Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Modulhandbuch

für den Studiengang

Master of Science Mathematik

(Prüfungsordnungsversion: 20192)

für das Wintersemester 2026/27

Weitere Informationen zum Studiengang sind in der allgemeinen Prüfungsordnung Data Science, Mathematik, Technomathematik und Wirtschaftsmathematik sowie in der Fachprüfungsordnung Mathematik zu finden. Hier ist ein Link.
Weitere Informationen zu den einzelnen Modulblöcken finden Sie auf der Webseite der Studienfachberatung Mathematik. Hier ist ein Link.

Inhaltsverzeichnis

Masterseminar (65955)....7
Masterarbeit (M.Sc. Mathematik 20192) (1999)....9
Nebenfach (außermathematisch) (1760)....11
Studienrichtung Algebra und Geometrie
- Algebraische Kurven (65972)....13
- Algebraische Zahlentheorie (65889)....14
- Analytische Zahlentheorie (65973)....15
- Convex Geometry (65066)....16
- Darstellungstheorie von Lie-Algebren (65934)....18
- Darstellungstheorie von Lie-Algebren (65975)....19
- Differentialgeometrie (65879)....20
- Differentialtopologie (DiffTop) (65707)....22
- Einführung in die kategorielle Homotopietheorie (65874)....24
- Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD) (65706)....26
- Homologische Algebra (65978)....28
- Geometrie von Mannigfaltigkeiten (65976)....30
- Introduction to abstract harmonic analysis (65099)....32
- Introduction to Operator Algebras (65079)....34
- Klassische Mechanik (65966)....36
- Kommutative Algebra (65943)....37
- Kryptographie I (65979)....38
- Kryptographie II (65980)....40
- Lie-Algebren (65981)....41
- Lie-Gruppen (720057)....42
- Quantenmechanik (65078)....44
- Quantenmechanik 2 (65098)....45
- Reading Course: Quanteninformationstheorie (65709)....46
- Reading Course in Topos Theory (Topoi) (65705)....48
- Reading Seminar: Unitary representation theory for groups and C*-algebras (65932)....49
- Tensorkategorien (65939)....51
- Unitäre Darstellungstheorie (65971)....53
- Zeitgenössische Algebraische Geometrie (65726)....55
- Seminar (65950)....56
- Algebraische Topologie (524407)....58
- Semigroups of linear operators (65273)....59
- Vertexalgebren (65859)....61
- Lie Superalgebren (65837)....62
- Diophantische Geometrie (390493)....64

Studienrichtung Analysis und Stochastik
- Approximationstheorie (65886)....66
- Ausgewählte Kapitel der reellen Analysis (65947)....68
- Ausgewählte Kapitel zu Partiellen Differentialgleichungen (65982)....70
- Convex Geometry (65066)....71
- Data-driven methods for dynamical systems (65876)....73
- Differentialgeometrie (65879)....75
- Differentialtopologie (DiffTop) (65707)....77
- Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD) (65706)....79
- Fortgeschrittene Risikoanalyse 1 (65963)....81
- Fortgeschrittene Risikoanalyse 2 (65951)....82

Fortgeschrittene Themen der Stochastik (65065)....83
Fourier Methods for PDEs (65058)....85
Funktionalanalysis II (65927)....87
Geometrie von Mannigfaltigkeiten (65976)....88
Geometrische Maßtheorie I (65944)....90
Geometrische Maßtheorie II (65722)....92
Hauptseminar Quantitatives Risikomanagement (65861)....93
Introduction to abstract harmonic analysis (65099)....94
Introduction to material- and shape optimization (65915)....96
Introduction to Operator Algebras (65079)....97
Klassische Mechanik (65966)....99
Lie-Gruppen (720057)....100
Mathematische Statistik (65969)....102
Modeling and analysis in continuum mechanics I (65860)....103
Modeling and analysis in continuum mechanics II (65865)....105
Modul Conservation Laws (65887)....107
Navier Stokes Equations (65888)....109
Neural Network Approximation (65059)....111
Numerische Behandlung Elliptischer PDEs (65878)....113
Partielle Differentialgleichungen I (65123)....115
Partielle Differentialgleichungen II (409733)....116
Partielle Differentialgleichungen III (65081)....118
Quantenmechanik (65078)....120
Quantenmechanik 2 (65098)....121
Reading Course: Partielle Differentialgleichungen (65721)....122
Reading Course: Quanteninformationstheorie (65709)....124
Reelle Analysis (65957)....126
Seminar Approximationstheorie (65097)....127
Spektraltheorie (65077)....129
Statistische Mechanik (65942)....131
Steuerung partieller Differentialgleichungen (364959)....132
Stochastische Analysis (65970)....134
Theorie parabolischer Differentialgleichungen (ThpD) (65704)....135
Theory of stochastic evolution equations (65907)....136
Unitäre Darstellungstheorie (65971)....137
Seminar (65950)....139
Analytische Zahlentheorie (65973)....141
Semigroups of linear operators (65273)....142
Algebraische Quantenfeldtheorie (65897)....144
Higher Analysis (65857)....145
Mathematische Grundlagen der Quantisierungstheorie und Anwendungen (65858)....147
Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung
Advanced algorithms for nonlinear optimization (65916)....150
Advanced nonlinear optimization (65920)....151
Advanced solution techniques (65901)....152
Approximationstheorie (65886)....154
Ausgewählte Kapitel der Nichtlinearen Optimierung (294239)....156
Ausgewählte Kapitel der reellen Analysis (65947)....157
Convex Geometry and Applications (65086)....159
Data-driven methods for dynamical systems (65876)....160
Discrete optimization I (65917)....162
Discrete optimization III (65910)....163
Dualität und Optimierung (65926)....165

Efficient discretization of two-phase flow (65083)....167
Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD) (65706)....168
Fourier Methods for PDEs (65058)....170
Funktionalanalysis II (65927)....172
Introduction to abstract harmonic analysis (65099)....173
Introduction to material- and shape optimization (65915)....175
Inverse Problems (65928)....176
Lecture Series Partial Differential Equations, Control and Numerics (PdeConNum) (65700)....177
Mathematical Image Processing (48241)....179
Mathematical modeling in the life sciences (65911)....181
Mathematics of Learning (65785)....182
Mathematics of multiscale models (65906)....183
Modeling and analysis in continuum mechanics I (65860)....184
Modelling and simulation of biomembranes (65891)....186
Modeling, simulation and optimization (Practical Course) (65870)....188
Modul Conservation Laws (65887)....190
Navier Stokes Equations (65888)....192
Neural Network Approximation (65059)....194
Nichtglatte Optimierung (nicht vertieft) (65952)....196
Nichtglatte Optimierung (vertieft) (65883)....198
Numerics of incompressible flows I (65904)....200
Numerics of incompressible flows II (65905)....202
Numerics of stochastic evolution equations (65908)....204
Numerik der Optimalen Steuerungen (65954)....205
Numerische Behandlung Elliptischer PDEs (65878)....207
Optimization in industry and economy (65923)....209
Optimization with partial differential equations (advanced) (65921)....211
Partielle Differentialgleichungen I (65123)....212
Partielle Differentialgleichungen II (409733)....213
Partielle Differentialgleichungen III (65081)....215
Polynomial Optimization and Application (65877)....217
Practical course on finite element methods for phase-separation equations (65095)....219
Projektseminar Optimierung (Master) (562819)....220
Reading Course: Partielle Differentialgleichungen (65721)....222
Reelle Analysis (65957)....224
Robust optimization II (65918)....225
Selected Topics in Mathematics of Learning (65789)....226
Seminar Approximationstheorie (65097)....227
Steuerung partieller Differentialgleichungen (364959)....229
Subspace correction methods (65909)....231
Theorie der Optimalsteuerungen (65959)....232
Transport and reaction in porous media: Modelling (65902)....234
Transport and reaction in porous media: Simulation (65903)....236
Unitäre Darstellungstheorie (65971)....238
Vertiefte Nichtlineare Optimierung (65960)....240
Seminar (65950)....242
Semigroups of linear operators (65273)....244
Modeling and analysis in continuum mechanics II (65865)....246
Lektüre von Arbeiten zur Risikoanalyse (LektRA) (65702)....248
Nichtlineare Optimierung 2 (65856)....249
Numerics of incompressible flows I (65853)....251

Numerics of incompressible flows II (65854)..... 253
Neural Network Theory (65838)..... 255

1	**Modulbezeichnung** 65955	**Masterseminar** Master´s seminar	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Masterseminar: Masterseminar (2 SWS) Masterseminar: Masterseminar "Optimization under Uncertainty" (2 SWS) Seminar: Masterseminar: Zufallsmatrizen (2 SWS) Seminar: Seminar Zahlentheorie (2 SWS) Hauptseminar: Masterseminar Spektraltheorie (2 SWS) Seminar: Seminar Functional Data Analysis	5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS -
3	Lehrende	Dr. Kevin-Martin Aigner Martin Betz Prof. Dr. Torben Krüger Prof. Dr. Wolfgang Ruppert Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	Die aktuell angebotenen Themen werden von den Dozenten rechtzeitig bekannt gegeben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten sich vertiefende Fachkompetenzen in einem Teilgebiet der Mathematik; • analysieren Fragestellungen und Probleme aus dem gewählten Teilgebiet der Mathematik und lösen diese mit wissenschaftlichen Methoden; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren die mathematischen Sachverhalte in mündlicher und schriftlicher Form; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Vorgaben der Dozierenden als dringende Empfehlung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Pflichtmodul Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Seminarleistung (Vortrag ca. 55 Min), ggf. mit Ausarbeitung (ca. 5-10 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	in jedem Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	nach Vorgabe der Dozentin/des Dozenten

1	**Modulbezeichnung** 1999	**Masterarbeit (M.Sc. Mathematik 20192)** Master's thesis	**30 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	Masterarbeit: - Eigenständige Lösung einer wissenschaftlichen Aufgabe im Bereich der Mathematik unter Anleitung und schriftliche Ausarbeitung. - Betreuung durch Hochschullehrer/in der Mathematik Masterkolloquium: - Präsentation des im Rahmen der Masterarbeit erarbeiteten Themas
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Masterarbeit:Die Studierenden - bearbeiten eine Problemstellung aus dem Bereich der Mathematik mit wissenschaftlichen Methoden selbständig und stellen diese strukturiert in schriftlicher Form dar; - wirken bei der Bearbeitung aktueller Forschungsthemen problemorientiert mit und definieren anhand dieses Wissens neue Forschungsziele. Masterkolloquium: Die Studierenden - verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren die erarbeiteten Inhalte und Resultate der Masterarbeit; - tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Es wird dringend empfohlen, dass die übrigen Mastermodule vor Beginn der Masterarbeit abgeschlossen sind.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Pflichtmodul Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	schriftlich (6 Monate) mündlich (75 Minuten) Masterarbeit (ca. 60 Seiten) und Vortrag mit mündlicher Prüfung (ca. 60 + 15 Min.)
11	**Berechnung der Modulnote**	schriftlich (85%) mündlich (15%) Masterarbeit 85 %, Vortrag mit mündlicher Prüfung 15 %
12	**Turnus des Angebots**	in jedem Semester

13	**Wiederholung der Prüfungen**	Die Prüfungen dieses Moduls können nur einmal wiederholt werden.
14	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 0 h Eigenstudium: 900 h
15	**Dauer des Moduls**	1 Semester
16	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch
17	**Literaturhinweise**	nach Vorgabe der Betreuerin/des Betreuers der Masterarbeit

1	**Modulbezeichnung** 1760	**Nebenfach (außermathematisch)** Elective modules	**20 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen		
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	
5	**Inhalt**	keine Inhaltsbeschreibung hinterlegt!
6	**Lernziele und Kompetenzen**	keine Beschreibung der Lernziele und Kompetenzen hinterlegt!
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Pflichtmodul Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	
11	**Berechnung der Modulnote**	
12	**Turnus des Angebots**	keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	**Dauer des Moduls**	?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	

Studienrichtung Algebra und Geometrie

1	**Modulbezeichnung** 65972	**Algebraische Kurven** Algebraic curves	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert
5	**Inhalt**	• Grundbegriffe der Algebraischen Geometrie • Nichtsinguläre Kurven • Divisoren • Differentialformen • Satz von Riemann-Roch • Kurven vom Geschlecht 1 • Rationale Abbildungen zwischen Kurven • Hyperelliptische Kurven • Anwendungen in Kryptographie und Zahlentheorie Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden grundlegende Begriffe aus der Theorie der algebraischen Kurven, • setzen geeignete Software ein um praktisch mit algebraischen Kurven umzugehen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	solide Grundkenntnisse der Algebra und Körpertheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zum Modul

1	**Modulbezeichnung** 65889	**Algebraische Zahlentheorie** Algebraic Number Theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert
5	**Inhalt**	• Algebraische Zahlkörper • Moduln in algebraischen Zahlkörpern, hermitesche Normalform • Ordnungen, Maximalordnung • Ideale, invertierbare Ideale, Klassengruppe, Dedekindringe • Gitter, Gitterpunktsatz von Minkowski, LLL-Reduktion • Einheiten, Dirichletscher Einheitensatz • Endlichkeit der Klassenzahl • Zahlkörpersieb, Faktorisierung mit algebraischen Zahlen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden grundlegende Begriffe der Algebraischen Zahlentheorie. Sie verwenden Software – wie SAGE – um praktisch mit den besprochenen Begriffen umzugehen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Algebra und Körpertheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskript zum Modul

1	**Modulbezeichnung** 65973	**Analytische Zahlentheorie** Analytic number theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert
5	**Inhalt**	• Grundlegende Fragestellungen der Analytischen Zahlentheorie • Abschätzungen mit elementaren Methoden, partielle Summation • Dirichlet-Reihen und der Primzahlsatz • Dirchlet-L-Reihen und der Dirichletsche Primzahlsatz Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden grundlegende Begriffe der Analytischen Zahlentheorie. Sie wenden Methoden der Analysis und Funktionentheorie auf zahlentheoretische Fragestellungen an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse der Analysis, Algebra und Funktionentheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskript zum Modul

1	**Modulbezeichnung** 65066	**Convex Geometry**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	The module comprises of two parts. The first part is a general introduction to convex geometry, where basic concepts and tools will be introduced, such as separation, the classical results of Carathéodory, Helly and Radon and symmetrization techniques. The second part will be more specialized, including ellipsoidal approximation, volume concentration of convex bodies and high-dimensional phenomena.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • will know the foundations of classical convex geometry • can apply concepts and tools from modern convex geometry. • can explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Linear Algebra and Analysis is required • Basic knowledge in Probability Theory is recommended
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Mandatory elective module for: • MSc in Data Sciences within Mathematical Theory / Fundamentals of Data Science • MSc in Mathematics within Studienrichtung Algebra und Geometrie • MSc in Mathematics within Modelling, Simulation and Optimization • MSc in Mathematics and Economics within Optimization and process management
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten) Oral exam (30 minutes)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) 100% oral exam
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	TBA

1	**Modulbezeichnung** 65934	**Darstellungstheorie von Lie-Algebren** Representation theory of Lie algebras	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Peter Fiebig
5	**Inhalt**	Höchstgewichtsdarstellungen, Kategorie O, BGG-Reziprozität, Charakterformeln
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden weiterführende Begriffe der Darstellungstheorie am Beispiel von Lie-Algebren • liefern Beispiele, die weiterführende Konzepte der Darstellungstheorie veranschaulichen
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Vorlesung Lie-Algebren als dringende Empfehlung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 240 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	J. Humphreys: Representations of semisimple Lie algebras in the BGG category O, AMS Publications

1	**Modulbezeichnung** 65975	**Darstellungstheorie von Lie-Algebren** Representation theory of Lie algebras	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Peter Fiebig
5	**Inhalt**	keine Inhaltsbeschreibung hinterlegt!
6	**Lernziele und Kompetenzen**	keine Beschreibung der Lernziele und Kompetenzen hinterlegt!
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 26 h Eigenstudium: 124 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65879	**Differentialgeometrie** Differential geometry	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Jens Habermann
5	**Inhalt**	Eine Auswahl aus den folgenden Themen: • Mannigfaltigkeiten (Tangentialvektoren, Vektorfelder, Flüsse) • Vektorbündel (Tensorbündel und (Semi-)Riemannsche Strukturen) • Differentialformen (Orientierung, Integration) • Affine Zusammenhänge (Paralleltransport, Krümmung) • Geodäten (Distanz, Jacobi Vektorfelder) • Einführung in der geometrischen Analysis • Symplektische und Poisson-Strukturen • Liegruppen und glatte Wirkungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären die grundlegende Theorie der Mannigfaltigkeiten und ihrer Struktur, • erkennen und verwenden zusätzliche geometrische Strukturen auf Mannigfaltigkeiten wie zum Beispiel affine Zusammenhänge, Riemannsche Metriken oder symplektische Formen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Topologie, Analysis, Lineare Algebra und Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (90 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• S. Lang: "Differential and Riemannian manifolds" • J.M. Lee: "Introduction to Riemannian Manifolds" • R.L. Bishop and R.J. Crittenden, "Geometry of manifolds" • F. Warner: "Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups" • M. Do Carmo: “Riemannian Geometry”

1	**Modulbezeichnung** 65707	**Differentialtopologie (DiffTop)** Differential topology (DiffTop)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Die Differentialtopologie untersucht Mannigfaltigkeiten und differenzierbare Abbildungen zwischen ihnen. Mannigfaltigkeiten sind topologische Räume, die lokal dem R^n gleichen. Beispiel: Niveaumengen regulärer Werte von Funktionen. • Differenzierbare Mannigfaltigkeiten, Tangential- und Kotangentialbündel (Wh.) • Einbettungen und Immersionen • Der Satz von Morse und Sard • Transversalität • Vektorbündel • Abbildungsgrad und Eulercharakteristik • Morse-Theorie Die Pra?sentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden die Konzepte der Differentialtopologie und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Inhalte einer Lehrveranstaltung 'Topologie'
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Theodor Bröcker; Klaus Jänich: Einfuehrung in die Differentialtopologie. Springer

		• Morris Hirsch: Differential Topology. Springer Graduate Texts in Mathematics. • Victor Guillemin; Alan Pollack: Differential Topology. Prentice-Hall • Andreas Knauf: Skript

1	**Modulbezeichnung** 65874	**Einführung in die kategorielle Homotopietheorie** Introduction to Categorical Homotopie Theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Cathérine Meusburger
5	**Inhalt**	• (Ko)limiten, (Ko)enden, Kan-Erweiterungen • Komma-Kategorien und die Grothendiek-Konstruktion • simpliziale Objekte, Kan-Komplexe, Quasi-Kategorien, • Nerven, Bousfield-Kan Homotopie-Kolimiten, klassifizierende Räume
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erlernen grundlegende und fortgeschrittene kategorielle Konzepte und Methoden • vernetzen diese mit verschiedenen Gebieten der Mathematik • wenden sie auf konkrete Probleme aus Algebra und Topologie an • erlernen mathematische Werkzeuge der modernen Homotopietheorie
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Vorlesung Einführung in die Darstellungstheorie oder Vorkenntnisse zu Kategorien aus anderen Vorlesungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	jedes 4. Semester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Emily Riehl: Category Theory in Context • Emily Riehl: Categorical Homotopy Theory • Birgit Richter: From Categories to Homotopy Theory • Paul G. Goerss, John F. Jardine, Simplicial Homotopy Theory

1	**Modulbezeichnung** 65706	**Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD)** Introduction to unitary representation theory (EUniD)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen • Satz von Stone (unitaere Einparametergruppen) • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Spektralmasse und messbarer Funktionalkalkuel • Positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen), Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65978	**Homologische Algebra** Homological Algebra	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Cathérine Meusburger
5	**Inhalt**	• Kettenkomplexe und ihre Homologien/Kohomologien, • Singuläre und simpliziale Homologie topologischer Räume, • Hochschild-Homologie und -Kohomologie, • Gruppenkohomologie, • Homologie und Kohomologie von Lie-Algebren, • simpliziale Methoden, • Auflösungen und derivierte Funktoren.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erlernen grundlegende und fortgeschrittene Methoden der homologischen Algebra • wenden diese Methoden und die erlernten rechnerischen Werkzeuge auf konkrete algebraische und topologische Fragestellungen an • stellen Verbindungen zwischen topologischen und algebraischen Homologietheorien und Kohomologietheorien her Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Übungen und wöchentliche Hausaufgaben.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Topologie, und gegebenenfalls in Darstellungstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch

16	**Literaturhinweise**	• Weibel, An introduction to homological algebra, Cambridge Studies in Advanced Mathematics • Hilton, Stammbach, A Course in Homological Algebra, Springer • MacLane, Homology, Springer

1	**Modulbezeichnung** 65976	**Geometrie von Mannigfaltigkeiten** Geometry of manifolds	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zur Geometrie von Mannigfaltigkeiten (2 SWS) Vorlesung: Geometrie von Mannigfaltigkeiten (4 SWS)	3 ECTS 7 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	Eine Auswahl aus den folgenden Themen: • Mannigfaltigkeiten (Tangentialvektoren, Vektorfelder, Flüsse) • Vektorbündel (Tensorbündel und (Semi-)Riemannsche Strukturen) • Differentialformen (Orientierung, Integration) • Affine Zusammenhänge (Paralleltransport, Krümmung) • Geodäten (Distanz, Jacobi Vektorfelder) • Einführung in der geometrischen Analysis • Symplektische und Poisson-Strukturen • Liegruppen und glatte Wirkungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären die grundlegende Theorie der Mannigfaltigkeiten und ihrer Struktur, • erkennen und verwenden zusätzliche geometrische Strukturen auf Mannigfaltigkeiten wie zum Beispiel affine Zusammenhänge, Riemannsche Metriken oder symplektische Formen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Topologie, Analysis und Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (90 Minuten) mündliche Prüfung 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%) mündliche Prüfung 100%
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• S. Lang: "Differential and Riemannian manifolds"

