)

<table>
<tr><td>Module</td><td>Code
MH29</td><td colspan="3">Name
Fundamentals of Computational Environmental Physics</td></tr>
<tr><td></td><td>Credit Points
8 CP</td><td>Workload
240h</td><td>Duration
1 semester</td><td>Cycle</td></tr>
<tr><td>Program</td><td colspan="4">Master Scientific Computing, Mathematics, Computer Science, Physics, advanced bachelor students</td></tr>
<tr><td>Course type</td><td colspan="4">4 SWS lecture + 2 SWS exercise session</td></tr>
<tr><td>Objectives</td><td colspan="4">Learn how to model fundamental processes in environmental physics with the continuum mechanical approach and learn how to simulate such models with state-of-the-art numerical methods.</td></tr>
<tr><td>Course description</td><td colspan="4">Elementary linear models:
Flow in porous media / elliptic partial differential equations (PDEs)
Scalar transport / first-order hyperbolic PDEs
Heat Transport / parabolic PDE
Wave Propagation / first and second order hyperbo-lic PDEs
Nonlinear models:
Coupled elementary models
Fluid dynamics / Stokes and Navier-Stokes equation</td></tr>
<tr><td>Skills to be acquired</td><td colspan="4">Ability to apply models and numerical methods to environmental problems</td></tr>
<tr><td>Prerequisites</td><td colspan="4">none</td></tr>
<tr><td>Helpful previous knowledge</td><td colspan="4">Programming experience in particular in C++. Basic knowledge of numerical methods is useful.</td></tr>
<tr><td>Grading policy</td><td colspan="4">Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.</td></tr>
<tr><td>Suggested literature</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Mixed finite element methods

Module	**Code** MH30	**Name** Mixed finite element methods		
	Credit Points 6 CP	**Workload** 180	**Duration** 1 semester	**Cycle**
Program	Mathematics Master, Scientific Computing Master, Physics Master, Advanced Bachelor			
Course type	4 hr lecture			
Objectives	Foundations of stability theory for mixed finite element methods and Hilbert cochain complexes. Understanding of the relation between matching function spaces and stability. Knowledge of particular discretization techniques for incompressible flow. Foundations and applications of discontinuous Galerkin methods			
Course description	Hilbert cochain complexes, finite element cochain complexes, stability of mixed finite element methods, multigrid methods for mixed finite elements, incompressible flow, discontinuous Galerkin methods			
Skills to be acquired	Ability to understand and analyze non-standard finite element methods			
Prerequisites	Numerical methods for partial differential equations			
Helpful previous knowledge				
Grading policy	Classroom participation and oral exam. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	**Grossmann, Roos(, Stynes)**: Numerical Treatment of Partial Differential Equations, English edition/ deutsche Ausgabe **Arnold, Falk, Winther**: Finite element exterior calculus: from Hodge theory to numerical stability, Bulletin of the AMS 2010, `http://www.ima.umn.edu/ arnold//papers/bulletin.pdf` B. Rivière: Discontinuous Galerkin methods for solving elliptic and parabolic equations, SIAM, 2008			

Optimization with PDEs

<table>
<tr><td>Module</td><td>Code
MH31</td><td colspan="3">Name
Optimization with PDEs</td></tr>
<tr><td></td><td>Credit Points
6CP</td><td>Workload
180</td><td>Duration
1 semester</td><td>Cycle</td></tr>
<tr><td>Program</td><td colspan="4">Mathematics Master, Scientific Computing Master and Interested Students of other Disciplines</td></tr>
<tr><td>Course type</td><td colspan="4">Lecture course 2 hours + exercise session 2 hours</td></tr>
<tr><td>Objectives</td><td colspan="4">Learn the basic concepts to solve parameter estimation and optimal control problems with models based on parabolic PDEs</td></tr>
<tr><td>Course description</td><td colspan="4">The lecture gives an introduction to the theory and numerics of optimization problems with PDEs. The following topics are covered:

– Parameter estimation;

– Optimal control;

– Multiple Shooting and Parareal Methods.</td></tr>
<tr><td>Skills to be acquired</td><td colspan="4">Ability to numerically solve optimization problems with PDEs.</td></tr>
<tr><td>Prerequisites</td><td colspan="4">No prerequisites</td></tr>
<tr><td>Helpful previous knowledge</td><td colspan="4">Basic concepts of numerical methods for ordinary and partial differential equations (ODEs and PDEs) are advantageous. Knowledge of optimization methods is not mandatory.</td></tr>
<tr><td>Grading policy</td><td colspan="4">Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.</td></tr>
<tr><td>Suggested literature</td><td colspan="4">Lecture notes: Optimization with PDEs, T. Carraro, 2015;

M. Hinze, R. Pinnau, M. Ulbrich, S. Ulbrich, Optimization with PDE Constraints, Springer, 2008;

F. Tröltzsch, Optimale Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg, 2009.</td></tr>
</table>

Variationsungleichungen: Theorie, Numerik und Anwendungen

Modul	**Code** MH32	**Name** Variationsungleichungen: Theorie, Numerik und Anwendungen		
Umfang	**Leistungspunkte** 6 CP	**Workload** 180 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus** –
Verwendbarkeit	Mathematik Master/Diplom, Scientific Computing (Wiss. Rechnen) Master, Angewandte Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Einführung in das Gebiet der finiten Variationsungleichungen und in den wichtigsten numerischen Verfahren zur derer Lösung.			
Inhalt	*Grundlagen:* Definition und Beispiele, Komplementaritätsprobleme, Zusammenhang mit Nash-Gleichgewichtsproblemen, Zwei-Personen-Spiele *Theorie:* Monotone Funktionen, Existenz- und Eindeutigkeitssätze, Verallgemeinerte KKT-Bedingungen *Algorithmen:* Fixpunktverfahren, Proximal-Point Methoden, Straffunktion-basierte Algorithmen, Gap-Funktionen, KKT-basierte Algorithmen, Nichtglatte Newton-Verfahren *Anwendungen:* Gleichgewichtsprobleme der Bildverarbeitung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges insb. computergestütztes Lösen von Variationsungleichungen und Problemen der Digitalen Bildverarbeitung.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, ggf. Optimierung			
Prüfungs-modalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (mehr als 50% der Punkte müssen erreicht werden) und Bestehen einer mündlichen oder schriftlichen Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur	Facchinei, F. and Pang, J-S. *Finite-Dimensional Variational Inequalities and Complementarity Problems*, Vols. I and II., Springer-Verlag, 2003. Geiger, C. und Christian Kanzow, C. *Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben*, Springer-Verlag, 2002. Cottle, R. W., Pang, J-S and Stone. R. E. *The Linear Complementarity Problem*, Academic Press, 1992. Konnov, I.V. *Equilibrium Models and Variational Inequalities*, Elsevier, 2007.			

Angewandte Statistik

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code
MH33</td><td colspan="3">Name
Angewandte Statistik</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
8 CP</td><td>Workload
240 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">BA Mathematik Bachelor, Mathematik Master, LA Mathematik, Diplom Mathematik, BA/Master Ang. Informatik, Master Scientific Computing.</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">Lehrform Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS.</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Vertiefte Behandlung einer Auswahl statistischer Methoden insbesondere im Hinblick auf praktische Anwendungen.</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">Mögliche Themen sind:
- Regression und Residuenanalyse.
- Resampling-Verfahren.
- Rekursive Partitionen, Klassifikations- und Regressionsbäume.
- Nichtparametrische Verfahren.</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Konkrete Anwendung statistischer Methoden in der Angewandten Statistik. Präsentation und Kommunikation der Diagnostik in einer Ausarbeitung.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">Grundkenntnisse in der Statistik. Z.B.
MA8 Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik
MD2 Statistik.
Bei geeigneten Vorkenntnissen ist die Vorlesung auch für Anwender geeignet.</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">Lösung von Übungsaufgaben mit benoteter erweiterter Hausaufgabe. Details vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">L. Dümbgen: Angewandte Statistik. Birkhäuser/Springer 2014.
W. N. Venables, B. D. Ripley: Modern Applied Statistics with S. Springer 2002.
G. Sawitzki: Computational Statistics: An Introduction to R. Chapman & Hall 2009.</td></tr>
</table>

Optimierung auf Riemannschen Mannigfaltigkeiten

Modul	**Code** MH34	**Name** Optimierung auf Riemannschen Mannigfaltigkeiten		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 SWS	**Workload**	**Dauer** 1 Semester	**Turnus** –
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Scientific Computing (Wiss. Rechnen) Master, Angewandte Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Mathematische Methoden zur Modellierung einer umfangreichen Problemklasse, Kenntnisse grundlegender Mannigfaltigkeiten, Algorithmenentwurf zur numerischen Optimierung.			
Inhalt	*Theorie:* Riemannsche Mannigfaltigkeiten, Matrix-Lie Gruppen, Hadamard Mannigfaltigkeiten. *Algorithmen:* Retraktionen, geodätischer Gradientabstieg, Gradientenflüsse und geometrische Integration, Vektortransport und Methoden 2. Ordnung. *Anwendungen:* Ausgewählte Probleme der Bildverarbeitung und des Maschinellen Lernens.			
Vermittelte Kompetenzen	Mathematische Kompetenz zum Erkennen und zum Umgang mit verschiedenen Instanzen einer großen Problemklasse.			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Notwendig: Analysis, Lineare Algebra (Grundstudium); nützlich aber nicht notwendig: Differentialgeometrie, Umgang mit MATLAB.			
Prüfungs-modalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den ÃIJbungen und Bestehen einer mündlichen Abschlussprüfung.			
Nützliche Literatur	Jost, J.: Riemannian Geometry and Geometric Analysis, Springer, 2005. Lee, B.: Introduction to Smooth Manifolds, Springer, 2013. Absil, P.-A.; Mahony, R.; Sepulchre, R.: Optimization Algorithms on Matrix Manifolds, Princeton Univ. Press, 2008			

Angewandte Konvexe Optimierung

Modul	**Code** MH35	**Name** Angewandte Konvexe Optimierung		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 SWS	**Workload** 180 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus** –
Verwendbarkeit	Mathematik Master/Diplom, Scientific Computing (Wiss. Rechnen) Master, Angewandte Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Einführung in das Gebiet der konvexen Optimierung und in den wichtigsten numerischen Verfahren zur Lösung konvexer Optimierungsprobleme.			
Inhalt	*Grundlagen:* Konvexe Mengen, Konvexe Funktionen, Konvexe Optimierungsprobleme *Theorie:* Trennungssätze, Dualität, Subdifferential, Existenz und Optimalität *Algorithmen:* Gradientenbasierte Verfahren für glatte konvexe Optimierung, Proximal-Point und Splitting Methoden *Anwendungen:* Konvexe Modelle in der Bildverarbeitung			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges insb. computergestütztes Lösen konvexer Probleme in der Digitalen Bildverarbeitung.			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, Analysis			
Prüfungsmodalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (mehr als 50% der Punkte müssen erreicht werden) und Bestehen einer mündlichen Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur	R.T. Rockafellar, R.J.-B. Wets, *Variational Analysis*, Springer, 2004 F. Facchinei, J-S. Pang, *Finite-Dimensional Variational Inequalities and Complementarity Problems*, Vols. I and II., Springer, 2003. A. Auslender, M. Teboulle, *Asymptotic Cones and Functions in Optimization and Variational Inequalities*, Springer, 2003 S. Boyd, L. Vandenberghe, *Convex Optimization, Cambridge University Press*, 2004 A. Ben-Tal, A. Nemirovski, *Lectures on Modern Convex Optimization, SIAM*, 2001			