		• J.M. Lee: "Introduction to Riemannian Manifolds" • R.L. Bishop and R.J. Crittenden, "Geometry of manifolds" • F. Warner: "Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups"

1	**Modulbezeichnung** 65099	**Introduction to abstract harmonic analysis**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	• Haar Integration on Locally Compact Groups • The Fourier Transform • Duality for Abelian Groups • Plancherel Theorem • Pontryagin Duality • The Structure of LCA-Groups • The Peter-Weyl Theorem for Compact Groups • Stone-von Neumann Theorem
6	**Lernziele und Kompetenzen**	After following this course, the student (1) knows the integration on locally compact groups; (2) has acquired insight in the elementary theory on duality for abelian groups and compact groups; (3) can illustrate the various concepts and results treated in this course with relevant examples; (4) has gained basic intuition about unitary dual and is able to verify intuitive conjectures by giving either rigorous proofs or counterexamples; (5) -> is able to explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Knowledge of set theoretic topology, Lebesgue integration, and functional analysis on an introductory level.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Principles of Harmonic Analysis-Springer International Publishing (2014), Second Edition by Anton Deitmar and Siegfried Echterhoff

1	**Modulbezeichnung** 65079	**Introduction to Operator Algebras** Introduction to operator algebras	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	• Banach algebras: Basic properties. • Gelfand's theory of commutative Banach algebras and C*-algebras: a) Special elements such as unitary, self-adjoint, normal, positive elements and their spectrum); b) The continuous functional calculus for normal elements in a C*-algebra; c) Gelfand-Naimark theorem. • C*-algebras (States and representations, and GNS construction) • von Neumann algebras (Bicommutant theorem, Kaplansky density theorem, Borel functional calculus)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	After following this course the student • knows the notion of spectrum in several contexts; in simple cases, he/she can compute the spectrum,has acquired insight in the elementary theory of operator algebras, in particular C*-algebras and von Neumann algebras, • can deal with functions of operators, • can illustrate the various concepts and results treated in this course with relevant examples, • has gained intuition about linear mappings between infinite-dimensionel Hilbert spaces and is able to verify intuitive onjectures by giving either rigorous proofs or counterexamples, • is able to explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: basic knowledge of operators on Hilbert spaces as provided within the lecture on Functional Analysis.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)

12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	We will mainly use the book C*-Algebras and Operator Theory, Academic Press, 1990,, Gerard J. Murphy Several good books to read: • K. Zhu: An introduction to Operator Algebras. (a concise introduction) • R.V. Kadison and J.R. Ringose: Fundamentals of the theory of operator algebras. Volumes 1 & 2. (This contains far more material than we will be able to cover.) • B. Blackadar: Operator algebras. Theory of C*-algebras and von Neumann algebras. (Contains lots of material, but does not include detailed proofs for everything.) • K. Davidson: C*-algebras by example. (Useful example-based approach. But be careful: some parts are known to have mistakes.)

1	**Modulbezeichnung** 65966	**Klassische Mechanik** Classical mechanics	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Dynamische Systeme • Hamiltonsche Systeme • Symplektische Geometrie • Stabilität und Verzweigungen • Geodätische Bewegung • Ergodische dynamische Systeme • Klassische Streutheorie • Kanonische Transformationen • Lagrange-Mannigfaltigkeiten und Integrable Systeme • Störungstheorie und KAM-Theorie Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden die geometrischen Konzepte der mathematischen Beschreibung der Klassischen Mechanik und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Lineare Algebra, Analysis, Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Abraham, Marsden, Classical Mechanics • Arnold, Classical Mechanics

1	**Modulbezeichnung** 65943	**Kommutative Algebra** Commutative algebra	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Kommutative Algebra (4 SWS) Übung: Übungen zur Kommutativen Algebra	10 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Thomas Creutzig	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Peter Fiebig
5	**Inhalt**	• Kommutative Ringe • Module kommutativer Ringe • [weitere Themen nach Interesse] Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden die grundlegenden Begriffe und Methoden der kommutativen Algebra • liefern Beispiele, die wichtige Definitionen und Sätze der kommutativen Algebra veranschaulichen
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Algebra und Körpertheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 240 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Atiyah, M. F.; Macdonald, I. G. Introduction to commutative algebra. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass.-London-Don Mills, Ont. 1969 ix+128 pp. • Eisenbud, David Commutative algebra. With a view toward algebraic geometry. Graduate Texts in Mathematics, 150. Springer-Verlag, New York, 1995. xvi+785 pp. ISBN: 0-387-94268-8; 0-387-94269-6 • Matsumura, Hideyuki Commutative algebra. Second edition. Mathematics Lecture Note Series, 56. Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc., Reading, Mass., 1980. xv+313 pp. ISBN: 0-8053-7026-9

1	**Modulbezeichnung** 65979	**Kryptographie I** Cryptography I	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zur Kryptographie I / Kryptographie für Lehramt (2 SWS) Vorlesung: Kryptographie I / Kryptographie für Lehramt (4 SWS) Übung: Rechnerübung zur Kryptographie 1 (2 SWS)	- 10 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Daniel Tenbrinck	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Daniel Tenbrinck
5	**Inhalt**	• Einführung in die Kryptographie • Klassische Chiffrierverfahren • Grundeigenschaften der Ringe Z und Z/nZ • Primzahltests • Public-Key-Kryptosysteme RSA • Die Pollard-rho-Methode zur Faktorisierung • Kryptographische Anwendungen diskreter Logarithmen • Kryptographische Hashfunktionen • Digitale Signaturen • Methoden zur Berechnung diskreter Logarithmen • Enigma Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären wichtige kryptographische Verfahren und wenden diese praktisch an • nützen Software wie Maple, Python3 oder Sage zur Ver- und Entschlüsselung sowie zur Kryptoanalyse • erläutern wichtige zahlentheoretische Algorithmen, ihre theoretischen Hintergründe und ihre Funktion bei der Konstruktion von Public-Key-Kryptosystemen
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Grundkenntnisse aus den Modulen Analysis I und Lineare Algebra I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	schriftlich Dauer der Klausur: 90 min
11	**Berechnung der Modulnote**	schriftlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zum Modul • J. Buchmann: Einführung in die Kryptographie • J. Hoffstein, J. Pipher, J. H. Silvermann: An Introduction to Mathematical Cryptography

1	**Modulbezeichnung** 65980	**Kryptographie II** Cryptography II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert
5	**Inhalt**	Die Vorlesung wird mit wechselnden Schwerpunkten angeboten, wobei jeweils ein spezielles zahlentheoretisches Gebiet (wie elliptische Kurven, quadratische Zahlkörper, Gitter) die Grundlage für kryptographische Anwendungen bildet. Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären fortgeschrittene kryptographische Verfahren und ihre mathematischen Hintergründe • setzen geeignete Software zum praktischen Umgang mit den besprochenen Kryptosystemen ein
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Kryptographie I • Algebra
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 4
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskript zum Modul

1	**Modulbezeichnung** 65981	**Lie-Algebren** Lie algebras	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Peter Fiebig
5	**Inhalt**	Grundlagen zu folgenden Themen: • Definition einer Lie-Algebra, • Definition von Darstellungen • Nilpotente und auflösbare Lie-Algebren • Halbeinfache Lie-Algebren • Wurzelsysteme und die Klassifikation halbeinfacher Lie-Algebren • Charakterformeln Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden die grundlegenden Begriffe in der Struktur- und Darstellungstheorie von Lie-Algebren. • Insbesondere erläutern sie beispielhaft Klassifikationsprinzipien in der Mathematik.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundkenntnisse in Algebra
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • J. Humphreys: Introduction to Lie algebras and representation theory, Springer

1	**Modulbezeichnung** 720057	**Lie-Gruppen** Lie groups	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Lie-Algebra einer Lie-Gruppe, Exponentialfunktion • Abgeschlossene Untergruppen, Quotienten, homogene Räume • Überlagerungen von Lie-Gruppen, Strukturtheorie, Integrationsprobleme • Elementare Anwendungen in der Darstellungstheorie Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt in den Uebungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden verwenden die grundlegenden Methoden der Lie'schen Gruppentheorie und insbesondere den Übersetzungsmechanismus von Lie-Algebra zur Gruppe mittels der Exponentialfunktion. Sie ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra, Geometrie und Analysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Grundkenntnisse über Mannigfaltigkeiten (Vektorfelder, Flüsse), • Grundkenntnisse in Topologie (Bogenzusammenhang, Überlagerungen)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt

16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • Hilgert/Neeb, Structure and Geometry of Lie Groups

1	**Modulbezeichnung** 65078	**Quantenmechanik** Quantum mechanics	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Selbstadjungiertheit unbeschränkter Operatoren • Teilchen im Magnetfeld • Periodizität und Quasiperiodizität Zufällige Potentiale
6	**Lernziele und Kompetenzen**	• Die Studierenden erkla?ren und verwenden die geometrischen und analytischen Konzepte der mathematischen Beschreibung der Quantenmechanik und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Vorlesung zur Funktionalanalysis oder Quantenmechanik
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Skript • M. Reed, B. Simon: Methods of Modern Mathematical Physics. Academic Press • H. Cycon, R. Froese, W. Kirsch, B. Simon: Schrödinger Operators. Springer W. Thirring: Lehrbuch der Mathematischen Physik. Band 3: Quantenmechanik von Atomen und Molekülen. Springer

1	**Modulbezeichnung** 65098	**Quantenmechanik 2** Quantum mechanics 2	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Weitere Informationen finden sich im Modulhandbuch.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Weitere Informationen finden sich im Modulhandbuch.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65709	**Reading Course: Quanteninformationstheorie** Reading course: Quantum information theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Turing-Maschinen • Komplexitätstheorie • Klassische Mechanik und Quantenmechanik • Isomorphismen von C*-Algebren • Zustände • Zusammengesetzte Systeme • Klassische und quantenmechanische Suchprobleme • Klassische Informationstheorie • Quantenmechanische Informationstheorie • Fehlerkorrigierende Quantencodes • Symplektische Quantencodes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten mit neuer wissenschaftlicher Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden relevante Pra?sentations- und Kommunikationstechniken und pra?sentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese kritisch. • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten u? ber Informationen, Ideen, Probleme und Lo?sungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Andreas Knauf: Skript Quanteninformationstheorie • Fabio Benatti: Dynamics, Information and Complexity in Quantum Systems. Springer, 2009 • Thomas Cover, Joy Thomas: Elements of Information Theory. New York: Wiley 1991 • Kenneth Davidson: C?Algebras by Example. American Mathematical Society, 1996 • Roman S. Ingarden, Andrzej Kossakowski, Masanori Ohya: Information Dynamics and Open Systems. Classical and Quantum Approach. Dordrecht: Kluwer 1997 • Dénes Petz: Quantum Information Theory and Quantum Statistics. Springer, 2008

1	**Modulbezeichnung** 65705	**Reading Course in Topos Theory (Topoi)** Reading course in topos theory (Topoi)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Cathérine Meusburger
5	**Inhalt**	• zugrundeliegende Konzepte, Formalismus und einfachere • Anwendungen der Topos Theorie • Die Studierenden erarbeiten die Inhalte gemeinsam mit der Dozentin anhand von Lehrbu?chern und wissenschaftlicher Literatur.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten sich eigenständig anhand von Literatur ein Forschungsgebiet; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese kritisch. • tauschen sich untereinander und mit der Dozentin u? ber Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Vertiefungsmodul Einfu?hrung in die Darstellungstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Robert Goldblatt, Topoi, The Categorial Analysis of Logic • Saunders Mac Lane and Ieke Moerdijk, Sheaves in Geometry and Logic: First Introduction to Topos Theory, • Michael Barr and Charles Wells, Toposes, Triples and Theories

1	**Modulbezeichnung** 65932	**Reading Seminar: Unitary representation theory for groups and C*-algebras** Reading seminar: Unitary representation theory for groups and C*algebras	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	In this lecture, we cover theoretical aspects and solution strategies for difficult integer and mixed-integer optimization problems. First, we show the equivalence between separation and optimization. Then, we present solution strategies for large-scale optimization problems, e.g., decomposition methods and approximation algorithms. Finally, we deal with conditions for the existence of integer polyhedra. We also discuss applications for example from the fields of engineering, finance, energy or public transport.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • use basic terms of discrete optimization • model real-world discrete optimization problems, determine their complexity and solve them with appropriate mathematical methods.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Knowledge in linear and combinatorial optimization, discrete optimization I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	Lecture notes

		Bertsimas, Weismantel: Optimization over Integers, Dynamic Ideas, 2005 Conforti, Cornuéjols, Zambelli: Integer Programming, Springer 2014 Nemhauser, Wolsey: Integer and Combinatorial Optimization, Wiley 1994 Schrijver: Combinatorial optimization Vol. A ? C, Springer 2003 Schrijver: Theory of Linear and Integer Programming, Wiley, 1986 Wolsey: Integer Programming, Wiley, 2021

1	**Modulbezeichnung** 65939	**Tensorkategorien** Tensor categories	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Cathérine Meusburger
5	**Inhalt**	• Monoidale Kategorien und Tensorkategorien • Darstellungstheorie von Hopf Algebren • Faserfunktoren und Rekonstruktion • Verzopfte und symmetrische Tensorkategorien • Anwendungen: Knoten - , Schleifen- und Mannigfaltigkeitsinvarianten, topologische Quantenfeldtheorien Die Präsentation der Inhalte erfolgt in Vorlesungsform
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • wenden die Konzepte der monoidalen und der Tensorkategorie selbständig in verschiedenen Zusammenhängen an • verstehen den Zusammenhang dieser Konzepte mit der Darstellungstheorie von Hopf-Algebren • beschäftigen sich aktiv mit aktuellen Forschungsergebnissen und Anwendungen in der Topologie und mathematischen Physik • tauschen sich untereinander und mir der Dozentin auf wissenschaftlichem Niveau über die Inhalte aus
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Vertiefungsmodul Einführung in die Darstellungstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• P. Etingof, S. Gelaki, D. Nikshych, V. Ostrik: Tensor Categories, AMS Mathematical Surveys and Monographs,205

		• C. Kassel, Quantum Groups, Springer Graduate Texts in Mathematics 155 • S. Majid, Foundations of Quantum Group Theory, Cambridge University Press

1	**Modulbezeichnung** 65971	**Unitäre Darstellungstheorie** Unitary representation theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • >Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen, Satz von Stone • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Projektive Darstellungen, zentrale Erweiterungen • Spektralmasse und direkte Integrale • Reproduzierende Kerne und positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) • Darstellungen semidirekter Produkte • Fockraeume und zweite Quantisierung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • >ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen) • Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	jedes 4. Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul (auf StudOn) • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65726	**Zeitgenössische Algebraische Geometrie** Contemporary algebraic geometry	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Peter Fiebig
5	**Inhalt**	• Schemata • Morphismen • Eigenschaften von Schemata • Eigenschaften von Morphismen • [weitere Themen nach Interesse] Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden die grundlegenden Begriffe und Methoden der zeitgenössischen algebraischen Geometrie • liefern Beispiele, die wichtige Definitionen und Sätze der zeitgenössischen algebraischen Geometrie veranschaulichen
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Algebra und Körpertheorie empfohlen: Grundkenntnisse in Topologie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	deutsch

1	**Modulbezeichnung** 65950	**Seminar**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Seminar: Dispersive PDEs (2 SWS) Seminar: Seminar Zahlentheorie (2 SWS) Hauptseminar: Masterseminar Spektraltheorie (2 SWS) Seminar: Simulation partieller Differentialgleichungen (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Emil Wiedemann Prof. Dr. Lea Boßmann Prof. Dr. Wolfgang Ruppert Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	Die aktuell angebotenen Themen werden von den Dozenten rechtzeitig bekannt gegeben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten sich vertiefende Fachkompetenzen in einem Teilgebiet der Mathematik; • analysieren Fragestellungen und Probleme aus dem gewählten Teilgebiet der Mathematik und lösen diese mit wissenschaftlichen Methoden; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren die mathematischen Sachverhalte in mündlicher und schriftlicher Form; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	nach Vorgabe der Dozentin/des Dozenten
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	in jedem Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 524407	**Algebraische Topologie** Algebraic topology	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Cathérine Meusburger
5	**Inhalt**	keine Inhaltsbeschreibung hinterlegt!
6	**Lernziele und Kompetenzen**	keine Beschreibung der Lernziele und Kompetenzen hinterlegt!
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	**Dauer des Moduls**	?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65273	**Semigroups of linear operators**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Gandalf Lechner
5	**Inhalt**	• Unbounded, closed operators • generators and semigroups • resolvent of a semigroup • Hille-Yosida-Theorem; Lumer-Phillips-Theorem; evolution equations • perturbation and approximation
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are familiar with unbounded operators. They understand the interlink between semigroups and operators. Furthermore, they can apply semigroup theory to the solution of evolution equations.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Strongly recommended: knowledge in functional analysis. • Recommended: some basics about PDEs and maybe some notion of stochastic processes.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig irregularly
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 hrs Eigenstudium: 225 hrs
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• David Applebaum: Semigroups of linear operators (can be donwloaded through https://www.cambridge.org/core/books/semigroups-of-linear-operators/)

		• Ronald Schnaubelt: Lecture Notes on Evolution Equations (pdf will be made available for the participants) • Klaus-Jochen Engel; Rainer Nagel: A short course on operator semigroups, Universitext, Springer 2006<

1	**Modulbezeichnung** 65859	**Vertexalgebren** Vertex algebra	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Einführung in die Theorie der Vertexalgebren: • Formale Potenzreihen und Vertexalgebren • Verschiedene Aspekte von Lokalität • Defintionen und Beispiele, insbesondere Vertexalgebren assoziiert zu einfachen Lie Algebren • Konstruktionen: BRST-reduktion, Coset und Orbifold. • Die Virasorovertexalgebra • Die affine Vertexalgebra assoziiert zu sl(2) • Darstellungen: Definition, Zhu's-algebra, Endlichkeitsbedingungen und Beispiele • Fortgeschrittene Aspekte
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden nennen und erklären den konzeptionellen Rahmen, zentrale Ergebnisse und Techniken der Theorie der Vertexalgebren
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Algebra
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Nach Wahl der Lehrveranstaltung durch die Studierenden
16	**Literaturhinweise**	Bücher von Ben Zvi, Frenkel und Arakawa, Moreau

1	**Modulbezeichnung** 65837	**Lie Superalgebren** Lie Superalgebras	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Einführung in die Theorie der Lie-Superalgebren: *Überblick über die Struktur halbeinfacher Lie-Algebren *die Weylsche Charakterformel *die Strukturtheorie affiner Lie-Algebren *die Weyl-Kac-Charakterformel für integrierbare Darstellungen *die Struktur grundlegender klassischer Lie-Superalgebren und ihrer Affinisierungen *Charakterformeln im Superfall
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden nennen und erklären den konzeptionellen Rahmen, zentrale Ergebnisse und Techniken der Theorie der Lie superalgebren
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Algebra
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in • M.Sc. Mathematik (Studienrichtung „Algebra und Geometrie“) • M.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • ggf. 5. Semester B.Sc. Mathematik (Theoretische Mathematik, Angewandte Mathematik)) Auch offen für Physikstudierende mit entsprechender mathematischer Vorbildung
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Mündliche Prüfung (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Mündliche Prüfung (100 %)

12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	V. G. Kac. Infinite-Dimensional Lie Algebras. Cambridge University Press, 1990 (3rd edition). M. Musson, Lie Superalgebras and Enveloping Algebras, Graduate Studies in Mathematics, Vol. 131, American Mathematical Society, Providence, RI, 2012.

1	**Modulbezeichnung** 390493	**Diophantische Geometrie** Diophantine geometry	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Diophantische Geometrie Übung: Übung zu Diophantische Geometrie	- -
3	Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert	

4	**Modulverantwortliche/r**	
5	**Inhalt**	- Algebraische Varietäten - Ebene projektive Quadriken - abc-Vermutung und abc-Satz für Polynome - Geometrische Addition auf ebenen Kubiken - Elliptische Kurven in Weierstraßscher Normalform - Torsionspunkte auf elliptischen Kurven über Q - Der Satz von Mordell-Weil
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden grundlegende Begriffe der Diophantischen Geometrie. Sie verwenden bei Bedarf geeignete Software, wie SAGE, um Beispiele zu rechnen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	solide Grundkenntnisse der Algebra und Körpertheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 MSc Mathematik: Algebra und Geometrie
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten) mündliche Prüfung (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) mdl. Prüfung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskript zum Modul

Studienrichtung Analysis und Stochastik

1	**Modulbezeichnung** 65886	**Approximationstheorie** Approximation theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Einführung in die klassische Approximationstheorie: z.B. • Satz von Weierstraß (Bernstein Polynome, Verallgemeinerungen) • Approximation periodischer Funktionen (Fejér Kerne, Fourier-Reihen) • Bestapproximation (Existenz und Eindeutigkeit in normierten Räumen), algebraische Polynome, Charaktierisierungssatz von Kolmogorov, orthogonale Projektionen in Hilberträumen • Approximationsraten und Funktionenräume, Stetigkeitsmoduli, Sätze vom Jackson-Bernstein-Typ, Approximationsräume
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden sollen die Relevanz • der Approximationstheorie (als Teilgebiet der Analysis) für praktische Probleme erkennen und sich Kenntnisse über die Grundprinzipien von Approximation aneignen • erfahren, wie Methoden aus Analysis (Funktionalanalysis), Linearer Algebra und Numerik in der Approximationstheorie zusammenwirken • Kenntnisse aus Basis und Aufbaumodulen neu bewerten • die Beziehungen der Approximationstheorie zu anderen Bereichen der Mathematik und zu anderen Wissenschaften erkennen • mathematische Arbeitsweisen einüben (Entwickeln von mathematischer Intuition und deren formaler Begründung, Schulung des Abstraktionsvermögens, Beweisführung) in den Übungen ihre mündliche Kommunikationsfähigkeit durch Einüben der freien Rede vor Publikum und bei der Diskussion verbessern
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in

		• B.Sc. Bachelor Mathematik (Theoretische Mathematik, Angewandte Mathematik) • B.Sc. Technomathematik (Numerische Mathematik, Modellierung und Optimierung) • B.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • M. Sc. Mathematik (Studienrichtungen “Analysis und Stochastik”, “Modellierung, Simulation und Optimierung”) • M.Sc. Computational and Applied Mathematics (Studienrichtung “Modellierung und Simulation”) • M.Sc. Wirschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) Freies Wahlmodul in - M.Sc. CAM - M.Sc. Data Science
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel Übungsleistung: wöchentliche Hausaufgaben (ca 4 Aufgaben pro Woche) Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (30 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%) Klausur oder mündliche Prüfung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• B. Carl und I. Stephani: Entropy, compactness, and the approximation of operators, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1990). • R.A. DeVore und G.G. Lorentz: Constructive Approximation, Springer, Berlin, 1993. • G.G. Lorentz: Approximation of functions, 2. Auflage, Chelsea, New York (1986). • M.W. Müller: Approximationstheorie, Studientexte Mathematik, Akad. Verlagsgesellsch. Wiesbaden (1978. • A. Schönhage: Approximationstheorie, De Gruyter, Berlin (1971).

1	**Modulbezeichnung** 65947	**Ausgewählte Kapitel der reellen Analysis** Selected chapters of real analysis	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	• Grundlagen der Maßtheorie • Dichten, Hausdorff-Maß • Darstellungssatz von Riesz, schwache Konvergenz von Radon-Maßen • Differentiation von Radon-Maßen, Satz von Lebesgue-Radon-Nykodym, Differentiationssatz von Lebesgue • Lipschitz-Funktionen, Satz von Rademacher • Flächen- und Koflächenformel im Lipschitz-Kontext
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden mathematische Sichtweisen und Techniken der reellen Analysis, die u.a. in den Bereichen Partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung und Geometrische Maßtheorie erforderlich sind.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundvorlesungen Analysis I-III
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Evans & Gariepy: Measure Theory and Fine Properties of Functions, Taylor & Francis, 2015 • Federer: Geometric Measure Theory, Springer 1969 • Simon: Lectures on geometric measure theory, Australian National University, , 1983

		• Mattila: Geometry of sets and measures in Eucledean spaces. Fractals and rectifiability, Cambridge 2008

1	**Modulbezeichnung** 65982	**Ausgewählte Kapitel zu Partiellen Differentialgleichungen** Selected chapters on partial differential equations	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	Fortgeschrittene Themen über partielle Differentialgleichungen, zum Beispiel • Gleichungssysteme der Strömungsdynamik • elliptische und parabolische Regularität • hyperbolische Gleichungen und Systeme Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten und vertiefen wichtige moderne und postmoderne Methoden der Theorie der partiellen Differentialgleichungen mit Fokus auf nichtlinearen Phänomenen. Sie erlernen grundlegende Techniken und Konstruktionen aus der Existenz- und Eindeutigkeitstheorie, zum Beispiel Variationsmethoden, (kompensierte) Kompaktheit, optimalen Transport, konvexe Integration.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Analysis-Module des Bachelorstudiums, Partielle Differentialgleichungen I+II
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Robinson, Rodrigo, Sadowski: The Three-Dimensional Navier-Stokes Equations, 2016 • Dafermos: Hyperbolic Conservation Laws in Continuum Physics, 2010 • Aktuelle Forschungsliteratur

1	**Modulbezeichnung** 65066	**Convex Geometry**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	The module comprises of two parts. The first part is a general introduction to convex geometry, where basic concepts and tools will be introduced, such as separation, the classical results of Carathéodory, Helly and Radon and symmetrization techniques. The second part will be more specialized, including ellipsoidal approximation, volume concentration of convex bodies and high-dimensional phenomena.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • will know the foundations of classical convex geometry • can apply concepts and tools from modern convex geometry. • can explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Linear Algebra and Analysis is required • Basic knowledge in Probability Theory is recommended
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Mandatory elective module for: • MSc in Data Sciences within Mathematical Theory / Fundamentals of Data Science • MSc in Mathematics within Studienrichtung Algebra und Geometrie • MSc in Mathematics within Modelling, Simulation and Optimization • MSc in Mathematics and Economics within Optimization and process management
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten) Oral exam (30 minutes)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) 100% oral exam
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	TBA

1	**Modulbezeichnung** 65876	**Data-driven methods for dynamical systems**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Giovanni Fantuzzi
5	**Inhalt**	This course introduces students to modern data science techniques for interpreting, analyzing, forecasting, and controlling dynamic data. Classical problems from the theory of dynamical systems will be re-examined using state-of-the-art computational methods based on data. Course topics will include: • Dynamic mode decomposition • The Koopman operator • Kernel methods for dynamics • System identification and forecasting Theory will be complemented by programming assignments, where students will have the chance to implement the theory and reproduce results presented in the lectures.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	By the end of the course, students should be able to: # Explain and apply dynamic mode decomposition and its extensions • Explain and apply the basic notions of Koopman operator theory • Explain and utilize system identification techniques • Implement data-driven methods for dynamical system in a programming language of choice
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	This course requires: • A basic understanding of differential equations / maps • The ability to program in at least one scientific programming language (e.g. MATLAB, Python, Julia, etc.)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Lecture materials will be provided as the course progresses. A reading list will also be provided at the start of the course.

1	**Modulbezeichnung** 65879	**Differentialgeometrie** Differential geometry	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Jens Habermann
5	**Inhalt**	Eine Auswahl aus den folgenden Themen: • Mannigfaltigkeiten (Tangentialvektoren, Vektorfelder, Flüsse) • Vektorbündel (Tensorbündel und (Semi-)Riemannsche Strukturen) • Differentialformen (Orientierung, Integration) • Affine Zusammenhänge (Paralleltransport, Krümmung) • Geodäten (Distanz, Jacobi Vektorfelder) • Einführung in der geometrischen Analysis • Symplektische und Poisson-Strukturen • Liegruppen und glatte Wirkungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären die grundlegende Theorie der Mannigfaltigkeiten und ihrer Struktur, • erkennen und verwenden zusätzliche geometrische Strukturen auf Mannigfaltigkeiten wie zum Beispiel affine Zusammenhänge, Riemannsche Metriken oder symplektische Formen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Topologie, Analysis, Lineare Algebra und Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (90 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• S. Lang: "Differential and Riemannian manifolds" • J.M. Lee: "Introduction to Riemannian Manifolds" • R.L. Bishop and R.J. Crittenden, "Geometry of manifolds" • F. Warner: "Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups" • M. Do Carmo: “Riemannian Geometry”

1	**Modulbezeichnung** 65707	**Differentialtopologie (DiffTop)** Differential topology (DiffTop)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Die Differentialtopologie untersucht Mannigfaltigkeiten und differenzierbare Abbildungen zwischen ihnen. Mannigfaltigkeiten sind topologische Räume, die lokal dem R^n gleichen. Beispiel: Niveaumengen regulärer Werte von Funktionen. • Differenzierbare Mannigfaltigkeiten, Tangential- und Kotangentialbündel (Wh.) • Einbettungen und Immersionen • Der Satz von Morse und Sard • Transversalität • Vektorbündel • Abbildungsgrad und Eulercharakteristik • Morse-Theorie Die Pra?sentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden die Konzepte der Differentialtopologie und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Inhalte einer Lehrveranstaltung 'Topologie'
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Theodor Bröcker; Klaus Jänich: Einfuehrung in die Differentialtopologie. Springer

		• Morris Hirsch: Differential Topology. Springer Graduate Texts in Mathematics. • Victor Guillemin; Alan Pollack: Differential Topology. Prentice-Hall • Andreas Knauf: Skript

1	**Modulbezeichnung** 65706	**Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD)** Introduction to unitary representation theory (EUniD)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen • Satz von Stone (unitaere Einparametergruppen) • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Spektralmasse und messbarer Funktionalkalkuel • Positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen), Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65963	**Fortgeschrittene Risikoanalyse 1** Advanced risk analysis 1	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Fortgeschrittene Risikoanalyse 1 (1 SWS) Vorlesung: Fortgeschrittene Risikoanalyse 1 (4 SWS)	- 10 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Stummer	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Stummer
5	**Inhalt**	Die aktualisierten definitiven Inhalte werden zeitnah veröffentlicht.Exemplarisch seien hier angeführt: • Anwendungsbezogene Motivationen aus der Risikoanalyse; • zeitdiskrete Risikoprozesse; • zeitkontinuierliche Risikoprozesse. Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur und der Bearbeitung von speziell abgestimmten zugehörigen Seminarthemen, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb des Seminars.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erlernen und verwenden aktuelle, vielseitig nutzbare, fortgeschrittene Methoden zur Lösung von zeitgemäßenProblemstellungen aus der Quantifizierung von unsicherheitsbehafteten Fakten, Vorgängen und darauf aufbauenden Entscheidungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Fundierte Grundkenntnisse der Stochastik und der Integrationstheorie.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Manuskript des Dozenten • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.

1	**Modulbezeichnung** 65951	**Fortgeschrittene Risikoanalyse 2** Advanced risk analysis 2	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Fortgeschrittene Risikoanalyse 2 (4 SWS) (SoSe 2027) Hauptseminar: Übungen zu Fortgeschrittene Risikoanalyse 2 (2 SWS) (SoSe 2027)	10 ECTS -
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Stummer
5	**Inhalt**	Die aktualisierten definitiven Inhalte werden zeitnah veröffentlicht. Exemplarisch seien hier angeführt: Fortgeschrittene zeitdiskrete Risikoprozesse; fortgeschrittene zeitkontinuierliche Risikoprozesse. Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erlernen und verwenden aktuelle, vielseitig nutzbare, sehr fortgeschrittene Methoden zur Lösung von zeitgemäßen Problemstellungen aus der Quantifizierung von unsicherheitsbehafteten Fakten, Vorgängen und darauf aufbauenden Entscheidungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Fundierte Grundkenntnisse der Stochastik und der Integrationstheorie.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Manuskript des Dozenten • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben.

1	**Modulbezeichnung** 65065	**Fortgeschrittene Themen der Stochastik** Advanced topic in probability	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Interacting Particle Systems (2 SWS) (SoSe 2026) Übung: Übungen zu Interacting Particle Systems (2 SWS) (SoSe 2026)	3 ECTS 2 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Torben Krüger Dr. Markus Ebke	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Torben Krüger
5	**Inhalt**	• Themen, welche die in den vorbereitenden Vorlesungen erworbenen Basiskenntnisse der Stochastik vertiefen. • Anwendungsfelder der Wahrscheinlichkeitstheorie • Zusammenhang zwischen Stochastik und anderen Themenbereichen der Mathematik • Analytische Methoden in der Stochastik Die Praŝentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Präsenzübungen und Hausaufgaben. • Topics that deepen the basic knowledge of stochastics acquired in the preparatory lectures. • Fields of application of probability theory • Relationship between stochastics and other areas of mathematics • Analytical methods in stochastics *The material is presented in lecture form. Further acquisition of the essential concepts and techniques takes place through classroom exercises and homework.*
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • wenden die formalen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie an und übertragen diese auf fortgeschrittene Themenbereiche • erfassen und formulieren randomisierte Phaňomene mathematisch. • nennen und erklaŕen die wichtigsten stochastisch-mathematischen Objekte, die in den Anwendungen eine Rolle spielen. • sammeln und bewerten relevante Informationen und erkennen Zusammenhaňge zu anderen mathematischen Themenfeldern. • klassifizieren und loŝen selbststaňdig Probleme analytisch. The students • apply the formal foundations of probability theory and transfer them to advanced subject areas • grasp and formulate randomized phenomena mathematically.

		• name and explain the most important stochastic mathematical objects that play a role in the applications. • collect and evaluate relevant information and recognize connections to other mathematical topics. • independently classify and solve problems analytically.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Wahrscheinlichkeitstheorie, sowie Grundlagen in Analysis und Linearer Algebra *recommended: Probability theory, as well as basics in analysis and linear algebra*
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 • MSc Mathematik (Theoretische Mathematik, Angewandte Mathematik) • MSc Wirtschaftsmathematik • MSc Data Science • MSc Technomathematik • BSc Mathematik
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten) • Übungsleistungen (unbenotet) • Mündliche Prüfung (20 min) • weekly assignments (ungraded) • oral exam (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Mündliche Prüfung (100%) *Oral Exam (100%)*
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65058	**Fourier Methods for PDEs** Advanced topic in probability	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Enrique Zuazua Iriondo
5	**Inhalt**	**Standard Fourier methods for PDEs:** 1) Fourier Transform, Scwhartz space, tempered distributions, Sobolev spaces. Application of the theory to the heat and wave equations. 2) Study of the incompressible Navier-Stokes equations. Leray's existence result. Ladyzhenskaya's uniqueness results. **Littlewood-Paley theory:** 1) Presentation of the theory. Application to the linear heat and transport equations. 2) Application to partially dissipative systems in simple cases. Study of the linear compressible Euler system with damping. Global well-posedness and large-time behavior results.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are able to: • use standard Fourier methods to study the behavior of the solutions of partial differential equations. • use the Littlewood-Paley decomposition to study concrete linear and nonlinear models. • work out the examples and applications that accompany the theory.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Advanced functional analysis, Theory of distributions, Analysis of ODEs and PDEs.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 MSc Mathematics • Analysis and Stochastics • Modelling, Simulation and Optimization
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Oral Exam (100%)

12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 49 h Eigenstudium: 101 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Fourier Analysis and Nonlinear Partial Differential Equation, H. Bahouri, J-Y. Chemin and R. Danchin, Springer, Volume 343. • Handouts and lecture notes distributed via StudOn and on the webpage timotheecrinbarat.com

1	**Modulbezeichnung** 65927	**Funktionalanalysis II** Function analysis II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung zur Funktionalanalysis II (2 SWS) Vorlesung: Funktionalanalysis II (4 SWS)	- 10 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Gandalf Lechner	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes
5	**Inhalt**	Ausgewählte vertiefende Kapitel der Funktionalanalysis,z. B. Spektraltheorie, Indextheorie, unbeschränkte Operatoren, Fixpunktsätze von Brouwer und Schauder, monotone Operatoren, selbstadjungierte Erweiterungen, Halbgruppen, Anwendungen in der Festkörperphysik oder bei nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden nennen und erklären vertiefte Aussagen und Techniken aus der Funktionalanalysis und ihrer Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Funktionalanalysis I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Bücher von Lax, Reed-Simon, Showalter, Ruzicka, Alt, Brezis, Werner mit Titel Funktionalanalysis

1	**Modulbezeichnung** 65976	**Geometrie von Mannigfaltigkeiten** Geometry of manifolds	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zur Geometrie von Mannigfaltigkeiten (2 SWS) Vorlesung: Geometrie von Mannigfaltigkeiten (4 SWS)	3 ECTS 7 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	Eine Auswahl aus den folgenden Themen: • Mannigfaltigkeiten (Tangentialvektoren, Vektorfelder, Flüsse) • Vektorbündel (Tensorbündel und (Semi-)Riemannsche Strukturen) • Differentialformen (Orientierung, Integration) • Affine Zusammenhänge (Paralleltransport, Krümmung) • Geodäten (Distanz, Jacobi Vektorfelder) • Einführung in der geometrischen Analysis • Symplektische und Poisson-Strukturen • Liegruppen und glatte Wirkungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären die grundlegende Theorie der Mannigfaltigkeiten und ihrer Struktur, • erkennen und verwenden zusätzliche geometrische Strukturen auf Mannigfaltigkeiten wie zum Beispiel affine Zusammenhänge, Riemannsche Metriken oder symplektische Formen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse in Topologie, Analysis und Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (90 Minuten) mündliche Prüfung 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%) mündliche Prüfung 100%
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• S. Lang: "Differential and Riemannian manifolds"

		• J.M. Lee: "Introduction to Riemannian Manifolds" • R.L. Bishop and R.J. Crittenden, "Geometry of manifolds" • F. Warner: "Foundations of Differentiable Manifolds and Lie Groups"

1	**Modulbezeichnung** 65944	**Geometrische Maßtheorie I** Geometric measure theory I	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Manuel Friedrich
5	**Inhalt**	• Grundlagen der Maßtheorie • Hausdorff-Maß • Obere und untere Dichte, Dichteabschätzungen • Der Darstellungssatz von Riesz • Schwache Konvergenz von Radon-Maßen • Der Satz von Lebesgue-Radon-Nikodym • Differentiationssatz von Lebesgue • Lipschitz-Funktionen, der Satz von Rademacher • Flächen- und Koflächenformel im Lipschitz Kontext • Rektifizierbare Mengen, approximativer Tangentialraum • Rektifizierbare Varifaltigkeiten Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich die grundlegenden Konzepte der Geometrischen Maßtheorie. Ziel ist das tiefere Verständnis der Kategorie der Lipschitz Funktionen und den daraus konstruierten rektifizierbaren Mengen bzw. Varifaltigkeiten, die in der Variationsrechnung eine zentrale Rolle spielen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Maß- und Integrationstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• H. Federer, Geometric Measure Theory, Springer 1996

		• L. Simon, Introduction to Geometric Measure Theory, ANU 1983 • P. Mattila, Geometry of Sets and Measures in Euclidean spaces, Cambridge University Press 1999 • L.C. Evans, R.F. Gariepy, Measure Theory and Fine Properties of Functions, CRC Press 1991

1	**Modulbezeichnung** 65722	**Geometrische Maßtheorie II** Geometric dimension theory II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Manuel Friedrich
5	**Inhalt**	• Tangentialer Gradient • Rektifizierbarkeit, Struktursatz • Varifaltigkeiten • Totale Variation, Monotonieformel • Allardscher Regularitätssatz • Poincaré- und Sobolev-Ungleichung • Isoperimetrische Ungleichung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich Konzepte der Regularitätstheorie im Rahmen der Geometrischen Maßtheorie. Ziel ist das tiefere Verständnis der Regularitätstheorie von rektifizierbaren Varifaltigkeiten, die in der Variationsrechnung eine zentrale Rolle spielen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Maß- und Integrationstheorie, Geometrische Maßtheorie I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• H. Federer, Geometric Measure Theory, Springer 1996 • L. Simon, Introduction to Geometric Measure Theory, ANU 1983 • P. Mattila, Geometry of Sets and Measures in Euclidean spaces, Cambridge University Press 1999 • L.C. Evans, R.F. Gariepy, Measure Theory and Fine Properties of Functions, CRC Press 1991

1	**Modulbezeichnung** 65861	**Hauptseminar Quantitatives Risikomanagement** Advanced seminar: Quantitative risk management	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Stummer
5	**Inhalt**	Die aktuellen, definitiven Inhalte werden vom Dozenten zeitnah veröffentlicht. Des Weiteren dient das Hauptseminar als methodische und arbeitstechnische Vorbereitung für die anschließend abzulegende Masterarbeit.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten ein sehr fortgeschrittenes Teilgebiet des stochastisch-quantitativen Risikomanagements; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikations-techniken für mathematische Sachverhalte in mündlicher und schriftlicher Form und perfektionieren diese; • formulieren hochentwickelte unsicherheitsbehaftete wirtschaftswissenschaftlich relevante Phänomene mathematisch präzise. • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Kenntnisse der Module Fortgeschrittene Risikoanalyse 1, Fortgeschrittene Risikoanalyse 2.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Die zugrundeliegenden Vortragsunterlagen werden vom jeweiligen Dozenten im Voraus (bei der Vorbesprechung) ausgehändigt.

1	**Modulbezeichnung** 65099	**Introduction to abstract harmonic analysis**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	• Haar Integration on Locally Compact Groups • The Fourier Transform • Duality for Abelian Groups • Plancherel Theorem • Pontryagin Duality • The Structure of LCA-Groups • The Peter-Weyl Theorem for Compact Groups • Stone-von Neumann Theorem
6	**Lernziele und Kompetenzen**	After following this course, the student (1) knows the integration on locally compact groups; (2) has acquired insight in the elementary theory on duality for abelian groups and compact groups; (3) can illustrate the various concepts and results treated in this course with relevant examples; (4) has gained basic intuition about unitary dual and is able to verify intuitive conjectures by giving either rigorous proofs or counterexamples; (5) -> is able to explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Knowledge of set theoretic topology, Lebesgue integration, and functional analysis on an introductory level.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Principles of Harmonic Analysis-Springer International Publishing (2014), Second Edition by Anton Deitmar and Siegfried Echterhoff

1	**Modulbezeichnung** 65915	**Introduction to material- and shape optimization**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Introduction to Material and Shape Optimization (4 SWS) (SoSe 2027)	10 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Michael Stingl
5	**Inhalt**	• shape-, material- and topology optimization models • linear elasticity and contact problems • existence of solutions of shape, material and topology optimization problems • approximation of shape, material and topology optimization problems by convergent schemes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • derive mathematical models for shape-, material and topology optimization problems, • apply regularization techniques to guarantee to existence of solutions, • approximate design problems by finite dimensional discretizations, • derive algebraic forms and solve these by nonlinear programming techniques.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: • Knowledge in nonlinear optimization, • Basic knowledge in numerics of partial differential equations
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• J. Haslinger & R. Mäkinen: Introduction to shape optimization, SIAM, • M. P. Bendsoe & O. Sigmund: Topology Optimization: Theory, Methods and Applications, Springer.