Methods of Multiscale Analysis

Module	Code	Name		
	MH36	Methods of Multiscale Analysis		
	Credit Points	**Workload**	**Duration**	**Cycle**
	6 CP	180	1 semester	
Program	Mathematics Master, Scientific Computing Master and Interested Students of other Disciplines			
Form of teaching	Lecture course 2 hours + exercise session 2 hours			
Objectives	Learn singular perturbation (small parameter) methods and homogenization techniques useful for derivation, analysis and reduction of multiscale models in a framework of differential equations			
Course description	The lecture is devoted to mathematical methods of multiscale and asymptotic analysis with application to differential equations. The methods are motivated by problems of model derivation and reduction. Real systems can be modeled at various levels of resolution. Effective behavior of the system depends on parameters and, ideally, by changing these parameters we should be able to move smoothly between microscopic, mesoscopic and macroscopic level depending on whether we are interested in the accuracy of the description and disregard the cost, or conversely. The goal of this lecture is to provide a systematic way of deriving effective equations, the coefficients of which encapsulate relevant information from the original regime. We aim to investigate convergence of solutions of the original equations in the micro regime to solutions of the equations in the macro regime when the identified small parameter converges to zero. The program of the lecture includes: 1. Singular perturbation methods. (i) Introduction to regular and singular perturbation (ii) Tikhonov Theorem with application to ODEs (quasi-stationary approximation) (iii) Singular perturbation methods for reaction-diffusion equations (shadow systems, SLEP method) (iii) Renormalization Group method applied to ODE and PDE problems of singular perturbation (quasi-stationary approximation; shadow limit, etc) 2. Methods of homogenization (i) Heuristic approach and two-scale expansions. Examples of diffusion and filtration in porous medium. (ii) Techniques to study convergence of multi-scale expansions: two-scale convergence, Tartar's energy method, Gamma-convergence, periodic unfolding. Applications to reactive flows in multiscale systems, including heterogeneous surface reactions.			

Learning outcomes	Ability to apply the techniques of multiscale and asymptotic analysis to ordinary and partial differential equations with small parameters or in multiscale domains.
Prerequisites	
Suggested previous knowledge	Functional Analysis, Basic theory of ODEs and PDEs
Grading policy	Solution of exercises and a final exam in written or oral form. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.
Suggested literature	[1] J.Banasiak and M.Lachowicz, Methods of small parameter in mathematical biology. Birkhäuser, Boston 2014. [2] L. Y. Chen, N .Goldenfeld, Y. Oono, Renormalization group and singular perturbations : Multiple scales, boundary layers, and reductive perturbation theory, Phys. Rev. E 54, (1996), 376-394. [3] U. Hornung, Homogenization and Porous Media, Springer 1997. [4] A. Marciniak-Czochra and A.Mikelic, Multiscale Methods with Applications in Sciences, chapters from the book in preparation, 2014. [5] I.Takagi, Mathematical Analysis of Biological Pattern Formation - Singular Perturbation Methods, Script, 2011. V.V. Zhikov, S.M. Kozlov, O. A. Oleinik, Homogenization of differential operators and integral functionals. Springer-Verlag, 1994.

Introduction to the Calculus of Variations

Module	Code	Name		
	MH37	Introduction to the Calculus of Variations		
	Credit Points	**Workload**	**Duration**	**Cycle**
	4 CP	120h	1 semester	
Program	Mathematics Master			
Form of teaching	2 SWS lecture			
Objectives	Provide an introductory overview on problems and methods of the Calculus of Variations, focusing on some classical topics.			
Course description	The first part of the course covers the study of necessary and sufficient minimality conditions, of first and second order, for one-dimensional problems; the theory is illustrated with explicit examples, including the problem of surfaces of revolution with minimal area. The second part of the course focuses on Direct Methods in the n-dimensional setting.			
Learning outcomes	Ability to rigorously solve classical problems in the Calculus of Variations.			
Prerequisites				
Suggested previous knowledge	Basic knowledge of analysis and measure theory. Some knowledge of functional analysis (Sobolev spaces, weak convergence) is also recommended.			
Grading policy	Grade based on an oral exam.			
Suggested literature	No official reference textbook. The material of the course can be found in various classical textbook on Calculus of Variations (details will be given by the lecturer at the beginning of the course).			