1	**Modulbezeichnung** 65079	**Introduction to Operator Algebras** Introduction to operator algebras	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	• Banach algebras: Basic properties. • Gelfand's theory of commutative Banach algebras and C*-algebras: a) Special elements such as unitary, self-adjoint, normal, positive elements and their spectrum); b) The continuous functional calculus for normal elements in a C*-algebra; c) Gelfand-Naimark theorem. • C*-algebras (States and representations, and GNS construction) • von Neumann algebras (Bicommutant theorem, Kaplansky density theorem, Borel functional calculus)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	After following this course the student • knows the notion of spectrum in several contexts; in simple cases, he/she can compute the spectrum,has acquired insight in the elementary theory of operator algebras, in particular C*-algebras and von Neumann algebras, • can deal with functions of operators, • can illustrate the various concepts and results treated in this course with relevant examples, • has gained intuition about linear mappings between infinite-dimensionel Hilbert spaces and is able to verify intuitive onjectures by giving either rigorous proofs or counterexamples, • is able to explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: basic knowledge of operators on Hilbert spaces as provided within the lecture on Functional Analysis.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)

12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	We will mainly use the book C*-Algebras and Operator Theory, Academic Press, 1990,, Gerard J. Murphy Several good books to read: • K. Zhu: An introduction to Operator Algebras. (a concise introduction) • R.V. Kadison and J.R. Ringose: Fundamentals of the theory of operator algebras. Volumes 1 & 2. (This contains far more material than we will be able to cover.) • B. Blackadar: Operator algebras. Theory of C*-algebras and von Neumann algebras. (Contains lots of material, but does not include detailed proofs for everything.) • K. Davidson: C*-algebras by example. (Useful example-based approach. But be careful: some parts are known to have mistakes.)

1	**Modulbezeichnung** 65966	**Klassische Mechanik** Classical mechanics	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Dynamische Systeme • Hamiltonsche Systeme • Symplektische Geometrie • Stabilität und Verzweigungen • Geodätische Bewegung • Ergodische dynamische Systeme • Klassische Streutheorie • Kanonische Transformationen • Lagrange-Mannigfaltigkeiten und Integrable Systeme • Störungstheorie und KAM-Theorie Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden die geometrischen Konzepte der mathematischen Beschreibung der Klassischen Mechanik und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Lineare Algebra, Analysis, Gewöhnliche Differentialgleichungen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Abraham, Marsden, Classical Mechanics • Arnold, Classical Mechanics

1	**Modulbezeichnung** 720057	**Lie-Gruppen** Lie groups	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Lie-Algebra einer Lie-Gruppe, Exponentialfunktion • Abgeschlossene Untergruppen, Quotienten, homogene Räume • Überlagerungen von Lie-Gruppen, Strukturtheorie, Integrationsprobleme • Elementare Anwendungen in der Darstellungstheorie Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt in den Uebungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden verwenden die grundlegenden Methoden der Lie'schen Gruppentheorie und insbesondere den Übersetzungsmechanismus von Lie-Algebra zur Gruppe mittels der Exponentialfunktion. Sie ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra, Geometrie und Analysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Grundkenntnisse über Mannigfaltigkeiten (Vektorfelder, Flüsse), • Grundkenntnisse in Topologie (Bogenzusammenhang, Überlagerungen)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt

16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • Hilgert/Neeb, Structure and Geometry of Lie Groups

1	**Modulbezeichnung** 65969	**Mathematische Statistik** Mathematical statistics	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Mathematische Statistik (3 SWS) (SoSe 2027)	5 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Christophorus Richard
5	**Inhalt**	• Parameterschätzung • Konfidenzbereiche • Hypothesentests Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. In der Übung vertiefen Lösungen typischer Beispiele das Verständnis des Vorlesungsstoffs.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden mathematische Grundlagen der Statistik. Sie entwickeln Lösungsmethoden für einfache statistische Problemstellungen eigenständig.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Stochastische Modellbildung sowie Maßtheorie (Analysis III),Grundkenntnisse in Wahrscheinlichkeitstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Georgii, Stochastik • Casella, Berger, Statistical Inference

1	**Modulbezeichnung** 65860	**Modeling and analysis in continuum mechanics I**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Tutorial to Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 1 (1 SWS) Vorlesung: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 1 (4 SWS)	2 ECTS 8 ECTS
3	Lehrende	PD Dr. Stefan Metzger	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• Theory of elasticity (geometrical non-linear modelling, objectivity and isotropy of energy functionals, linearised elasticity, polyconvexity, existence according to J. Ball) • Non-equilibrium thermodynamics and modelling in hydrodynamics (basic concepts in thermodynamics, balance equations, constitutive relations) • Parabolic function spaces and the Aubin-Lions lemma • Weak solution theory for incompressible Navier-Stokes equations
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • derive mathematical models for fluid mechanics and elasticity theory, • evaluate the predictive power of models using physical modelling assumptions and the qualitative characteristics of solutions, • apply analytical techniques to rigorously prove qualitative properties of solutions.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in functional analysis and modelling is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	• P.G. Ciarlet: Mathematical elasticity, North-Holland, • S.R. De Groot & P. Mazur: Non-equilibrium thermodynamics, Dover, • C. Eck, H. Garcke & P. Knabner: Mathematical Modeling, Springer, • L.C. Evans: Partial differential equations, AMS, • I. Liu: Continuum mechanics, Springer, • R. Temam: The Navier-Stokes equations, AMS Chelsea Publishing.

1	**Modulbezeichnung** 65865	**Modeling and analysis in continuum mechanics II**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 2 (2 SWS) (SoSe 2027) Vorlesung: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 2 (2 SWS) (SoSe 2027)	1 ECTS 4 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	Some (at least two) of the following topics: • Monotone operators and applications in continuum mechanics, e.g. shear-thinning liquids, • Mathematical concepts of model reduction: homogenization, gamma convergence, asymptotic analysis, • Reaction diffusion models from biology and social sciences; • Models in fluid dynamics (compressible and incompressible Navier-Stokes equations); • Wave phenomena and other hyperbolic equations in continuum mechanics
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students can: • derive mathematical models for several important applications in continuum mechanics. • apply analytical techniques to rigorously prove qualitative properties of solutions.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• A. Braides: Gamma-convergence for beginners, Oxford University Press,

		• D. Cioranescu & P. Donato: An introduction to homogenization, Oxford University Press, • L.C. Evans. (2010). Partial differential equations. AMS. • T.A. Roberts (1994). A one-dimensional introduction to continuum mechanics. World Scientific. • R.E. Showalter: Monotone operators in Banach space and nonlinear partial differential equations, AMS • T. Temam and A. Miranville (2005). Mathematical modeling in continuum mechanics. Cambridge University Press. • Handouts and lecture notes distributed via StudOn.

1	**Modulbezeichnung** 65887	**Modul Conservation Laws** Module: Conservation laws	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Dr. Lukas Pflug
5	**Inhalt**	• (Non-)local conservation laws in applications • Linear scalar transport equations and conservation laws • Linear multi-D transport equations and conservation laws • Method of characteristics • Fixed-point methods in Banach spaces • Existence and uniqueness of nonlocal conservation laws • Maximum principles • Regularity and stability of solutions • Local conservation laws, Entropy solutions; • The singular limit problem – approximation of local Entropy solutions by nonlocal conservation laws • Numerical methods
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students learn the basic theory on nonlocal conservation laws, apply approximation results, learn fixed-point approaches in Banach spaces and understand the applicability of conservation laws in the applied sciences.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Some basic knowledge in PDE is of advantage, Sobolev spaces.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Bressan, Alberto. Hyperbolic systems of conservation laws: the one-dimensional Cauchy problem. Vol. 20. Oxford University Press on Demand, 2000. • Keimer, Alexander, and Lukas Pflug. "Existence, uniqueness and regularity results on nonlocal balance laws." Journal of Differential Equations 263.7 (2017): 4023-4069. • Coclite, Giuseppe Maria, et al. "A general result on the approximation of local conservation laws by nonlocal conservation laws: The singular limit problem for exponential kernels." Annales de l'Institut Henri Poincaré C (2022). • Blandin, Sebastien, and Paola Goatin. "Well-posedness of a conservation law with non-local flux arising in traffic flow modeling." Numerische Mathematik 132.2 (2016): 217-241. • Aggarwal, Aekta, Rinaldo M. Colombo, and Paola Goatin. "Nonlocal systems of conservation laws in several space dimensions." SIAM Journal on Numerical Analysis 53.2 (2015): 963-983.

1	**Modulbezeichnung** 65888	**Navier Stokes Equations** Navier stokes equations	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	The incompressible Navier-Stokes equations (NSE) are a nonlinear system of partial differential equations fundamental for the modelling of fluid flow. They are extensively used in meteorology and oceanography, but also pose great mathematical challenges. Famously, global regularity of the three-dimensional NSE forms one of the seven Millennium Problems. This course serves as an introduction to the mathematical theory of these equations and includes the following topics: • existence of weak solutions of Leray-Hopf type; • local-in-time existence of strong solutions; • the Prodi-Serrin criteria for regularity and energy balance; • partial regularity theory; • the singular limit of vanishing viscosity. The course can be a good preparation for a subsequent master's thesis in the topic.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students know and understand the basic theory of the Navier-Stokes equations and have mastered important methods for systems of non-linear partial differential equations. They have a basic understanding of mathematical fluid dynamics.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Lineare Algebra, Analysis. Empfohlen: erste Kurse in partiellen Differentialgleichungen und Funktionalanalysis.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• J. C. Robinson, J. L. Rodrigo, W. Sadowski: The Three-Dimensional Navier-Stokes Equations. Cambridge University Press, 2016. • P. Constantin, C. Foias: Navier-Stokes Equations. University of Chicago Press, 1988. • W. Ożański: The Partial Regularity Theory of Caffarelli, Kohn, and Nirenberg and its Sharpness. Birkhäuser, 2019. • E. Wiedemann: Navier-Stokes Equations: Lecture Notes. Universität Ulm, 2018/19.

1	**Modulbezeichnung** 65059	**Neural Network Approximation** Advanced topic in probability	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Ausgewählte Kapitel im Bereich der Approximation mittels Neuronaler Netze: z.B. • Einfuehrung zu Neuronalen Netzen (Beispiele, Aktivierungsfunktionen, Kostenfunktionen, Neuronen, Aufbau eines Neuronalen Netzes) • Saetze aus der Approximationstheorie und Anwendungen auf Neuronale Netze (Dinis Theorem, Satz von Arzela-Ascoli, Satz von Stone-Weierstrass, Wieners Tauberian Theorem, Banachscher Fixpunktsatz) • Neuronale Netze als universale Approximatoren weitere fortgeschrittene Themen (hinführend auf eine Masterarbeit) Selected chapters in the area of approximation using neural networks: e.g. • Introduction to neural networks (examples, activation functions, cost functions, neurons, structure of a neural network) • Theorems from approximation theory and applications to neural networks (Dini's theorem, Arzela-Ascoli's theorem, Stone-Weierstrass' theorem, Wiener's Tauberian theorem, Banach's fixed point theorem) • Neural networks as universal approximators • Further advanced topics (leading to a master thesis)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus. The students • work independently with literature in a specialized field; • use presentation and communication techniques, present mathematical facts and discuss them; • exchange information, ideas, problems and solutions with each other and with the lecturer.

7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums Recommended: Analysis modules of the Bachelor's program
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in • M.Sc. Mathematik (Studienrichtungen “Analysis und Stochastik”, “Modellierung, Simulation und Optimierung”) • M.Sc. Computational and Applied Mathematics (Studienrichtung “Modellierung und Simulation”) • M.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • M.Sc. Data Science (Mathematische Theorie/ Grundlagen der Data Science)
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten) Vortrag und Handout Presentation and handout
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Mündliche Prüfung (100%) Oral exam (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• O. Calin: Deep Learning Architectures. A mathematical approach, Springer Series in the Data Sciences (2020). • I. Daubechies, R. DeVore, S. Foucart, B. Hanin, and G. Petrova: Nonlinear Approximation and (Deep) ReLU Networks, Constr. Approx. 55:127-172 (2022). • P. Grohs and F. Voigtlaender: Sobolev-type embeddings for neural network approximation spaces, Constr. Approx. 57:579-599 (2023). • C. Schneider and J. Vybiral: A multivariate Riesz basis of ReLU neural networks, to appear in ACHA (2023). • weitere Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 65878	**Numerische Behandlung Elliptischer PDEs** Numerical methods of elliptic PDEs	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	• Elliptische Differentialgleichungen • Schwache Lösungen • Variationsformulierung • Galerkin Verfahren • Finite Elemente
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden sollen • die Grenzen der Standardverfahren erkennen, wenn die Problemstellung besondere Anforderungen mit sich bringt, • lernen, problemadäquate Lösungen zu finden, • beispielhaft nachvollziehen, wie konkrete praktische Entwicklungen die Fragestellungen der angewandten Mathematik beeinflussen, • mathematische Arbeitsweisen einüben (Entwickeln von mathematischer Intuition und deren formaler Begründung, Schulung des Abstraktionsvermögens, Beweisführung), • in den Übungen ihre mündliche Kommunikationsfähigkeit durch Einüben der freien Rede vor einem Publikum und bei der Diskussion verbessern.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Basis- und Aufbaumodule Numerik
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Hackbusch, W., Theorie und Numerik elliptischer Differentialgleichungen, Teubner 1986 • Brenner, S.C., Scott, L.R, The mathematical theory of finite element methods, Springer, 1994

1	**Modulbezeichnung** 65123	**Partielle Differentialgleichungen I** Partial differential equations I	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Partielle Differentialgleichungen I (2 SWS) Vorlesung: Partielle Differentialgleichungen I (4 SWS)	- 10 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Robert Lasarzik	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• schwache Existenztheorie elliptischer Gleichungen zweiter Ordnung • Regularität schwacher Lösungen (Differenzenquotientenmethode, Moser, Harnack) • Wärmeleitungsgleichung in Hölderräumen, Vergleichssätze Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich einen Überblick über Anwendungsbereiche von PDGen. Sie verwenden einfache explizite Lösungsmethoden und nutzen klassische und schwache Zugänge zu Existenzresultaten
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 5
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• E. DiBenedetto: Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • L. C. Evans: Partial Differential Equations, AMS 1997 • D. Gilbarg, N. S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations, Springer 1983 • Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 409733	**Partielle Differentialgleichungen II** Partial differential equations II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Partielle Differentialgleichungen II (4 SWS) (SoSe 2027) Übung: Übungen zu Partielle Differentialgleichungen II (2 SWS) (SoSe 2027)	10 ECTS -
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• direkte Methoden der Variationsrechnung, Existenz im konvexen Fall, Hölder-Regularität • Die Wärmeleitungsgleichung und andere parabolische Gleichungen • Die Wellengleichung und andere hyperbolische Gleichungen • Weitere ausgewählte Themen, z.B.: • Energiemethoden • Viskositätslösungen • skalare Erhaltungsgleichungen • parabolische p-Laplace und poröse Mediengleichung (Regularität, qualitative Eigenschaften, usw.) • Gleichungen vierter Ordnung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden wenden Methoden für Existenzbeweise bei nichtlinearen Gleichungen an, und erweitern ihr Methodenspektrum für Lösungskonzepte und Eindeutigkeitsresultate.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Partielle Differentialgleichungen I als dringende Empfehlung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt

16	**Literaturhinweise**	• L. C. Evans, Partial Differential Equations, AMS 1997 • D. Gilbarg, N. S. Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations, Springer 1983 • E. DiBenedetto, Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • E. Giusti, Direct methods in the calculus of variations. World Scientific Publishing 2003 • Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 65081	**Partielle Differentialgleichungen III** Partial differential equations III	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	Regularitätstheorie des elliptischen und parabolischen p-Laplace Operators: • Beschränktheit schwacher Lösungen, • Hölder-Stetigkeit schwacher Lösungen, • Differenzierbarkeit schwacher Lösungen. Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich einen Überblick über die Regularitätstheorie degeneriert elliptischer und parabolischer Differentialgleichungen. Sie verwenden die Konzepte von DeGiorgi und DiBenedetto und nutzen diese zum Beweis von Regularitätsresultaten.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Module zu Partielle Differentialgleichungen des Bachelorstudiums (insbesondere Kenntnis von Sobolev-Räumen)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 7
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• E. DiBenedetto: Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • L. C. Evans: Partial Differential Equations, AMS 1997 • E. DiBenedetto: Degenerate Parabolic Equations, Springer 1993 • E. DiBenedetto, U. Gianazza, V.Vespri: Harnacks Inequality and Singular Parabolic Equations, Springer 2012

		• Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 65078	**Quantenmechanik** Quantum mechanics	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Selbstadjungiertheit unbeschränkter Operatoren • Teilchen im Magnetfeld • Periodizität und Quasiperiodizität Zufällige Potentiale
6	**Lernziele und Kompetenzen**	• Die Studierenden erkla?ren und verwenden die geometrischen und analytischen Konzepte der mathematischen Beschreibung der Quantenmechanik und deren Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Vorlesung zur Funktionalanalysis oder Quantenmechanik
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Skript • M. Reed, B. Simon: Methods of Modern Mathematical Physics. Academic Press • H. Cycon, R. Froese, W. Kirsch, B. Simon: Schrödinger Operators. Springer W. Thirring: Lehrbuch der Mathematischen Physik. Band 3: Quantenmechanik von Atomen und Molekülen. Springer

1	**Modulbezeichnung** 65098	**Quantenmechanik 2** Quantum mechanics 2	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Weitere Informationen finden sich im Modulhandbuch.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Weitere Informationen finden sich im Modulhandbuch.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65721	**Reading Course: Partielle Differentialgleichungen** Reading course: Partial differential equations	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	ausgewählte Kapitel im Bereich der partiellen Differentialgleichungen: z.B. • Existenz- und Regularitätstheorie für parabolische PDGLen • Eigenwerte von elliptischen Differentialoperatoren • Nichtlineare PDGLen • Variationsrechnung
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; • tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums, Partielle Differentialgleichungen I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel Vortrag (60 Min) + schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• D.D. Haroske, H. Triebel: Disributions, Sobolev spaces, Elliptic equations (2007). • L.C. Evans: Partial Differential Equations (1998).

		• D. Gilbarg, N.S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations, Springer (1983). • B. Schweizer, Partielle Differentialgleichungen, Springer (2013). • Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 65709	**Reading Course: Quanteninformationstheorie** Reading course: Quantum information theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	• Turing-Maschinen • Komplexitätstheorie • Klassische Mechanik und Quantenmechanik • Isomorphismen von C*-Algebren • Zustände • Zusammengesetzte Systeme • Klassische und quantenmechanische Suchprobleme • Klassische Informationstheorie • Quantenmechanische Informationstheorie • Fehlerkorrigierende Quantencodes • Symplektische Quantencodes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten mit neuer wissenschaftlicher Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden relevante Pra?sentations- und Kommunikationstechniken und pra?sentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese kritisch. • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten u? ber Informationen, Ideen, Probleme und Lo?sungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Andreas Knauf: Skript Quanteninformationstheorie • Fabio Benatti: Dynamics, Information and Complexity in Quantum Systems. Springer, 2009 • Thomas Cover, Joy Thomas: Elements of Information Theory. New York: Wiley 1991 • Kenneth Davidson: C?Algebras by Example. American Mathematical Society, 1996 • Roman S. Ingarden, Andrzej Kossakowski, Masanori Ohya: Information Dynamics and Open Systems. Classical and Quantum Approach. Dordrecht: Kluwer 1997 • Dénes Petz: Quantum Information Theory and Quantum Statistics. Springer, 2008

1	**Modulbezeichnung** 65957	**Reelle Analysis** Reelle analysis	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Jens Habermann
5	**Inhalt**	• BMO-Räume • Satz von John-Nirenberg • Riesz-Potentiale • Höhere Integrierbarkeit • Gehring-Lemma
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden mathematische Sichtweisen und Techniken der reellen Analysis, die u.a. in den Bereichen Partielle Differentialgleichungen und Variationsrechnung erforderlich sind.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundvorlesungen Analysis I-III
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Adams & Hedberg: Function spaces and potential theory • Stein: Singular Integrals and Differentiability Properties of Functions • Gafrakos: Classical Fourier Analysis

1	**Modulbezeichnung** 65097	**Seminar Approximationstheorie** Seminar Approximation Theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Ausgewählte Kapitel im Bereich der klassischen und modernen Approximationstheorie: z.B. • Satz von Stone-Weierstrass, Satz von Korovkin, Müntz-Sätze, Haarscher Eindeutigkeitssatz, Sätze vom Jackson-Bernstein-Typ • Approximation mit Splines und Wavelets, Entropie, Approximations- und Kolmogorovzahlen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; • tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• B. Carl und I. Stephani: Entropy, compactness, and the approximation of operators, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1990).

		• R.A. DeVore und G.G. Lorentz: Constructive Approximation, Springer, Berlin, 1993. • G.G. Lorentz: Approximation of functions, 2. Auflage, Chelsea, New York (1986). • M.W. Müller: Approximationstheorie, Studientexte Mathematik, Akad. Verlagsgesellsch. Wiesbaden (1978) • A. Schönhage: Approximationstheorie, De Gruyter, Berlin (1971). • Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 65077	**Spektraltheorie** Spectral theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Gandalf Lechner
5	**Inhalt**	In diesem Modul werden in Vorlesungen und interaktiven Übungen die wesentlichen Eigenschaften der Spektraltheorie von beschränkten und unbeschränkten Operatoren auf Hilberträumen studiert. Neben der allgemeinen Theorie (Definitionsbereiche, Adjungierte, Abschließbarkeit, Selbstadjungiertheit, Spektralsatz, messbarer Kalkül) werden wichtige Anwendungen besprochen, insbesondere der Satz von Stone und Grundzüge der Streutheorie. Die Übungen stellen einen wesentlichen Teil der Veranstaltung dar und dienen zur Präsentation/Diskussion von Übungsaufgaben und Fragen sowie dem Erläutern von weiteren Anwendungen z.B. in der theoretischen Quantenphysik.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären die Grundprinzipien der Spektraltheorie von Operatoren auf Hilberträumen • können die erlernten Konzepte mit relevanten Beispielen illustrieren • demonstrieren Vertrautheit mit Anwendungen dieser Theorie auf unitäre Einparametergruppen (Stone, Streutheorie) • sind in der Lage, Lösungen von Übungsaufgaben an der Tafel zu erklären
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Funktionalanalysis I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt

16	**Literaturhinweise**	Bücher von Reed-Simon, Werner. Eine genaue Liste von Büchern wird in der Vorlesung bekanntgegeben.

1	**Modulbezeichnung** 65942	**Statistische Mechanik** Statistical mechanics	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Thomas Creutzig
5	**Inhalt**	Der Dozent wählt den Vorlesungsinhalt aus folgenden Themen aus: Gibbsmaße und DLR-Gleichungen • Gibbsmaße und DLR-Gleichungen • Quantenstatistik • KMS-Zustände • Phasenübergänge • Thermodynamischer Formalismus Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden Grundprinzipien der Statistischen Mechanik. Insbesondere sind sie in der Lage, Kriterien für Existenz oder Nichtexistenz von Phasenübergängen anzuwenden.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Lineare Algebra, Analysis, Stochastische Modellbildung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskripte zu diesem Modul • Simon, Statistical Mechanics • Bratteli, Robinson, Operator algebras and statistical mechanics • Georgii, Gibbs Measures and Phase Transitions

1	**Modulbezeichnung** 364959	**Steuerung partieller Differentialgleichungen** Control of partial differential equations	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Martin Gugat
5	**Inhalt**	1) Existenz und Eindeutigkeit der Lösung von Anfangsrandwertproblemen (ARWP) 2) Konzepte der exakten Steuerbarkeit 3) Optimale Steuerung für hyperbolische Systeme 4) Sensitivitätsanalyse 5) Exponentielle Stabilität, Lyapunovfunktionen 6) Verzögerungen 7) Randstabilisierung 8) Unsicherheit
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären exemplarische Grundbegriffe zu Problemen der optimalen Steuerung und der Stabilisierung von ARWP mit der Wellengleichung; • stellen Probleme der optimalen Steuerung auf und analysieren sie; • entwickeln stabilisierende Rückkopplungssteuerungen und beweisen die exponentielle Stabilität Diese Fähigkeiten sind für technische und naturwissenschaftliche Anwendungen von besonderer Bedeutung.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Kenntnisse in Analysis, linearer Algebra und Grundlagen der Funktionalanalysis
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• F. Tröltzsch, Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg Verlag 2003 • J.-M. Coron, Control and Nonlinearity, AMS 2007. • G. Bastin and J.-M. Coron, Stability and Boundary Stabilization of 1-d hyperbolic Systems • M. Gugat, Optimal Boundary Control and Boundary Stabilization of Hyperbolic Systems, Springer 2015

1	**Modulbezeichnung** 65970	**Stochastische Analysis** Stochastic analysis	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Stochastische Analysis (2 SWS) Übung: Übung zur Stochastischen Analysis (2 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Torben Krüger	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Torben Krüger
5	**Inhalt**	• Itokalkulus • Diffusionsprozesse • Stochastische Differentialgleichungen • Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erwerben die Fähigkeit komplexere Strukturen der Stochastik selbständig zu erfassen und auf exemplarische Problemstellungen anzuwenden. Diese bilden eine Basis für eine Spezialisierung in Stochastik undentsprechenden wirtschaftsmathematischen Themen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Kenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie sind zum Verständnis hilfreich
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Die vorbereitende Literatur wird für jede Lehrveranstaltung jedes Semester neu festgelegt.

1	**Modulbezeichnung** 65704	**Theorie parabolischer Differentialgleichungen (ThpD)** Theory parabolic differential equations (ThD)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Manuel Friedrich
5	**Inhalt**	• Existenz schwacher Lösungen für lineare parabolische Gleichungen zweiter Ordnung • Regularität und Maximumsprinzipien • Lösungen nichtlinearer Gleichungen durch Fixpunktmethoden • Gradientenflüsse (nichtlineare Halbgruppen und Variationsmethoden) Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten grundlegende Techniken zum Beweis von Existenz- und Regularitätsaussagen für parabolische Differentialgleichungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Analysis-Module des Bachelorstudiums • Partielle Differentialgleichungen I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• G. Lieberman: Second Order Parabolic Differential Equatiomn, 1996 • L.C. Evans: Partial Differential Equations, 1998 • Originalliteratur

1	**Modulbezeichnung** 65907	**Theory of stochastic evolution equations**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• Infinitely dimensional Wiener processes, • Stochastic integral in Hilbert spaces, • Ito-processes and stochastic differential equations, • Optionally: existence results for stochastic partial differential equations or further results on stochastic ODE (Fokker-Planck equations, . . .)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • characterize Gaussian measures on Hilbert spaces. They explain representation formulas for Q-Wiener processes as well as the derivation of the stochastic integral, • successfully apply concepts to solve stochastic differential equations explicitly and prove existence of solutions to stochastic evolution equations.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in probability theory or functional analysis is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• G. Da Prato & J. Zabczyk: Stochastic equations in infinite dimensions, Cambridge University Press • I. Karatzas & S.E. Shreve: Brownian motion and stochastic calculus, Springer • B. Oksendal: Stochastic differential equations, Springer • C. Prévôt & M. Röckner: A concise course on stochastic partial differential equations, Springerchastic Evolution Equations

1	**Modulbezeichnung** 65971	**Unitäre Darstellungstheorie** Unitary representation theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • >Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen, Satz von Stone • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Projektive Darstellungen, zentrale Erweiterungen • Spektralmasse und direkte Integrale • Reproduzierende Kerne und positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) • Darstellungen semidirekter Produkte • Fockraeume und zweite Quantisierung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • >ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen) • Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	jedes 4. Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul (auf StudOn) • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65950	**Seminar**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Seminar: Dispersive PDEs (2 SWS) Seminar: Seminar Zahlentheorie (2 SWS) Hauptseminar: Masterseminar Spektraltheorie (2 SWS) Seminar: Simulation partieller Differentialgleichungen (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Emil Wiedemann Prof. Dr. Lea Boßmann Prof. Dr. Wolfgang Ruppert Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	Die aktuell angebotenen Themen werden von den Dozenten rechtzeitig bekannt gegeben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten sich vertiefende Fachkompetenzen in einem Teilgebiet der Mathematik; • analysieren Fragestellungen und Probleme aus dem gewählten Teilgebiet der Mathematik und lösen diese mit wissenschaftlichen Methoden; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren die mathematischen Sachverhalte in mündlicher und schriftlicher Form; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	nach Vorgabe der Dozentin/des Dozenten
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	in jedem Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65973	**Analytische Zahlentheorie** Analytic number theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Ruppert
5	**Inhalt**	• Grundlegende Fragestellungen der Analytischen Zahlentheorie • Abschätzungen mit elementaren Methoden, partielle Summation • Dirichlet-Reihen und der Primzahlsatz • Dirchlet-L-Reihen und der Dirichletsche Primzahlsatz Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden grundlegende Begriffe der Analytischen Zahlentheorie. Sie wenden Methoden der Analysis und Funktionentheorie auf zahlentheoretische Fragestellungen an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Grundkenntnisse der Analysis, Algebra und Funktionentheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Vorlesungsskript zum Modul

1	**Modulbezeichnung** 65273	**Semigroups of linear operators**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Gandalf Lechner
5	**Inhalt**	• Unbounded, closed operators • generators and semigroups • resolvent of a semigroup • Hille-Yosida-Theorem; Lumer-Phillips-Theorem; evolution equations • perturbation and approximation
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are familiar with unbounded operators. They understand the interlink between semigroups and operators. Furthermore, they can apply semigroup theory to the solution of evolution equations.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Strongly recommended: knowledge in functional analysis. • Recommended: some basics about PDEs and maybe some notion of stochastic processes.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig irregularly
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 hrs Eigenstudium: 225 hrs
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• David Applebaum: Semigroups of linear operators (can be donwloaded through https://www.cambridge.org/core/books/semigroups-of-linear-operators/)

		• Ronald Schnaubelt: Lecture Notes on Evolution Equations (pdf will be made available for the participants) • Klaus-Jochen Engel; Rainer Nagel: A short course on operator semigroups, Universitext, Springer 2006<

1	**Modulbezeichnung** 65897	**Algebraische Quantenfeldtheorie** Introduction to Algebraic Quantum Field Theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Gandalf Lechner
5	**Inhalt**	keine Inhaltsbeschreibung hinterlegt!
6	**Lernziele und Kompetenzen**	keine Beschreibung der Lernziele und Kompetenzen hinterlegt!
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65857	**Higher Analysis**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Higher Analysis (4 SWS) Übung: Exercise to Higher Analysis (2 SWS)	10 ECTS -
3	Lehrende	PD Dr. Cornelia Schneider	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	This lecture is an alternative to a functional analysis course that also covers some measure and integration theory. It is indispensable for students who want to attend advanced math courses on a master level where a profound knowledge regarding the concepts of higher analysis is required. It covers the basics of the following topics: • Measure and integral theory; Lebesgue spaces • Banach spaces • Linear functionals and operators; Hahn-Banach Theorem • Hilbert spaces; Orthonormal bases • Fourier transform (and Sobolev spaces) • Spectral theory of compact linear operators. The presentation of the material is in lecture form. The essential terms and techniques are acquired through weekly exercises and homework.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	The students learn to apply the basic principles of higher analysis, in particular, functional analysis as well as measure and integral theory.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Linear Algebra I and Analysis I+II or Mathematics for Data Science I+II or comparable.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Mathematical foundations of Data Science; Theoretical Mathematics B.Sc. Mathematics
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Oral exam (20min) Graded exercises
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Oral exam (100 %) Graded exercises (0%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Lecture notes for this module. • W. Rudin, Functional analysis, McGraw-Hill, 1991.

		• W. Rudin, Real and complex analysis, McGraw-Hill, 1970. • J.B. Conway, A course in functional analysis, Springer, 2007. • E.M. Stein, R. Shakarchi, Real analysis: Measure theory, integration, and Hilbert spaces, 2005. • D. Werner, Funktionalanalysis, 2011 (German). • D. Werner, Höhere Analysis, 2009 (German).

1	**Modulbezeichnung** 65858	**Mathematische Grundlagen der Quantisierungstheorie und Anwendungen** Mathematical foundations of quantization theory and applications	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Dr. Christiaan Van de Ven
5	**Inhalt**	Einführung in die algebraische Quantisierungstheorie: • Konzeptioneller Rahmen (Quantisierung, klassischer Limes, makroskopischer Limes) • C*-Algebren, stetiges Feld von C*-Algebren • Induktive Systeme • Quantum-de-Finetti-Satz • KMS-Zustände • Modelle: Spinsysteme auf Gittern, Schrödinger-Operatoren
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden nennen und erklären den konzeptionellen Rahmen, zentrale Ergebnisse und Techniken der Quantisierungstheorie
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Funktionalanalysis I+II (insbesondere Grundzüge der operator Algebren)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in • M.Sc. Mathematik (Studienrichtung „Analysis und Stochastik“) • M.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • ggf. 5. Semester B.Sc. Mathematik (Theoretische Mathematik, Angewandte Mathematik)) Auch offen für Physikstudierende mit entsprechender mathematischer Vorbildung
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich mündlichen Prüfung (20 Min.)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) mündliche Prüfung 100%
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Bücher: • Landsman, Foundations of Quantum Theory, • From Classical Concepts to Operator Algebras (2017); Landsman, • Mathematical Topics Between Classical and Quantum Mechanics (1998). Es wird ein Skript erstellt.

Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung

1	**Modulbezeichnung** 65916	**Advanced algorithms for nonlinear optimization**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Advanced Algorithms for Nonlinear Optimization (2 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Michael Stingl	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Michael Stingl
5	**Inhalt**	Several of the following topics: • Trust region methods • Iterative methods in the presence of noisy data • Interior point methods for nonlinear problems • Modified barrier and augmented Lagrangian methods • Local and global convergence analysis
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • use methods of nonlinear constrained optimization in finite dimensional spaces, • analyse convergence behaviour of these methods and derive robust and efficient realisations, • apply these abilities to technical and economic applications.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in nonlinear optimization is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• C.T. Kelley: Iterative Methods for Optimization, SIAM, • J. Nocedal & S. Wright: Numerical Optimization, Springer.

1	**Modulbezeichnung** 65920	**Advanced nonlinear optimization**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	• advanced optimality conditions and constraint qualifications for constrained optimization problems • penalty, barrier and augmented Lagrangian methods: theory and algorithms • interior point methods • sequential quadratic programming
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • explain and extend their knowledge on theory and algorithms of nonlinear optimization problems, • apply solution techniques to different advanced types of optimization problems, • derive and solve optimization problems arising from technical and economical applications.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in nonlinear optimization is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich oral exam (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• M.S. Bazaraa, H.D. Sherali & C.M. Shetty: Nonlinear Programming Theory and Algorithms, Wiley, New York, • J. Nocedal & S. Wright: Numerical Optimization, Springer.

1	**Modulbezeichnung** 65901	**Advanced solution techniques**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Exercises for Advanced Solution Techniques (1 SWS) (SoSe 2027) Vorlesung: Advanced Solution Techniques (2 SWS) (SoSe 2027)	- 5 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Carsten Gräser
5	**Inhalt**	• Krylov subspace methods for large non-symmetric systems of equations • Multilevel methods, especially multigrid (MG) methods, nested and non-nested grid hierarchies • Parallel numerics, especially domain decomposition methods • Inexact Newton/Newton-Krylov methods for discretized nonlinear partial differential equations • Preconditioning and operator-splitting methods
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • are able to design application-specific own MG algorithms with the theory of multigrid methods and decide for which problems the MG algorithm is suitable to solve large linear systems of equations, • are able to solve sparse nonlinear/non-symmetric systems of equations with modern methods (also with parallel computers), • are able to develop under critical assessment complete and efficient methods for application-orientated problems.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Advanced Discretization Techniques
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich oral exam (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Quarteroni & A. Valli: Numerical Approximation of Partial Differential Equations

		• P. Knabner & L. Angermann: Numerical Methods for Elliptic and Parabolic Differential Equations • Further literature and scientific publications are announced during the lectures

1	**Modulbezeichnung** 65886	**Approximationstheorie** Approximation theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Einführung in die klassische Approximationstheorie: z.B. • Satz von Weierstraß (Bernstein Polynome, Verallgemeinerungen) • Approximation periodischer Funktionen (Fejér Kerne, Fourier-Reihen) • Bestapproximation (Existenz und Eindeutigkeit in normierten Räumen), algebraische Polynome, Charaktierisierungssatz von Kolmogorov, orthogonale Projektionen in Hilberträumen • Approximationsraten und Funktionenräume, Stetigkeitsmoduli, Sätze vom Jackson-Bernstein-Typ, Approximationsräume
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden sollen die Relevanz • der Approximationstheorie (als Teilgebiet der Analysis) für praktische Probleme erkennen und sich Kenntnisse über die Grundprinzipien von Approximation aneignen • erfahren, wie Methoden aus Analysis (Funktionalanalysis), Linearer Algebra und Numerik in der Approximationstheorie zusammenwirken • Kenntnisse aus Basis und Aufbaumodulen neu bewerten • die Beziehungen der Approximationstheorie zu anderen Bereichen der Mathematik und zu anderen Wissenschaften erkennen • mathematische Arbeitsweisen einüben (Entwickeln von mathematischer Intuition und deren formaler Begründung, Schulung des Abstraktionsvermögens, Beweisführung) in den Übungen ihre mündliche Kommunikationsfähigkeit durch Einüben der freien Rede vor Publikum und bei der Diskussion verbessern
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in

		• B.Sc. Bachelor Mathematik (Theoretische Mathematik, Angewandte Mathematik) • B.Sc. Technomathematik (Numerische Mathematik, Modellierung und Optimierung) • B.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • M. Sc. Mathematik (Studienrichtungen “Analysis und Stochastik”, “Modellierung, Simulation und Optimierung”) • M.Sc. Computational and Applied Mathematics (Studienrichtung “Modellierung und Simulation”) • M.Sc. Wirschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) Freies Wahlmodul in - M.Sc. CAM - M.Sc. Data Science
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel Übungsleistung: wöchentliche Hausaufgaben (ca 4 Aufgaben pro Woche) Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (30 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%) Klausur oder mündliche Prüfung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• B. Carl und I. Stephani: Entropy, compactness, and the approximation of operators, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1990). • R.A. DeVore und G.G. Lorentz: Constructive Approximation, Springer, Berlin, 1993. • G.G. Lorentz: Approximation of functions, 2. Auflage, Chelsea, New York (1986). • M.W. Müller: Approximationstheorie, Studientexte Mathematik, Akad. Verlagsgesellsch. Wiesbaden (1978. • A. Schönhage: Approximationstheorie, De Gruyter, Berlin (1971).

1	**Modulbezeichnung** 294239	**Ausgewählte Kapitel der Nichtlinearen Optimierung** Selected chapters of non-linear optimisation.	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	• Nichtlineare Optimierungsprobleme mit spezieller mathematischer Struktur • äquivalente Problemformulierungen • angepasste Lösungsverfahren Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb der Übungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden fortgeschrittene Methoden in Theorie und Anwendungen von numerischen Verfahren zur Lösung unrestringierter und restringierter nichtlinearer Optimierungsprobleme in endlich-dimensionalen Räumen. • Sie können außerdem den Aufwand solcher Berechnungen abschätzen und die dabei auftretenden Schwierigkeiten in Theorie und Numerik einordnen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Abschluss des Moduls Vertiefte nichtlineare Optimierung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	aktuelle Literatur wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben

1	**Modulbezeichnung** 65947	**Ausgewählte Kapitel der reellen Analysis** Selected chapters of real analysis	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	• Grundlagen der Maßtheorie • Dichten, Hausdorff-Maß • Darstellungssatz von Riesz, schwache Konvergenz von Radon-Maßen • Differentiation von Radon-Maßen, Satz von Lebesgue-Radon-Nykodym, Differentiationssatz von Lebesgue • Lipschitz-Funktionen, Satz von Rademacher • Flächen- und Koflächenformel im Lipschitz-Kontext
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden mathematische Sichtweisen und Techniken der reellen Analysis, die u.a. in den Bereichen Partielle Differentialgleichungen, Variationsrechnung und Geometrische Maßtheorie erforderlich sind.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundvorlesungen Analysis I-III
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Evans & Gariepy: Measure Theory and Fine Properties of Functions, Taylor & Francis, 2015 • Federer: Geometric Measure Theory, Springer 1969 • Simon: Lectures on geometric measure theory, Australian National University, , 1983

		• Mattila: Geometry of sets and measures in Eucledean spaces. Fractals and rectifiability, Cambridge 2008

1	**Modulbezeichnung** 65086	**Convex Geometry and Applications** Convex geometry and applications	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	The module comprises of two parts. The first part is a general introduction to convex geometry, where basic concepts and tools will be introduced, such as separation and the classical results of Carathéodory, Helly, and Radon. The second part will be more specialized, focusing on ellipsoids, including ellipsoidal approximation and volume concentration. Applications in optimization and data science will be highlighted throughout.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • will learn the foundations of classical convex geometry • apply concepts and tools from convex geometry to modern applications in optimization and data science
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Linear algebra and calculus are required. Basic knowledge in probability theory is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65876	**Data-driven methods for dynamical systems**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Giovanni Fantuzzi
5	**Inhalt**	This course introduces students to modern data science techniques for interpreting, analyzing, forecasting, and controlling dynamic data. Classical problems from the theory of dynamical systems will be re-examined using state-of-the-art computational methods based on data. Course topics will include: • Dynamic mode decomposition • The Koopman operator • Kernel methods for dynamics • System identification and forecasting Theory will be complemented by programming assignments, where students will have the chance to implement the theory and reproduce results presented in the lectures.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	By the end of the course, students should be able to: # Explain and apply dynamic mode decomposition and its extensions • Explain and apply the basic notions of Koopman operator theory • Explain and utilize system identification techniques • Implement data-driven methods for dynamical system in a programming language of choice
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	This course requires: • A basic understanding of differential equations / maps • The ability to program in at least one scientific programming language (e.g. MATLAB, Python, Julia, etc.)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Lecture materials will be provided as the course progresses. A reading list will also be provided at the start of the course.