Introduction to change point analysis

<table>
<tr><td>Module</td><td>Code
MH38</td><td colspan="3">Name
Introduction to change point analysis</td></tr>
<tr><td></td><td>Credit Points
4CP</td><td>Workload
135 h</td><td>Duration
1 Semester</td><td>Cycle</td></tr>
<tr><td>Program</td><td colspan="4">Mathematics Master</td></tr>
<tr><td>Form of teaching</td><td colspan="4">Lecture 2h</td></tr>
<tr><td>Objectives</td><td colspan="4">Initiation the change point analysis problematic,
Provide mathematical tools that will enhance a deeper understanding of the topic,
Apply the theory on some real life data.</td></tr>
<tr><td>Course description</td><td colspan="4">Offline Change point problem
Mean change: At most one change in the mean model: Model assumptions, Likelihood ratio based statistics and some variations, their asymptotic distribution under the NULL and their consistency under alternative; Change point estimators and their asymptotic properties, e.g., distributions. Change point statistics based on M-estimators and permutation tests.
Multiple change points: Testing problem, statistics and related asymptotic distributions; consistency. Change points estimators.
Change in linear regression: Statistics based on (weighted)-partial sum of estimated residuals.
Sequential Change point problem: Sequential change in the mean model and some related statistics, as well as their asymptotic distributions. Sequential statistics based on (weighted)-estimated residuals for linear regression.</td></tr>
<tr><td>Learning outcomes</td><td colspan="4">A strong initiation to the change point problem and methodology.</td></tr>
<tr><td>Prerequisites</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>Suggested previous knowledge</td><td colspan="4">Introduction to probability and Statistics, Probability Theory.</td></tr>
<tr><td>Grading policy</td><td colspan="4">Oral exam</td></tr>
<tr><td>Suggested literature</td><td colspan="4">Csörgö, M. and Horváth, L. (1997). Limit theorems in change-point analysis. Chichester: Wiley.
Chen, J. and Gupta, A. k. (2012) Parametric Statistical Change Point Analysis. Basel, Birkhäuser.</td></tr>
</table>

Effiziente Algorithmen 1

Modul	**Code** MH39	**Effiziente Algorithmen 1** Effiziente Algorithmen 1		
Umfang	**Leistungspunkte** 8 CP	**Workload** 240 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	B.Sc./M.Sc. Informatik, M.Sc. Mathematik, Lehramt Mathematik			
Lehrform	Vorlesung 4 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Die Studierenden verstehen die grundlegenden Konzepte der Graphentheorie, können Fragestellungen als kombinatorische Optimierungsprobleme modellieren, können die Komplexität von Optimierungsproblemen analysieren, kennen die Methoden zum Beweis der Korrektheit kombinatorischer Algorithmen und der Analyse ihrer Laufzeit, kennen die grundlegenden algorithmischen Ansätze, sind mit den Fragen der effizienten Implementierung vertraut und haben Einblick in die vielfältigen Anwendungsgebiete der kombinatorischen Optimierung			
Inhalt	Grundbegriffe der Graphentheorie grundlegende Graphenalgorithmen, optimale Bäume und Branchings, kürzeste Wege, Zuordnungsproblem, maximale Flüsse, minimale Schnitte in ungerichteten Graphen, Flüsse mit minimalen Kosten, Matchingprobleme			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Aufgaben aus dem Themenbereich mit Präsentation in den Übungen			
Teilnahme-voraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Einführung in die Praktische Informatik, Programmierkurs, Algorithmen und Datenstrukturen			
Prüfungs-modalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (mindestens 50% der Punkte müssen erreicht werden) und Bestehen einer schriftlichen Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur	Korte, B., Vygen, J.: Kombinatorische Optimierung, Springer, 2012			

Uncertainty Quantification for Differential Equations

Module	**Code** MH40	**Name** Uncertainty Quantification for Differential Equations		
	Credit Points 4 CP	**Workload** 120 h	**Duration** 1 Semester	**Cycle**
Program	MA Mathematik, MA Informatik, MA Scientific Computing			
Form of teaching	Lecture (2 SWS) without excersises			
Objectives	Knowlegde in mathematical modelling and numerical quantification of parametric uncertainty propagation for differential equations.			
Course description	I. Fundamentals in Probability Theory II. Karhunen-Loève decomposition III. (generalized) Polynomial Chaos expansion IV. Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo methods V. Stochastic Collocation method VI. Stochastic Galerkin method VII. Inverse Uncertainty Quantification			
Learning outcomes	Abstract and algorithmic thinking, Combination of probability theory and numerics			
Prerequisites	None			
Suggested previous knowledge	Knowledge in • probability theory • Numerics for partial and ordinary differential equations • Analysis I, II and III			
Grading policy	Written exam at the end of the lecture time.			
Suggested literature	O.P. Le Maitre and O. Knio. *Spectral Methods for Uncertainty Quantification: With Applications to Fluid Flow*, Springer, 2010 R. Ghanem and P. Spanos. *Stochastic Finite Elements: A spectral approach*, Dover, 2003			

Einführung in die Mathematische Bildverarbeitung

Modul	Code	Name		
	MH41	Einführung in die Mathematische Bildverarbeitung		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	6 CP	180 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Bachelor/Master, Scientific Computing (Wiss. Rechnen) Master, Angewandte Informatik Master			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übung 2 SWS			
Lernziel	Einführung in das Gebiet der mathematischen Bildverarbeitung.			
Inhalt	*Theorie:* Grundlagen der Funktionalanalysis, der Variationsrechnung und der konvexen Analysis. Kontinuierliche und diskrete Bildmodelle. *Algorithmen:* Proximal-Point und Splitting Methoden *Anwendungen:* Konvexe Modelle in der Bildverarbeitung (Entrauschen, Entfalten, Dekompression etc.)			
Vermittelte Kompetenzen	Mathematische Modellierung und computergestütztes Lösen zentraler Probleme der Bildverarbeitung.			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Lineare Algebra, Analysis, Umgang mit Matlab. Weitere Kenntnisse (Funktionalanalysis, Optimierung) wären vorteilhaft, werden aber nicht vorausgesetzt.			
Prüfungsmodalitäten	Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (mehr als 50% der Punkte müssen erreicht werden) und Bestehen einer mündlichen Abschlussprüfung			
Nützliche Literatur	K. Bredies, D. Lorenz, *Mathematische Bildverarbeitung: Einführung in Grundlagen und moderne Theorie*, Vieweg+Teubner, 2011 R.T. Rockafellar, R.J.-B. Wets, *Variational Analysis*, Springer, 2004 H.H. Bauschke, P.L. Combettes, *Convex Analysis and Monotone Operator Teory in Hilbert Spaces*, Springer, 2011 H. Attouch, G. Buttazzo, G. Michaille, *Variational Analysis in Sobolev and BV Spaces*, SIAM, 2006			