1	**Modulbezeichnung** 65917	**Discrete optimization I**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Discrete Optimization I (2 SWS) Übung: Tutorial zu Discrete Optimization I (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr. Florian Rösel Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	Theoretical and practical fundamentals of solving difficult mixed-integer linear optimization problems (MIPs) constitute the main focus of this lecture. At first, the concept of NP-completeness and a selection of common NP-complete problems will be presented. As for polyhedral theory, fundamentals concerning the structure of faces of convex polyhedra will be covered. Building upon these fundamentals, cutting plane algorithms as well as branch-and-cut algorithms for solving MIPs will be taught. Finally, some typical problems of discrete optimization, e.g., the knapsack problem, the traveling salesman problem or the set packing problem will be discussed.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • will gain basic theoretical knowledge of solving mixed-integer linear optimization problems (MIPs), • are able to solve MIPs with the help of state-of-the-art optimization software.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Linear and Combinatorial Optimization
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (60 Minuten) Klausur (60min)
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65910	**Discrete optimization III**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	In this lecture we will discuss selected topics in discrete and mixed-integer optimization. Possible topics include lattice methods, integer programming in fixed dimension, recent research on (mixed) integer linear and/or (mixed) integer nonlinear programming and so on. The specific topics may vary and will be announced in due time. FORMERLY: In this lecture, we cover theoretical aspects and solution strategies for difficult integer and mixed-integer optimization problems. First, we show the equivalence between separation and optimization. Then, we present solution strategies for large-scale optimization problems, e.g., decomposition methods and approximation algorithms. Finally, we deal with conditions for the existence of integer polyhedra. We also discuss applications for example from the fields of engineering, finance, energy or public transport.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • use basic terms of discrete optimization • model real-world discrete optimization problems, determine their complexity and solve them with appropriate mathematical methods.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Knowledge in linear and combinatorial optimization, discrete optimization I and II
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Lecture notes • Bertsimas, Weismantel: Optimization over Integers, Dynamic Ideas, 2005 • Conforti, Cornuéjols, Zambelli: Integer Programming, Springer 2014 • Nemhauser, Wolsey: Integer and Combinatorial Optimization, Wiley 1994 • Schrijver: Combinatorial optimization Vol. A - C, Springer 2003 • Schrijver: Theory of Linear and Integer Programming, Wiley, 1986 • Wolsey: Integer Programming, Wiley, 2021

1	**Modulbezeichnung** 65926	**Dualität und Optimierung** Duality and optimisation	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	Lagrange-Dualität der endlichdimensionalen Nichtlinearen Optimierung, Optimalitätsbedingungen und Sattelpunktkriterien, Bearbeitung des dualen Problems, eigentlich konvexe Funktionen, konjugierte Funktionen, konjugierte Mengen, Fenchel-Dualität Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb der Übungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	• Die Studierenden kennen verschiedene Typen dualer Optimierungsprobleme. • Für gegebene abstrakte oder konkrete Optimierungsmodelle können sie diese dualen Probleme errechnen, bearbeiten und lösen. Die Betrachtung und das Verständnis dualer Probleme ist grundlegend in der Modellierung und in der numerischen Bearbeitung von Fragestellungen der Natur-, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Abschluss des Bachelor-Moduls Nichtlineare Optimierung und Abschluss des Moduls Vertiefte Nichtlineare Optimierung (oder Optimierung in normierten Räumen)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch

16	**Literaturhinweise**	• M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty: Nonlinear Programming, Theory and Algorithms, Wiley, 2005 • J.-B. Hiriart-Urruty, C. Lemarechal: Convex Analysis and Minimization Algorithms II, Springer, 1993 • R.T. Rockafellar, R.J.-B. Wets: Variational Analysis, Springer, 2009

1	**Modulbezeichnung** 65083	**Efficient discretization of two-phase flow**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Stefan Metzger
5	**Inhalt**	Based on recent scientific publications, different discretization approaches for two-phase flow are discussed.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • can use original literature to familiarise themselves with a current research topic, • can structure the content acquired both verbally and in writing and make their own contributions to its presentation and/or substance, • learn scientific content on the basis of academic lectures and actively discuss it at a plenary session, • learn to compare different discretization methods regarding their specific advantages and disadvantages.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Numerics of Partial Differential Equations I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) + schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Depending on topic. Will be published on StudOn at the beginning of the semester.

1	**Modulbezeichnung** 65706	**Einführung in die unitäre Darstellungstheorie (EUniD)** Introduction to unitary representation theory (EUniD)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen • Satz von Stone (unitaere Einparametergruppen) • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Spektralmasse und messbarer Funktionalkalkuel • Positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen), Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65058	**Fourier Methods for PDEs** Advanced topic in probability	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Enrique Zuazua Iriondo
5	**Inhalt**	**Standard Fourier methods for PDEs:** 1) Fourier Transform, Scwhartz space, tempered distributions, Sobolev spaces. Application of the theory to the heat and wave equations. 2) Study of the incompressible Navier-Stokes equations. Leray's existence result. Ladyzhenskaya's uniqueness results. **Littlewood-Paley theory:** 1) Presentation of the theory. Application to the linear heat and transport equations. 2) Application to partially dissipative systems in simple cases. Study of the linear compressible Euler system with damping. Global well-posedness and large-time behavior results.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are able to: • use standard Fourier methods to study the behavior of the solutions of partial differential equations. • use the Littlewood-Paley decomposition to study concrete linear and nonlinear models. • work out the examples and applications that accompany the theory.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Advanced functional analysis, Theory of distributions, Analysis of ODEs and PDEs.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 MSc Mathematics • Analysis and Stochastics • Modelling, Simulation and Optimization
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Oral Exam (100%)

12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 49 h Eigenstudium: 101 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Fourier Analysis and Nonlinear Partial Differential Equation, H. Bahouri, J-Y. Chemin and R. Danchin, Springer, Volume 343. • Handouts and lecture notes distributed via StudOn and on the webpage timotheecrinbarat.com

1	**Modulbezeichnung** 65927	**Funktionalanalysis II** Function analysis II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung zur Funktionalanalysis II (2 SWS) Vorlesung: Funktionalanalysis II (4 SWS)	- 10 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Gandalf Lechner	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes
5	**Inhalt**	Ausgewählte vertiefende Kapitel der Funktionalanalysis,z. B. Spektraltheorie, Indextheorie, unbeschränkte Operatoren, Fixpunktsätze von Brouwer und Schauder, monotone Operatoren, selbstadjungierte Erweiterungen, Halbgruppen, Anwendungen in der Festkörperphysik oder bei nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden nennen und erklären vertiefte Aussagen und Techniken aus der Funktionalanalysis und ihrer Anwendungen.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Funktionalanalysis I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	Bücher von Lax, Reed-Simon, Showalter, Ruzicka, Alt, Brezis, Werner mit Titel Funktionalanalysis

1	**Modulbezeichnung** 65099	**Introduction to abstract harmonic analysis**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Kang Li
5	**Inhalt**	• Haar Integration on Locally Compact Groups • The Fourier Transform • Duality for Abelian Groups • Plancherel Theorem • Pontryagin Duality • The Structure of LCA-Groups • The Peter-Weyl Theorem for Compact Groups • Stone-von Neumann Theorem
6	**Lernziele und Kompetenzen**	After following this course, the student (1) knows the integration on locally compact groups; (2) has acquired insight in the elementary theory on duality for abelian groups and compact groups; (3) can illustrate the various concepts and results treated in this course with relevant examples; (4) has gained basic intuition about unitary dual and is able to verify intuitive conjectures by giving either rigorous proofs or counterexamples; (5) -> is able to explore some problems, examples, applications or extensions related to the course, independently using the literature.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Knowledge of set theoretic topology, Lebesgue integration, and functional analysis on an introductory level.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Principles of Harmonic Analysis-Springer International Publishing (2014), Second Edition by Anton Deitmar and Siegfried Echterhoff

1	**Modulbezeichnung** 65915	**Introduction to material- and shape optimization**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Introduction to Material and Shape Optimization (4 SWS) (SoSe 2027)	10 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Michael Stingl
5	**Inhalt**	• shape-, material- and topology optimization models • linear elasticity and contact problems • existence of solutions of shape, material and topology optimization problems • approximation of shape, material and topology optimization problems by convergent schemes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • derive mathematical models for shape-, material and topology optimization problems, • apply regularization techniques to guarantee to existence of solutions, • approximate design problems by finite dimensional discretizations, • derive algebraic forms and solve these by nonlinear programming techniques.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: • Knowledge in nonlinear optimization, • Basic knowledge in numerics of partial differential equations
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• J. Haslinger & R. Mäkinen: Introduction to shape optimization, SIAM, • M. P. Bendsoe & O. Sigmund: Topology Optimization: Theory, Methods and Applications, Springer.

1	**Modulbezeichnung** 65928	**Inverse Problems**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Daniel Tenbrinck
5	**Inhalt**	• Examples of inverse and ill posed problems in engineering and medical imaging • Linear regularization methods in Hilbert spaces and singular value decomposition • Variational methods for regularization and image reconstruction problems • Tomographic reconstruction and Radon transforms
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • develop understanding for special aspects of inverse problems and ill posedness, • apply regularization methods to inverse problems and develop a basic understanding of their properties, • derive and solve inverse problems arising from technical and biomedical applications.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Keine
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (ca. 15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• H. Engl, M. Hanke, A. Neubauer: Regularization Methods for Inverse Problems, Kluwer 1996 • M. Benning, M. Burger: Modern Regularization Methods for Inverse Problems, Acta Numerica 2018

1	**Modulbezeichnung** 65700	**Lecture Series Partial Differential Equations, Control and Numerics (PdeConNum)** Lecture series: Partial differential equations, control and numerics (PdeConNum)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Enrique Zuazua Iriondo
5	**Inhalt**	• Examples of PDE models arising in industrial applications, Biology and Social Sciences • Long time asymptotics • Control of trajectories • Numerics for long time dynamics and control • Some applications in the control of population dynamics
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • develop understanding for special aspects of dynamical systems control, • apply numerical methods to control problems and develop a basic understanding of their properties, • derive and solve inverse problems arising from applications.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: basic knowledge in functional analysis
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig The module will be held only in summer term.
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• J. M. Coron, Control and nonlinearity, Mathematical Surveys and Monographs, 143, AMS, 2009

		• E. Zuazua. Propagation, observation, and control of waves approximated by finite difference methods. SIAM Review, 47 (2) (2005), 197-243

1	**Modulbezeichnung** 48241	**Mathematical Image Processing**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. This module is offered in every second summer term. The next course will be held in the summer semester 2024.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Daniel Tenbrinck
5	**Inhalt**	This module covers mathematical image processing techniques based on Fourier domain filters, variational methods, and partial differential equations. In particular, the following content will be introduced to the students: • contrast enhancement • filtering in Fourier and image domain • Bayesian image denoising • image deblurring / deconvolution • pixel-based clustering • region-based segmentation • image inpainting • nonlocal image processing using graphs
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students following this course will • learn how image data can be modeled and analyzed mathematically • develop a deeper understanding of mathematical basics and methods for image processing • implement own algorithms for mathematical image processing • discover connections to related mathematical fields, e.g., inverse problems and convex analysis
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Knowledge in calculus and linear algebra is **recommended** to understand the mathematical foundations of image processing. Knowledge in functional analysis, numerical mathematics, or inverse problems is **helpful** to understand advanced concepts in mathematical image processing.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2;1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	schriftlich oder mündlich Oral examination (20 min.) or written examination (60 min.) depending on size of course.
11	**Berechnung der Modulnote**	schriftlich oder mündlich (100%) Oral exam (100%) or written exam (100%) depending on size of course.

12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• G. Aubert & P. Kornprobst: Mathematical problems in Image Processing, Springer • K. Bredies & D. Lorenz, Mathematical Image Processing, Springer • S. Osher & R. Fedkiw, Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces, Springer • A. Elmoataz , O.Lezoray, S. Bougleux: Nonlocal Discrete Regularization on Weighted Graphs: a framework for Image and Manifold Processing, IEEE Transactions On Image Processing, 17 (7), pp: 1047-1060, 2008

1	**Modulbezeichnung** 65911	**Mathematical modeling in the life sciences**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Maria Neuß
5	**Inhalt**	• Biochemical reaction networks, enzyme kinetics • Models for interacting populations (Predator-prey, competition, symbiosis) • Diffusion, reactions, and transport in biological cell tissues and vessels • Structured population models
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • have profound knowledge in the area of mathematical modeling of processes in the life sciences • are able to identify significant mechanisms and to apply suitable analytical and numerical methods for their analysis • are able to work interdisciplinary and problem-oriented.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig The module will be held only in winter term.
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• J. D. Murray: Mathematical Biology I: An Introduction, Mathematical Biology II: Spatial Models and Biomedical Applications • G. de Vries, T. Hillen, et al.: A course in Mathematical Biology • J. Prüss: Mathematische Modelle in der Biologie: Deterministische homogene Systeme

1	**Modulbezeichnung** 65785	**Mathematics of Learning** Mathematics of learning	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung zu Mathematics of Learning (1 SWS) Vorlesung: Mathematics of Learning (2 SWS)	2 ECTS 3 ECTS
3	Lehrende	Sebastian Denzler Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	• Machine learning: empirical risk minimization, kernel methods and variational models • Mathematical aspects of deep learning • Ranking problems • Mathematical models of network interaction
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • develop understanding of modern big data and state of the art methods to analyze them, • apply state of the art algorithms to large data sets, • derive models for network / graph structured data.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Prerequisites: Knowledge in linear algebra and analysis is required, e.g., as taught in the first year in BSc Data Science or BSc Computer Science. Basic knowledge in numerical methods and optimization is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (60 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Goodfellow, Bengio, Courville, Deep Learning, MIT Press, 2015 • Hastie, Tibshirani, Friedman, The Elements of Statistical Learning, 2008

1	**Modulbezeichnung** 65906	**Mathematics of multiscale models**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Nicolas Neuß
5	**Inhalt**	• Function spaces of periodic functions and asymptotic expansions • Two-scale convergence and unfolding method • Application to differential equation models in continuum mechanics • Multi-scale finite element methods • Numerical upscaling methods
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • have profound expertise about the basic methods in multi-scale analysis and homogenisation, • are able to derive rigorously homogenised (effective) models and analyse the quality of the approximation.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Knowledge in modeling as well as analysis and numerics of partial differential equations
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• D. Cioranescu & P. Donato: An Introduction to Homogenization • U. Hornung (ed.): Homogenization and Porous Media • Y. Efendiev & T. Hou: Multiscale Finite Element Methods

1	**Modulbezeichnung** 65860	**Modeling and analysis in continuum mechanics I**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Tutorial to Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 1 (1 SWS) Vorlesung: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 1 (4 SWS)	2 ECTS 8 ECTS
3	Lehrende	PD Dr. Stefan Metzger	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• Theory of elasticity (geometrical non-linear modelling, objectivity and isotropy of energy functionals, linearised elasticity, polyconvexity, existence according to J. Ball) • Non-equilibrium thermodynamics and modelling in hydrodynamics (basic concepts in thermodynamics, balance equations, constitutive relations) • Parabolic function spaces and the Aubin-Lions lemma • Weak solution theory for incompressible Navier-Stokes equations
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • derive mathematical models for fluid mechanics and elasticity theory, • evaluate the predictive power of models using physical modelling assumptions and the qualitative characteristics of solutions, • apply analytical techniques to rigorously prove qualitative properties of solutions.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in functional analysis and modelling is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	• P.G. Ciarlet: Mathematical elasticity, North-Holland, • S.R. De Groot & P. Mazur: Non-equilibrium thermodynamics, Dover, • C. Eck, H. Garcke & P. Knabner: Mathematical Modeling, Springer, • L.C. Evans: Partial differential equations, AMS, • I. Liu: Continuum mechanics, Springer, • R. Temam: The Navier-Stokes equations, AMS Chelsea Publishing.

1	**Modulbezeichnung** 65891	**Modelling and simulation of biomembranes** Modeling and simulation of biomembranes	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Carsten Gräser
5	**Inhalt**	In this lecture, we cover theoretical aspects and solution strategies for difficult integer and mixed-integer optimization problems. First, we show the equivalence between separation and optimization. Then, we present solution strategies for large-scale optimization problems, e.g., decomposition methods and approximation algorithms. Finally, we deal with conditions for the existence of integer polyhedra. We also discuss applications for example from the fields of engineering, finance, energy or public transport.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • use basic terms of discrete optimization • model real-world discrete optimization problems, determine their complexity and solve them with appropriate mathematical methods.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Knowledge in linear and combinatorial optimization, discrete optimization I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) + schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	Lecture notes Bertsimas, Weismantel: Optimization over Integers, Dynamic Ideas, 2005

		Conforti, Cornuéjols, Zambelli: Integer Programming, Springer 2014 Nemhauser, Wolsey: Integer and Combinatorial Optimization, Wiley 1994 Schrijver: Combinatorial optimization Vol. A ? C, Springer 2003 Schrijver: Theory of Linear and Integer Programming, Wiley, 1986 Wolsey: Integer Programming, Wiley, 2021

1	**Modulbezeichnung** 65870	**Modeling, simulation and optimization (Practical Course)** Modeling, simulation and optimization	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Praxisseminar: Modeling, Simulation and Optimization (practical course) (3 SWS) (SoSe 2027)	5 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Carsten Gräser
5	**Inhalt**	• Modelling, analysis, simulation and/or optimization of problems in engineering or the natural sciences • Numerical algorithms for partial differential equation models (finite differences, finite elements, etc) • Continuous optimization and optimal control
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • work on problems in engineering or the natural sciences by constructing a suitable mathematical model, • are able to simulate, analyze, and/or optimize the constructed mathematical model using numerical methods, • are able to implement processes using their own or specified software and critically evaluate the results, • are able to set out their approaches and results in a comprehensible and convincing manner, making use of appropriate presentation techniques, • are able to develop and set out in writing the theories and problem solutions they have developed.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Completion of the module Modeling and Analysis in Continuum Mechanics I.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminararbeit+Vortrag Seminararbeit+Vortrag Oral presentation (approx. 45 min) with seminar paper (approx 10 pages)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminararbeit+Vortrag (50%) Seminararbeit+Vortrag (50%) Seminar paper and oral presentation (50%+50%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	Project-dependent. Will be published on StudOn at the beginning of the semester.

1	**Modulbezeichnung** 65887	**Modul Conservation Laws** Module: Conservation laws	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Dr. Lukas Pflug
5	**Inhalt**	• (Non-)local conservation laws in applications • Linear scalar transport equations and conservation laws • Linear multi-D transport equations and conservation laws • Method of characteristics • Fixed-point methods in Banach spaces • Existence and uniqueness of nonlocal conservation laws • Maximum principles • Regularity and stability of solutions • Local conservation laws, Entropy solutions; • The singular limit problem – approximation of local Entropy solutions by nonlocal conservation laws • Numerical methods
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students learn the basic theory on nonlocal conservation laws, apply approximation results, learn fixed-point approaches in Banach spaces and understand the applicability of conservation laws in the applied sciences.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Some basic knowledge in PDE is of advantage, Sobolev spaces.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• Bressan, Alberto. Hyperbolic systems of conservation laws: the one-dimensional Cauchy problem. Vol. 20. Oxford University Press on Demand, 2000. • Keimer, Alexander, and Lukas Pflug. "Existence, uniqueness and regularity results on nonlocal balance laws." Journal of Differential Equations 263.7 (2017): 4023-4069. • Coclite, Giuseppe Maria, et al. "A general result on the approximation of local conservation laws by nonlocal conservation laws: The singular limit problem for exponential kernels." Annales de l'Institut Henri Poincaré C (2022). • Blandin, Sebastien, and Paola Goatin. "Well-posedness of a conservation law with non-local flux arising in traffic flow modeling." Numerische Mathematik 132.2 (2016): 217-241. • Aggarwal, Aekta, Rinaldo M. Colombo, and Paola Goatin. "Nonlocal systems of conservation laws in several space dimensions." SIAM Journal on Numerical Analysis 53.2 (2015): 963-983.

1	**Modulbezeichnung** 65888	**Navier Stokes Equations** Navier stokes equations	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	The incompressible Navier-Stokes equations (NSE) are a nonlinear system of partial differential equations fundamental for the modelling of fluid flow. They are extensively used in meteorology and oceanography, but also pose great mathematical challenges. Famously, global regularity of the three-dimensional NSE forms one of the seven Millennium Problems. This course serves as an introduction to the mathematical theory of these equations and includes the following topics: • existence of weak solutions of Leray-Hopf type; • local-in-time existence of strong solutions; • the Prodi-Serrin criteria for regularity and energy balance; • partial regularity theory; • the singular limit of vanishing viscosity. The course can be a good preparation for a subsequent master's thesis in the topic.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students know and understand the basic theory of the Navier-Stokes equations and have mastered important methods for systems of non-linear partial differential equations. They have a basic understanding of mathematical fluid dynamics.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Lineare Algebra, Analysis. Empfohlen: erste Kurse in partiellen Differentialgleichungen und Funktionalanalysis.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• J. C. Robinson, J. L. Rodrigo, W. Sadowski: The Three-Dimensional Navier-Stokes Equations. Cambridge University Press, 2016. • P. Constantin, C. Foias: Navier-Stokes Equations. University of Chicago Press, 1988. • W. Ożański: The Partial Regularity Theory of Caffarelli, Kohn, and Nirenberg and its Sharpness. Birkhäuser, 2019. • E. Wiedemann: Navier-Stokes Equations: Lecture Notes. Universität Ulm, 2018/19.