Statistik für Diffusionsprozesse

Modul	**Code** MH42	**Name** Statistik für Diffusionsprozesse		
Umfang	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik Master, Diplom			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS			
Lernziel	Die Statistik stochastischer Prozesse muss ohne die klassische Voraussetzung unabhängiger, identisch verteilter Zufallsgrößen als Bestandteile einer Stichprobe auskommen. In der Vorlesung werden Verfahren vorgestellt, die dennoch eine Untersuchung klassischer statistischer Problemstellungen wie Schätzung von Parametern und Testen von Hypothesen ermöglichen. Wir konzentrieren uns dabei auf den wichtigen Spezialfall von Diffusionsprozessen, deren Relevanz durch Anwendungen in Finanzmarktmodellen exemplarisch illustriert werden wird.			
Inhalt	• grundlegende Eigenschaften von Diffusionsprozessen und technische Hilfsmittel zu ihrer Untersuchung • Parameterschätzung: Maximum likelihood-, Bayes- und andere Schätzer und ihre asymptotischen Eigenschaften in regulären und irregulären Situationen • nichtparametrische Schätzung: Schätzung der invarianten Dichte einer ergodischen Diffusion, Schätzung des Driftkoeffizienten auf der Grundlage stetiger/ diskreter Beobachtungen			
Vermittelte Kompetenzen	Erlernen von Inhalten aus einem aktuellen Forschungsgebiet			
Teilnahme-voraussetzungen	Keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik, Statistik, Wahrscheinlichkeitstheorie 1+2			
Prüfungs-modalitäten	Mündliche Prüfung			
Nützliche Literatur	Kutoyants, Y. A. (2004). Statistical Inference for Ergodic Diffusion Processes. Springer, New York. Liptser, R. S. and Shiryaev, A. N. (2001). Statistics of Random Processes, volume 1: General Theory. Springer, Berlin. Prakasa Rao, B. (1999). Statistical Inference for Diffusion Type Processes. Arnold, Oxford University Press, London, New York.			

Adaptive finite element methods with application to eigenvalue and obstacle problems

Module	Code	Name		
	MH43	Adaptive finite element methods with application to eigenvalue and obstacle problems		
	Credit Points	**Workload**	**Duration**	**Cycle**
	6 CP	180 h	1 Semester	
Program	Master Mathematics, Master Scientific Computing			
Form of teaching	Lecture course 2 hours + exercise session 2 hours			
Objectives	Learn foundations in the numerical analysis of the adaptive finite element method (AFEM).			
Course description	• Derivation of residual based *a posteriori* error estimators • Convergence of the AFEM • Quasi-optimality of the AFEM • Application of the mathematical tools to eigenvalue and obstacle problems • Numerical implementation of the AFEM with the software package deal.II			
Learning outcomes	Ability to solve homework problems and present them in exercise sessions.			
Prerequisites	none			
Suggested previous knowledge	Knowledge of the (Galerkin) finite element method (MH7).			
Grading policy	Participation in the discussion of the homework exercises. Details will be given by the lecturer at the beginning of the course.			
Suggested literature	Ainsworth, Mark, und John Tinsley Oden. 2000. *A posteriori error estimation in finite element analysis.* New York; Weinheim [u.a.]: Wiley. VerfÃijrth, RÃijdiger. 1996. *A review of a posteriori error estimation and adaptive mesh refinement techniques.* Chichester; Stuttgart; Leipzig [u.a.]: Wiley-Teubner.			

Learnability and Numberings of Families of Computably Enumerable Sets

Modul	**Code** MH44	**Name** Learnability and Numberings of Families of Computably Enumerable Sets		
Umfang 3 SWS	**Leistungspunkte** 4 CP	**Workload** 120 h	**Dauer** 1 Semester	**Turnus**
Verwendbarkeit	Mathematik (Master, Lehramt, Diplom)			
Lehrform	Vorlesung 2 SWS + Übungen 1 SWS			
Lernziel	Kennenlernen der zentralen Ergebnisse der rekursionstheoretischen Lerntheorie (Induktive Inferenz) und der Theorie effektiver Nummerierungen, sowie das Erlernen der in diesen Gebieten verwendeten Techniken aus der Berechenbarkeitstheorie (insbesondere Prioritätsargumente)			
Inhalt	Inductive Inference is a computability theoretic variant of algorithmic learning. There are various learning criteria studied in this theory. For instance the learner, which is represented by a Turing machine in this model, has to learn (the index of) a computably enumerable (c.e.) set given more and more elements of the set where he is allowed to change its mind finitely often ("explanatory learning from text"). In the course an introduction to the theory of inductive inference is given. Moreover, some recent results relating the learnability of families of c.e. sets to the uniqueness of their computable numberings. In order to put these results into context, also the basic results on computable numberings of families of c.e. sets are given. (The lectures are in English.)			
Vermittelte Kompetenzen	Selbständiges Lösen von Problemen aus dem Themenbereich			
Teilnahme-voraussetzungen	Keine			
Nützliche Vorkenntnisse	Gute Grundkenntnisse aus der Berechenbarkeitstheorie, wie sie etwa in der Vorlesung "Theoretische Informatik" vermittelt werden			
Prüfungs-modalitäten	Lösung von Übungsaufgaben und benotete mündliche Prüfung. Art und Zeitrahmen einer Wiederholungsprüfung werden vom Dozenten festgelegt und zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.			
Nützliche Literatur	S.Jain, D.Osherson, J.S.Royer, A.Sharma: Systems That Learn, An Introduction to Learning Theory (Second Edition), MIT Press, 1999.			