1	**Modulbezeichnung** 65059	**Neural Network Approximation** Advanced topic in probability	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Ausgewählte Kapitel im Bereich der Approximation mittels Neuronaler Netze: z.B. • Einfuehrung zu Neuronalen Netzen (Beispiele, Aktivierungsfunktionen, Kostenfunktionen, Neuronen, Aufbau eines Neuronalen Netzes) • Saetze aus der Approximationstheorie und Anwendungen auf Neuronale Netze (Dinis Theorem, Satz von Arzela-Ascoli, Satz von Stone-Weierstrass, Wieners Tauberian Theorem, Banachscher Fixpunktsatz) • Neuronale Netze als universale Approximatoren weitere fortgeschrittene Themen (hinführend auf eine Masterarbeit) Selected chapters in the area of approximation using neural networks: e.g. • Introduction to neural networks (examples, activation functions, cost functions, neurons, structure of a neural network) • Theorems from approximation theory and applications to neural networks (Dini's theorem, Arzela-Ascoli's theorem, Stone-Weierstrass' theorem, Wiener's Tauberian theorem, Banach's fixed point theorem) • Neural networks as universal approximators • Further advanced topics (leading to a master thesis)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus. The students • work independently with literature in a specialized field; • use presentation and communication techniques, present mathematical facts and discuss them; • exchange information, ideas, problems and solutions with each other and with the lecturer.

7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums Recommended: Analysis modules of the Bachelor's program
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Wahlpflichtmodul in • M.Sc. Mathematik (Studienrichtungen “Analysis und Stochastik”, “Modellierung, Simulation und Optimierung”) • M.Sc. Computational and Applied Mathematics (Studienrichtung “Modellierung und Simulation”) • M.Sc. Wirtschaftsmathematik (Mathematische Wahlpflichtmodule) • M.Sc. Data Science (Mathematische Theorie/ Grundlagen der Data Science)
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten) Vortrag und Handout Presentation and handout
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Mündliche Prüfung (100%) Oral exam (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• O. Calin: Deep Learning Architectures. A mathematical approach, Springer Series in the Data Sciences (2020). • I. Daubechies, R. DeVore, S. Foucart, B. Hanin, and G. Petrova: Nonlinear Approximation and (Deep) ReLU Networks, Constr. Approx. 55:127-172 (2022). • P. Grohs and F. Voigtlaender: Sobolev-type embeddings for neural network approximation spaces, Constr. Approx. 57:579-599 (2023). • C. Schneider and J. Vybiral: A multivariate Riesz basis of ReLU neural networks, to appear in ACHA (2023). • weitere Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 65952	**Nichtglatte Optimierung (nicht vertieft)** Nonsmooth optimization (not advanced)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	Auftreten nichtglatter Probleme, Vertiefung der Theorie zu konvexen Funktionen, lokal Lipschitz-stetige Funktionen, Subdifferential, Einblick in Subgradienten-Algorithmen etc.Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb der Übungen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden Theorie und Funktionsweisen von numerischen Verfahren der Nichtglatten Optimierung (nicht vertieft). Die Studierenden stellen Probleme der nichtglatten Optimierung auf, untersuchen sie mathematisch und entwickeln numerische Lösungsmethoden, welche sie schließlich anwenden. Diese Fähigkeiten sind in naturwissenschaftlichen, medizinischen, wirtschaftswissenschaftlichen und technischen Anwendungen von Bedeutung.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Beherrschung grundlegender Theorie und Methodiken der Nichtlinearen Optimierung aus den Bachelor-Studiengängen Mathematik, Technomathematik, Wirtschaftsmathematik (z.B. Abschluss des Moduls Nichtlineare Optimierung) oder Abschluss des Master-Moduls Optimierung in normierten Räumen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch

16	**Literaturhinweise**	• W. Alt: Numerische Verfahren der konvexen, nichtglatten Optimierung, Teubner, 2004 • J.P. Hiriart-Urruty, C. Lemarechal: Fundamentals of Convex Analysis, Springer, 2001 • M.M. Mäkelä, P. Neittaanmäki: Nonsmooth Optimization Analysis and Algorithms with Application to Optimal Control, World Scientific, 1992

1	**Modulbezeichnung** 65883	**Nichtglatte Optimierung (vertieft)** Nonsmooth optimization (advanced)	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	Auftreten nichtglatter Probleme, Vertiefung der Theorie zu konvexen Funktionen, lokal Lipschitz-stetige Funktionen, Subdifferential, Subgradienten-Algorithmen, Epsilon-Subdifferential, Bundle-Methoden etc.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden Theorie und Funktionsweisen von numerischen Verfahren der Nichtglatten Optimierung (vertieft). Die Studierenden stellen Probleme der nichtglatten Optimierung auf, untersuchen sie mathematisch und entwickeln numerische Lösungsmethoden, welche sie schließlich anwenden. Diese Fähigkeiten sind in naturwissenschaftlichen, medizinischen, wirtschaftswissenschaftlichen und technischen Anwendungen von Bedeutung.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Beherrschung grundlegender Theorie und Methodiken der Nichtlinearen Optimierung aus den Bachelor-Studiengängen Mathematik, Technomathematik, Wirtschaftsmathematik (z.B. Abschluss des Moduls „Nichtlineare Optimierung“) oder Abschluss des Master-Moduls „Optimierung in normierten Räumen".
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	W. Alt: Numerische Verfahren der konvexen, nichtglatten Optimierung, Teubner, 2004

		J.P. Hiriart-Urruty, C. Lemarechal: Fundamentals of Convex Analysis, Springer, 2001 M.M. Mäkelä, P. Neittaanmäki: Nonsmooth Optimization – Analysis and Algorithms with Application to Optimal Control, World Scientific, 1992

1	**Modulbezeichnung** 65904	**Numerics of incompressible flows I**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Eberhard Bänsch
5	**Inhalt**	• Mathematical modelling of (incompressible) flows • Variational formulation, existence and (non-)uniqueness of solutions to the stationary Navier-Stokes (NVS) equations • Stable finite element (FE) discretization of the stationary (Navier) Stokes equations • Error estimates • Solution techniques for the saddle point problem
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • explain and apply the mathematical theory for the stationary, incompressible Navier-Stokes equations, • analyse FE discretization for the stationary Stokes equations and apply them to practical problems, • explain the meaning of the inf-sup condition, • choose the appropriate function spaces, stabilisation techniques and solution techniques and apply them to concrete problem settings.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Advanced discretization techniques
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• V. Girault, P.-A. Raviart: Finite element methods for the Navier-Stokes equations. Theory and algorithms. Springer 1986

		• H. Elman, D. Silvester, A. Wathen: Finite elements and fast iterative solvers: with applications in incompressible fluid dynamics. Oxford University Press 2014 • R. Temam: Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis. North Holland

1	**Modulbezeichnung** 65905	**Numerics of incompressible flows II**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Eberhard Bänsch
5	**Inhalt**	• Variational formulation of the instationary Stokes and Navier-Stokes (NVS) equations • Existence and uniqueness of solutions to the instationary Stokes and NVS equations • Time discretisation methods • Fully discrete equations and error estimates • Solution techniques • Operator splitting, projection methods • More general boundary conditions • Coupling of NVS with temperature equation • Computational experiments with academic or commercial codes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • discretize the instationary NVS equations in time and space, • explain and analyse discretisation schemes and operator splitting techniques, • choose appropriate algorithms for given flow problems and solve them with academic or commercial software.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Advanced discretization techniques, Numerics of incompressible flows I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) (15 min)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig The module will be held only in winter term.
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	• V. Girault & P.-A. Raviart: Finite element methods for the Navier-Stokes equations. Theory and algorithms. Springer 1986 • H. Elman, D. Silvester & A. Rathen: Finite elements and fast iterative solvers: with applications in incompressible fluid dynamics. Oxford University Press 2014 • R. Glowinski: Finite Element Methods for Incompressible Viscous Flow, in : Handbook of Numerical Analysis vol. IX • R. Temam: Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis. North Holland

1	**Modulbezeichnung** 65908	**Numerics of stochastic evolution equations**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• Strong and weak approximations, explicit and implicit schemes for stochastic differential equations (SDEs), • Consistency, stability, convergence, • Monte Carlo methods, variance-reduction schemes.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • have critical understanding of capabilities of numerical schemes for stochastic differential equations, • are capable to use own or commercial software for SDEs and to judge results critically.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in probability theory and in numerics is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 37,5 Eigenstudium: 112,5
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• P.E. Kloeden & E. Platen: Numerical solution of stochastic differential equations • B. Lapeyre, E. Pardoux & R. Sentis: Introduction to Monte? Carlo methods for transport and diffusion equations

1	**Modulbezeichnung** 65954	**Numerik der Optimalen Steuerungen** Numerics of optimal control	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Hannes Meinlschmidt
5	**Inhalt**	The following topics are covered: Discretization methods for differential equations, aspects of nonlinear optimization methods, direct discretization methods (fully and reduced discretized), indirect methods based on discretization of necessary optimality conditions as well as methods for efficient sensitivity calculations with internal numerical differentiation and adjoint equations. The material is presented in lecture form. Further acquisition of the essential concepts and techniques takes place through self-study of accompanying literature and the completion of exercises, supported by meetings within the tutorials. By default, the lecture will be given in English (in German only if all participants agree).
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students explain and use numerical methods for optimal control problems with ordinary differential equations and differential algebraic equations. They apply basic concepts of solution methodology using direct and indirect discretization methods for application problems, for example in technology or economics.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Basic knowledge in numerics, in theory of ordinary differential equations, and in optimization.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	M. Gerdts, Optimal Control of ODEs and DAEs, De Gruyter, 2012.

1	**Modulbezeichnung** 65878	**Numerische Behandlung Elliptischer PDEs** Numerical methods of elliptic PDEs	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	• Elliptische Differentialgleichungen • Schwache Lösungen • Variationsformulierung • Galerkin Verfahren • Finite Elemente
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden sollen • die Grenzen der Standardverfahren erkennen, wenn die Problemstellung besondere Anforderungen mit sich bringt, • lernen, problemadäquate Lösungen zu finden, • beispielhaft nachvollziehen, wie konkrete praktische Entwicklungen die Fragestellungen der angewandten Mathematik beeinflussen, • mathematische Arbeitsweisen einüben (Entwickeln von mathematischer Intuition und deren formaler Begründung, Schulung des Abstraktionsvermögens, Beweisführung), • in den Übungen ihre mündliche Kommunikationsfähigkeit durch Einüben der freien Rede vor einem Publikum und bei der Diskussion verbessern.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Empfohlen: Basis- und Aufbaumodule Numerik
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Hackbusch, W., Theorie und Numerik elliptischer Differentialgleichungen, Teubner 1986 • Brenner, S.C., Scott, L.R, The mathematical theory of finite element methods, Springer, 1994

1	**Modulbezeichnung** 65923	**Optimization in industry and economy**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Optimization in Industry and Economy (2 SWS) Übung: Übung zu Optimization in Industry and Economy (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Sebastian Denzler Dr. Kevin-Martin Aigner	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	This course focuses on modeling and solving real-world optimization problems occurring in industry and economics. Advantages and disadvantages of different modeling techniques will be outlined. In order to achieve efficient solution approaches, different reformulations and their numerical results will be discussed. Students will learn how to present optimization results properly as well as how to interpret and evaluate these results for practical applications. The latter may include but is not limited to the optimization of transport networks (gas, water, energy), air traffic management and mathematical modeling/optimization of market mechanisms in the energy sector.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • model complex real-world optimization problems with respect to efficient • solvability, • classify the models and use appropriate solution strategies, • evaluate the achieved computational results.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Modul LKOpt: Linear and combinatorial optimization
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich schriftliche Klausur 60 min
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 105 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Lecture notes (will be published on StudOn at the beginning of the semester) • Up-to-date research literature (will be published on StudOn at the beginning of the semester)

1	**Modulbezeichnung** 65921	**Optimization with partial differential equations (advanced)** Optimization with partial differential equations	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Optimization with Partial Differential Equations (2 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Hannes Meinlschmidt	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Michael Stingl
5	**Inhalt**	Several of the following topics: • Optimization and control in Banach spaces • Concepts of controllability and stabilization • Optimal control of Partial differential equations • Singular Perturbations and asymptotic analysis • Numerical realizations of optimal controls • Technical, medical and economic applications
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • explain and use theory as well as numerical methods for optimization, control and stabilization in the context of partial differential equations, • apply these abilities to technical and economic applications.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in numerics, partial differential equations, and nonlinear optimization is recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• F. Tröltzsch: Optimal Control of Partial Differential Equations, AMS • G. Leugering & P. Kogut: Optimal Control of PDEs in Reticulated Domains, Birkhäuser

1	**Modulbezeichnung** 65123	**Partielle Differentialgleichungen I** Partial differential equations I	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Partielle Differentialgleichungen I (2 SWS) Vorlesung: Partielle Differentialgleichungen I (4 SWS)	- 10 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Robert Lasarzik	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• schwache Existenztheorie elliptischer Gleichungen zweiter Ordnung • Regularität schwacher Lösungen (Differenzenquotientenmethode, Moser, Harnack) • Wärmeleitungsgleichung in Hölderräumen, Vergleichssätze Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich einen Überblick über Anwendungsbereiche von PDGen. Sie verwenden einfache explizite Lösungsmethoden und nutzen klassische und schwache Zugänge zu Existenzresultaten
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 5
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• E. DiBenedetto: Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • L. C. Evans: Partial Differential Equations, AMS 1997 • D. Gilbarg, N. S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations, Springer 1983 • Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 409733	**Partielle Differentialgleichungen II** Partial differential equations II	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Partielle Differentialgleichungen II (4 SWS) (SoSe 2027) Übung: Übungen zu Partielle Differentialgleichungen II (2 SWS) (SoSe 2027)	10 ECTS -
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• direkte Methoden der Variationsrechnung, Existenz im konvexen Fall, Hölder-Regularität • Die Wärmeleitungsgleichung und andere parabolische Gleichungen • Die Wellengleichung und andere hyperbolische Gleichungen • Weitere ausgewählte Themen, z.B.: • Energiemethoden • Viskositätslösungen • skalare Erhaltungsgleichungen • parabolische p-Laplace und poröse Mediengleichung (Regularität, qualitative Eigenschaften, usw.) • Gleichungen vierter Ordnung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden wenden Methoden für Existenzbeweise bei nichtlinearen Gleichungen an, und erweitern ihr Methodenspektrum für Lösungskonzepte und Eindeutigkeitsresultate.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Partielle Differentialgleichungen I als dringende Empfehlung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt

16	**Literaturhinweise**	• L. C. Evans, Partial Differential Equations, AMS 1997 • D. Gilbarg, N. S. Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations, Springer 1983 • E. DiBenedetto, Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • E. Giusti, Direct methods in the calculus of variations. World Scientific Publishing 2003 • Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 65081	**Partielle Differentialgleichungen III** Partial differential equations III	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Emil Wiedemann
5	**Inhalt**	Regularitätstheorie des elliptischen und parabolischen p-Laplace Operators: • Beschränktheit schwacher Lösungen, • Hölder-Stetigkeit schwacher Lösungen, • Differenzierbarkeit schwacher Lösungen. Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch wöchentliche Hausaufgaben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erarbeiten sich einen Überblick über die Regularitätstheorie degeneriert elliptischer und parabolischer Differentialgleichungen. Sie verwenden die Konzepte von DeGiorgi und DiBenedetto und nutzen diese zum Beweis von Regularitätsresultaten.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Module zu Partielle Differentialgleichungen des Bachelorstudiums (insbesondere Kenntnis von Sobolev-Räumen)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 7
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• E. DiBenedetto: Partial Differential Equations, Birkhäuser 2001 • L. C. Evans: Partial Differential Equations, AMS 1997 • E. DiBenedetto: Degenerate Parabolic Equations, Springer 1993 • E. DiBenedetto, U. Gianazza, V.Vespri: Harnacks Inequality and Singular Parabolic Equations, Springer 2012

		• Vorlesungsskriptum

1	**Modulbezeichnung** 65877	**Polynomial Optimization and Application**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Giovanni Fantuzzi
5	**Inhalt**	Polynomial optimization problems (POPs) form a broad class of optimization problems that find applications to control theory, dynamical systems, optimal transport, power flow networks, fluid mechanics, and many other fields. This course will introduce students to a modern approach to solving POPs through semidefinite programming techniques. More specifically, the course will cover: • The basics of semidefinite programs • The theory of sum-of-squares (SOS) polynomials • Moment-SOS hierarchies for polynomial optimization problems • Applications (e.g. to dynamical system analysis) Students will also have the opportunity to put the theory into practice with “hands-on” practical assignments.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	By the end of the course, students should be able to: • Explain what polynomial optimization problems (POPs) are • Give examples of applications where POPs arise • Formulate semidefinite programming relaxations of POPs • Apply moment-SOS hierarchies to a range of problems • Solve POPs in practice using existing software
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Previous experience with optimization (especially convex and/or conic optimization) and with differential equations is desirable.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (30 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	Lecture notes will be provided as the course progresses. A reading list will also be provided at the start of the course.

1	**Modulbezeichnung** 65095	**Practical course on finite element methods for phase-separation equations** Practical course on finite element methods for phase separation equations	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	• Finite element discretization for Cahn-Hilliard equations, • Storage concepts for sparse matrices, • Adaptive mesh refinement.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • implement a finite element solver for phase-separation equations, • are able to compare and implement different storage concepts for sparse matrices, • are able to implement finite element solvers based on adaptive meshes, • are able to derive and implement efficient discretizations for phase-separation equations, • are able to validate their implementation.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Numerics of Partial Differential Equations I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (ca. 30 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• P. Knabner & L. Angermann: Numerical Methods for Elliptic and Parabolic Differential Equations, Springer 2003 • D. Braess: Finite Elements. Cambridge University Press 2010 • B. Stroustrup: The C++ programming language, Addison-Wesley 2014

1	**Modulbezeichnung** 562819	**Projektseminar Optimierung (Master)** Optimisation project with computer exercises (Master)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	Anhand einer konkreten Anwendung sollen die im Studium bis dahin erworbenen Kenntnisse zu mathematischen Optimierungsmodellen und -methoden umgesetzt werden. Der Inhalt ergibt sich aus einer aktuellen Problemstellung häufig in enger Zusammenarbeit mit einem Industriepartner. Als Beispiele seien genannt die Wasserversorgung einer Stadt, die Gestaltung einer energieeffizienten Fassade eines Bürogebäudes oder das Baustellenmanagement im Schienenverkehr. Das Seminar wird als Projekt durchgeführt. Das heißt, Studierende werden in Teams von bis zu 4 Personen, die in der ersten Woche ausgehändigte Aufgabenstellung im Laufe des Semesters bearbeiten. Am Ende des Semesters werden die Teams ihre Lösungsvorschläge vorstellen und vergleichen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • führen selbständig in Teams ein größeres Projekt durch, in dem sie eine reale Fragestellung modellieren, Lösungsverfahren entwickeln und implementieren und ihre Ergebnisse auf die Praxis anwenden; • präsentieren die Ergebnisse der Projektarbeit und diskutieren diese; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Lineare Algebra • Lineare und Kombinatorische Optimierung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Vortrag 45 Minuten und schriftliche Ausarbeitung 5-10 Seiten
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h

14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben

1	**Modulbezeichnung** 65721	**Reading Course: Partielle Differentialgleichungen** Reading course: Partial differential equations	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	ausgewählte Kapitel im Bereich der partiellen Differentialgleichungen: z.B. • Existenz- und Regularitätstheorie für parabolische PDGLen • Eigenwerte von elliptischen Differentialoperatoren • Nichtlineare PDGLen • Variationsrechnung
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; • tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums, Partielle Differentialgleichungen I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Variabel Vortrag (60 Min) + schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Variabel (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• D.D. Haroske, H. Triebel: Disributions, Sobolev spaces, Elliptic equations (2007). • L.C. Evans: Partial Differential Equations (1998).

		• D. Gilbarg, N.S. Trudinger: Elliptic Partial Differential Equations, Springer (1983). • B. Schweizer, Partielle Differentialgleichungen, Springer (2013). • Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 65957	**Reelle Analysis** Reelle analysis	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Jens Habermann
5	**Inhalt**	• BMO-Räume • Satz von John-Nirenberg • Riesz-Potentiale • Höhere Integrierbarkeit • Gehring-Lemma
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und verwenden mathematische Sichtweisen und Techniken der reellen Analysis, die u.a. in den Bereichen Partielle Differentialgleichungen und Variationsrechnung erforderlich sind.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Grundvorlesungen Analysis I-III
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 15 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Adams & Hedberg: Function spaces and potential theory • Stein: Singular Integrals and Differentiability Properties of Functions • Gafrakos: Classical Fourier Analysis

1	**Modulbezeichnung** 65918	**Robust optimization II**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	• In practice, provided data for mathematical optimization problems is often not fully known. Robust optimization aims at finding the best solution which is feasible for input data varying within certain tolerances. The lecture covers advanced methods of robust optimization in theory and modeling. In particular, robust network flows, robust integer optimization and robust approximation are included. Further, state-of-the-art concepts, e.g., "light robustness" or "adjustable robustness" will be discussed by means of real-world applications.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • will be able to identify complex optimization problems under uncertainties as well as suitably model and analyze the corresponding robust optimization problem with the help of advanced techniques of robust optimization, • learn the handling of appropriate solving techniques and how to analyze the corresponding results.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Recommended: Robust Optimization I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Lecture notes, will be published on StudOn at the beginning of the semester.