Seminar

<table>
<tr><td>Modul</td><td>Code</td><td colspan="3">Name
Seminar</td></tr>
<tr><td>Umfang</td><td>Leistungspunkte
6 CP</td><td>Workload
180 h</td><td>Dauer
1 Semester</td><td>Turnus</td></tr>
<tr><td>Verwendbarkeit</td><td colspan="4">Mathematik Master, Mathematik Bachelor, Mathematik Lehramt</td></tr>
<tr><td>Lehrform</td><td colspan="4">aktive und passive Teilnahme an Vorträgen 2 SWS + Tutorium 2 SWS</td></tr>
<tr><td>Lernziel</td><td colspan="4">Befähigung mathematische Literatur auf Masterniveau (in der Regel ein anspruchsvollerer Text) zu lesen, sich selbständig mit einer mathematischen Fragestellung zu beschäftigen und hierüber vorzutragen. Dies beinhaltet insbesondere ein dem Vortrag vorausgehendes umfangreiches Beratungsgespräch.</td></tr>
<tr><td>Inhalt</td><td colspan="4">nach Absprache mit dem Dozenten</td></tr>
<tr><td>Vermittelte Kompetenzen</td><td colspan="4">Die Befähigung, mathematische Argumente klar und verständlich einem kleineren Kreis von Hörern mitzuteilen.</td></tr>
<tr><td>Teilnahme-voraussetzungen</td><td colspan="4">keine</td></tr>
<tr><td>Nützliche Vorkenntnisse</td><td colspan="4">werden vom Dozenten bekanntgegeben</td></tr>
<tr><td>Prüfungs-modalitäten</td><td colspan="4">in der Regel mindestens ein 90-minütiger benoteter Vortrag</td></tr>
<tr><td>Nützliche Literatur</td><td colspan="4">wird vom Dozenten bekanntgegeben</td></tr>
</table>

Masterseminar

Modul	Code	Name		
		Masterseminar		
Umfang	**Leistungspunkte**	**Workload**	**Dauer**	**Turnus**
	8 CP	240 h	1 Semester	
Verwendbarkeit	Mathematik Master			
Lehrform	aktive + passive Teilnahme an Vorträgen (2 SWS)			
Lernziel	Erwerb und Kommunikation komplexer mathematischer Sachverhalte			
Inhalt	Vorstellung der Masterarbeit vor Betreuer und anderen Masterstudierenden in Form eines Vortrags			
Vermittelte Kompetenzen	Die Befähigung, einen umfangreichen mathematischen Themenkreis klar und verständlich einem kleineren Kreis von Hörern zu vermitteln			
Teilnahmevoraussetzungen	keine			
Nützliche Vorkenntnisse	werden vom Dozenten bekanntgegeben			
Prüfungsmodalitäten	in der Regel ein etwa 1-stündiger benoteter Vortrag			
Nützliche Literatur	wird vom Dozenten bekanntgegeben			