1	**Modulbezeichnung** 65789	**Selected Topics in Mathematics of Learning** Selected topics in mathematics of learning	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Selected Topics in Mathematics of Learning (2 SWS) Übung: Übung Selected Topics in Mathematics of Learning (2 SWS)	3 ECTS 2 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Michael Schuster	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Frauke Liers-Bergmann
5	**Inhalt**	Advanced methods of mathematical data science, with a focus on teaching mathematical principles of learning processes.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students gain fundamental theoretical knowledge of learning algorithms in Data Science and will be able to apply the methodologies in a Data Science context.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Basic knowledge in numerical methods and optimization are recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Klausur (60 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Klausur (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Wintersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	S. Wright, B. Recht: Optimization for Data Analysis (2022).

1	**Modulbezeichnung** 65097	**Seminar Approximationstheorie** Seminar Approximation Theory	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	Ausgewählte Kapitel im Bereich der klassischen und modernen Approximationstheorie: z.B. • Satz von Stone-Weierstrass, Satz von Korovkin, Müntz-Sätze, Haarscher Eindeutigkeitssatz, Sätze vom Jackson-Bernstein-Typ • Approximation mit Splines und Wavelets, Entropie, Approximations- und Kolmogorovzahlen
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten selbständig mit Literatur auf einem Spezialgebiet; • verwenden Präsentations- und Kommunikationstechniken, präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese; • tauschen sich untereinander und mit dem Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Analysis-Module des Bachelorstudiums
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• B. Carl und I. Stephani: Entropy, compactness, and the approximation of operators, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1990).

		• R.A. DeVore und G.G. Lorentz: Constructive Approximation, Springer, Berlin, 1993. • G.G. Lorentz: Approximation of functions, 2. Auflage, Chelsea, New York (1986). • M.W. Müller: Approximationstheorie, Studientexte Mathematik, Akad. Verlagsgesellsch. Wiesbaden (1978) • A. Schönhage: Approximationstheorie, De Gruyter, Berlin (1971). • Originalliteratur.

1	**Modulbezeichnung** 364959	**Steuerung partieller Differentialgleichungen** Control of partial differential equations	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Martin Gugat
5	**Inhalt**	1) Existenz und Eindeutigkeit der Lösung von Anfangsrandwertproblemen (ARWP) 2) Konzepte der exakten Steuerbarkeit 3) Optimale Steuerung für hyperbolische Systeme 4) Sensitivitätsanalyse 5) Exponentielle Stabilität, Lyapunovfunktionen 6) Verzögerungen 7) Randstabilisierung 8) Unsicherheit
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • nennen und erklären exemplarische Grundbegriffe zu Problemen der optimalen Steuerung und der Stabilisierung von ARWP mit der Wellengleichung; • stellen Probleme der optimalen Steuerung auf und analysieren sie; • entwickeln stabilisierende Rückkopplungssteuerungen und beweisen die exponentielle Stabilität Diese Fähigkeiten sind für technische und naturwissenschaftliche Anwendungen von besonderer Bedeutung.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Kenntnisse in Analysis, linearer Algebra und Grundlagen der Funktionalanalysis
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester

15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	• F. Tröltzsch, Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg Verlag 2003 • J.-M. Coron, Control and Nonlinearity, AMS 2007. • G. Bastin and J.-M. Coron, Stability and Boundary Stabilization of 1-d hyperbolic Systems • M. Gugat, Optimal Boundary Control and Boundary Stabilization of Hyperbolic Systems, Springer 2015

1	**Modulbezeichnung** 65909	**Subspace correction methods**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Carsten Gräser
5	**Inhalt**	1) Subspace correction as an abstract framework to construct and analyse efficient iterative methods 2) Analysis of additive and multiplicative subspace correction 3) Multigrid and domain decomposition as subspace correction methods 4) Nonlinear subspace correction methods
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are • familiar with the abstract subspace correction framework • can select problem adapted methods • can analyse specific methods within the framework
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Introduction to numerical methods for PDEs Recommended: Basic knowledge of functional analysis (but the necessary terminology and results are briefly provided during the lecture)
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3;1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 Minuten) oral exam (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) 100% based on oral exam
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• H. Yserentant: Old and New Convergence Proofs for Multigrid Methods, Acta Numer. 1993 • J.-C. Xu: Iterative Methods by Space Decomposition and Subspace Correction, SIAM Rev., 1992 • Further literature and publications are announced during the lecture

1	**Modulbezeichnung** 65959	**Theorie der Optimalsteuerungen** Optimal control theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Hannes Meinlschmidt
5	**Inhalt**	Grundlagen zu folgenden Themen: • Diskrete und kontinuierliche Dynamische Systeme in allgemeinen Räumen • Eingabe- und Ausgabeoperatoren, Beobachter und Aktuatoren • Lösungstheorie und qualitative Theorie • Steuerbarkeit und Stabilisierbarkeit • Restriktionen für Steuerungen und Zuständen • Open-Loop- und Closed-Loop-Steuerungen • Pontriagin'sches Maximum-Prinzip • Dynamische Programmierung • Numerische Realisierung optimaler Steuerungen Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb der Übungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erklären und verwenden eine vertiefte Theorie und vertiefte numerische Methoden im Umgang mit der Steuerung, Stabilisierung und Optimalsteuerung im Kontext der gewöhnlichen Differentialgleichungen. Diese Fähigkeiten sind sowohl in naturwissenschaftlichen, medizinischen, wirtschaftswissenschaftlichen als auch und insbesondere in Ingenieuranwendungen von Bedeutung.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Grundkenntnisse der Numerik, der gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen, der Optimierung
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2;1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich mündliche Prüfung (20 Min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• E. Sontag, Mathematical Control Theory, Springer-Verlag 2000 • F. Tröltzsch, Steuerungstheorie Partieller Differenialgleichungen, Vieweg Verlag, 2003

1	**Modulbezeichnung** 65902	**Transport and reaction in porous media: Modelling**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Transport and Reaction in Porous Media: Modeling (2 SWS) (SoSe 2027) Übung: Tutorial to Transport and Reaction in Porous Media: Modeling (2 SWS) (SoSe 2027)	4 ECTS 1 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Serge Kräutle
5	**Inhalt**	• Modeling of fluid flow through a porous medium: Groundwater models, saturated and unsaturated porous medium (Richards equation) • Advection, diffusion, dispersion of dissolved substances, (nonlinear) reaction-models (i.a. law of mass action, kinetic / reversible reactions in local equilibrium), the stoichiometric matrix • Models of partial (PDEs), ordinary (ODEs) differential equations, and local algebraic conditions • Nonnegativity, boundedness, global existence of solutions, necessary model assumptions in the case of a pure ODE model as well as for a PDE model • Existence and uniqueness of stationary solutions in the stoichiometric space (i.a. introduction to the Feinberg network theory)
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • are able to model flow and reaction processes in porous media on macro- and micro-scale using partial differential equations, • possess the techniques and the analytical foundations to assess the global existence of solutions.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Basic knowledge in differential equations
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	• S. Kräutle: lecture notes • C. Eck, H. Garcke, P. Knabner: Mathematical Modeling, Springer • J.D. Logan: Transport Modeling in Hydrogeochemical Systems, Springer • M. Feinberg: lecture noteshttps://cbe.osu.edu/chemical-reaction-network-theory

1	**Modulbezeichnung** 65903	**Transport and reaction in porous media: Simulation**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Transport and reaction in porous media: Simulation (2 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Serge Kräutle	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Serge Kräutle
5	**Inhalt**	• Degenerate parabolic differential equations as multiphase flow models: formulation, model derivation through asymptotic expansion, nonlinear solution methods, discretization methods • Sorption reactions and mineral precipitation-dissolution reactions, formulations as complementarity problems • Models for transport and reactions in porous media, consisting of coupled PDEs and ODEs, if necessary coupled to algebraic equations (AEs) and inequalities for the description of local equilibria (differential-algebraic system) • Different formulations of the system • Different numerical strategies: operator splitting, direct substitutional approach, change of variables and combination/ elimination of equations (xi-eta-method), as a basis for different software packages for numerical simulations, connection to optimisation (minimization of Gibbs free energy under constraints) • Treatment of numerical difficulties (nonsmooth equations, treatment of complementarity conditions, guarantee of nonnegativity of numerical solutions of the nonlinear problems, range of convergence of Newton's method, scaling problems, advection dominated problems
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • use methods for the numerical solving of a class of problems whose complexity goes significantly beyond standard problems (Poisson and heat equation): coupled nonlinear partial and ordinary differential equations (PDEs, ODEs) and algebraic equations (AEs), • put strategies for the treatment of possible difficulties during the numerical solving into practice.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Recommended: Basic knowledge in differential equations, • Also useful: Transport and Reaction in Porous Media: Modeling
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)

11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• P. Knabner & L. Angermann: Numerical Methods for Elliptic and Parabolic Partial Differential Equations, Springer • Journal articles will be named in the lecture • Handbooks of Software Packages https://en.www.math.fau.de/angewandte-mathematik-1/forschung/software-2

1	**Modulbezeichnung** 65971	**Unitäre Darstellungstheorie** Unitary representation theory	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Karl Hermann Neeb
5	**Inhalt**	• Diskrete und kontinuierliche Zerlegung von Darstellungen • >Darstellungen kompakter und abelscher Gruppen, Satz von Stone • Abgeleitete Darstellungen, Integrationsprobleme • Projektive Darstellungen, zentrale Erweiterungen • Spektralmasse und direkte Integrale • Reproduzierende Kerne und positiv definite Funktionen (GNS-Konstruktion) • Darstellungen semidirekter Produkte • Fockraeume und zweite Quantisierung Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • verwenden die zentrale Methoden der Darstellungstheorie auf Hilberträumen und bearbeiten mit deren Hilfe Zerlegungs- und Klassifikationsprobleme • >ordnen Methoden aus den Bereichen Algebra und Funktionalanalysis in einen übergreifenden Kontext ein und wenden sie dort an.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• empfohlen: Grundkenntnisse in Funktionalanalysis (Operatoren auf Hilberträumen) • Grundkenntnisse über Matrixgruppen oder Lie-Gruppen, wie sie in der gleichnamigen Vorlesung bereitgestellt werden, sind nützlich.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;2;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	jedes 4. Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Vorlesungsskript zu diesem Modul (auf StudOn) • G. Mackey, Unitary group representations, Addison Wesley • G. B. Folland, A course in abstract Harmonic Analysis, CRC Press

1	**Modulbezeichnung** 65960	**Vertiefte Nichtlineare Optimierung** Advanced nonlinear optimisation	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	Vertiefung von Optimalitätsbedingungen für restringierte Probleme, Vertiefung der Theorie und Algorithmen zu Barriere- und Penalty-Verfahren, erweiterte Penalty-Funktionen, Innere-Punkte-Methoden, Quadratische Optimierung, SQP-Verfahren, Einblick in spezielle Problemklassen und Optimierungsverfahren (z.B. Semidefinite Programmierung oder Conic Programming). Die Präsentation des Stoffes erfolgt in Vorlesungsform. Die weitere Aneignung der wesentlichen Begriffe und Techniken erfolgt durch Selbststudium begleitender Literatur, unterstützt durch Zusammenkünfte innerhalb der Übungen.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden erklären und erweitern die Grundlagen zur Theorie und zu numerischen Verfahren der Nichtlinearen Optimierung, erklären und verwenden grundlegende Konzepte von Lösungsmethoden und modellieren und lösen Anwendungsprobleme, etwa aus Technik oder Ökonomie, mathematisch korrekt.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: • Beherrschung grundlegender Theorie und Methodiken der Nichtlinearen Optimierung aus den Bachelor-Studiengängen Mathematik, Technomathematik, Wirtschaftsmathematik (z.B. Abschluss des Moduls Nichtlineare Optimierung) oder Abschluss des Master-Moduls Optimierung in normierten Räumen
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Dauer der mündlichen Prüfung: 20 Min.
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 225 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch

16	**Literaturhinweise**	• Geiger, Ch. Kanzow: Numerische Verfahren zur Lösung unrestringierter Optimierungsaufgaben. Springer, 1999 • Geiger, Ch. Kanzow: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben, Springer, 2002 • W. Alt: Nichtlineare Optimierung, Vieweg, 2002 • F. Jarre und J. Stoer: Optimierung. Springer, 2004 • M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty: Nonlinear Programming Theory and Algorithms, Wiley, New York, 1993

1	**Modulbezeichnung** 65950	**Seminar**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Seminar: Dispersive PDEs (2 SWS) Seminar: Seminar Zahlentheorie (2 SWS) Hauptseminar: Masterseminar Spektraltheorie (2 SWS) Seminar: Simulation partieller Differentialgleichungen (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Emil Wiedemann Prof. Dr. Lea Boßmann Prof. Dr. Wolfgang Ruppert Prof. Dr. Hermann Schulz-Baldes	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Timm Oertel
5	**Inhalt**	Die aktuell angebotenen Themen werden von den Dozenten rechtzeitig bekannt gegeben.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • erarbeiten sich vertiefende Fachkompetenzen in einem Teilgebiet der Mathematik; • analysieren Fragestellungen und Probleme aus dem gewählten Teilgebiet der Mathematik und lösen diese mit wissenschaftlichen Methoden; • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren die mathematischen Sachverhalte in mündlicher und schriftlicher Form; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	nach Vorgabe der Dozentin/des Dozenten
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 3;2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	in jedem Semester

13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch oder Englisch: Die Unterrichts- und Prüfungssprache wird von der/dem Dozierenden zu Vorlesungsbeginn festgelegt
16	**Literaturhinweise**	

1	**Modulbezeichnung** 65273	**Semigroups of linear operators**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Gandalf Lechner
5	**Inhalt**	• Unbounded, closed operators • generators and semigroups • resolvent of a semigroup • Hille-Yosida-Theorem; Lumer-Phillips-Theorem; evolution equations • perturbation and approximation
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students are familiar with unbounded operators. They understand the interlink between semigroups and operators. Furthermore, they can apply semigroup theory to the solution of evolution equations.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	• Strongly recommended: knowledge in functional analysis. • Recommended: some basics about PDEs and maybe some notion of stochastic processes.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1;3
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Algebra und Geometrie Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig irregularly
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 75 hrs Eigenstudium: 225 hrs
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• David Applebaum: Semigroups of linear operators (can be donwloaded through https://www.cambridge.org/core/books/semigroups-of-linear-operators/)

		• Ronald Schnaubelt: Lecture Notes on Evolution Equations (pdf will be made available for the participants) • Klaus-Jochen Engel; Rainer Nagel: A short course on operator semigroups, Universitext, Springer 2006<

1	**Modulbezeichnung** 65865	**Modeling and analysis in continuum mechanics II**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 2 (2 SWS) (SoSe 2027) Vorlesung: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics 2 (2 SWS) (SoSe 2027)	1 ECTS 4 ECTS
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Günther Grün
5	**Inhalt**	Some (at least two) of the following topics: • Monotone operators and applications in continuum mechanics, e.g. shear-thinning liquids, • Mathematical concepts of model reduction: homogenization, gamma convergence, asymptotic analysis, • Reaction diffusion models from biology and social sciences; • Models in fluid dynamics (compressible and incompressible Navier-Stokes equations); • Wave phenomena and other hyperbolic equations in continuum mechanics
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students can: • derive mathematical models for several important applications in continuum mechanics. • apply analytical techniques to rigorously prove qualitative properties of solutions.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Modeling and Analysis in Continuum Mechanics I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Analysis und Stochastik Master of Science Mathematik 20192 Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• A. Braides: Gamma-convergence for beginners, Oxford University Press,

		• D. Cioranescu & P. Donato: An introduction to homogenization, Oxford University Press, • L.C. Evans. (2010). Partial differential equations. AMS. • T.A. Roberts (1994). A one-dimensional introduction to continuum mechanics. World Scientific. • R.E. Showalter: Monotone operators in Banach space and nonlinear partial differential equations, AMS • T. Temam and A. Miranville (2005). Mathematical modeling in continuum mechanics. Cambridge University Press. • Handouts and lecture notes distributed via StudOn.

1	**Modulbezeichnung** 65702	**Lektüre von Arbeiten zur Risikoanalyse (LektRA)** Reading course on risk analysis (LektRA)	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Stummer
5	**Inhalt**	Neuere Arbeiten aus der Risikoanalyse (inklusive angrenzende Bereiche aus der Künstlichen Intelligenz und Machine Learning) nach jeweils besonderer Ankündigung.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Die Studierenden • arbeiten mit neuer wissenschaftlicher Literatur auf einem Spezialgebiet der Risikoanalyse (inklusive angrenzende Bereiche aus der Künstlichen Intelligenz und Machine Learning); • verwenden relevante Präsentations- und Kommunikationstechniken und präsentieren mathematische Sachverhalte und diskutieren diese kritisch; • tauschen sich untereinander und mit den Dozenten über Informationen, Ideen, Probleme und Lösungen auf wissenschaftlichem Niveau aus.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	empfohlen: Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitstheorie
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 2
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	Seminarleistung Vortrag (60 Min) und schriftliche Ausarbeitung (5-15 Seiten)
11	**Berechnung der Modulnote**	Seminarleistung (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 30 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben

1	**Modulbezeichnung** 65856	**Nichtlineare Optimierung 2** Non-linear optimization 2	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Nichtlineare Optimierung 2 Übung: Übung zu Nichtlineare Optimierung 2 Vorlesung Nichtlineare Optimierung 1 (7 ECTS) Übung zu Nichtlineare Optimierung 1 (3 ECTS)	7 ECTS 3 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Wolfgang Achtziger
5	**Inhalt**	Die Studierenden erklären und erweitern die mathematischen Grundlagen zur Theorie und zu numerischen Verfahren der Nichtlinearen Optimierung, erklären und verwenden grundlegende Konzepte von Lösungsmethoden und modellieren und lösen Anwendungsprobleme, etwa aus Technik oder Ökonomie, in mathematisch exakter Weise.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Vertiefung von Optimalitätsbedingungen für restringierte Probleme, Vertiefung von Theorie und Algorithmen zur Lösung von restringierten Problemen, Einblick in spezielle Problemklassen (z.B. Semidefinite Programmierung oder Conic Programming).
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Erfolgreicher Abschluss des Moduls „Nichtlineare Optimierung 1“ oder eines dazu äquvalenten Moduls
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	Semester: 1
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Mathematik M.Sc. Wirtschaftsmathematik M.Sc.
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (20 Minuten) mündliche Prüfung (20 min), Übungsleistung (wöchentliche Hausaufgaben, ca. 4 Aufgaben pro Woche)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) mündliche Prüfung (100 %)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Deutsch
16	**Literaturhinweise**	• Geiger, Ch. Kanzow: Numerische Verfahren zur Lösung unrestringierter Optimierungsaufgaben; Springer, 2013 • Geiger, Ch. Kanzow: Theorie und Numerik restringierter Optimierungsaufgaben; Springer, 2002 • W. Alt: Nichtlineare Optimierung; Vieweg+Teubner, 2011

		• F. Jarre und J. Stoer: Optimierung; Springer, 2004 • M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty: Nonlinear Programming Theory and Algorithms; Wiley, New York, 2006 • J. Nocedal, S. Wright: Numerical Optimization, Springer, New Zork, 2006

1	**Modulbezeichnung** 65853	**Numerics of incompressible flows I**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Numerics of incompressible flows 1 (4 SWS) (SoSe 2026) Übung: Übungen zu Numerics of incompressible flows 1 (2 SWS) (SoSe 2026)	10 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Eberhard Bänsch	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Eberhard Bänsch
5	**Inhalt**	• Mathematical modelling of (incompressible) flows • Variational formulation, existence and (non-)uniqueness of solutions to the stationary Navier-Stokes (NVS) equations • Stable finite element (FE) discretization of the stationary (Navier) Stokes equations • Error estimates • Solution techniques for the saddle point problem
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • explain and apply the mathematical theory for the stationary, incompressible Navier-Stokes equations, • analyse FE discretization for the stationary Stokes equations and apply them to practical problems, • explain the meaning of the inf-sup condition, • choose the appropriate function spaces, stabilisation techniques and solution techniques and apply them to concrete problem settings.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Advanced discretization techniques
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich (15 min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%)
12	**Turnus des Angebots**	nur im Sommersemester
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• V. Girault, P.-A. Raviart: Finite element methods for the Navier-Stokes equations. Theory and algorithms. Springer 1986

		• H. Elman, D. Silvester, A. Wathen: Finite elements and fast iterative solvers: with applications in incompressible fluid dynamics. Oxford University Press 2014 • R. Temam: Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis. North Holland

1	**Modulbezeichnung** 65854	**Numerics of incompressible flows II**	**10 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!	
3	Lehrende	Zu diesem Modul sind in diesem Semester keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!	

4	**Modulverantwortliche/r**	Prof. Dr. Eberhard Bänsch
5	**Inhalt**	• Variational formulation of the instationary Stokes and Navier-Stokes (NVS) equations • Existence and uniqueness of solutions to the instationary Stokes and NVS equations • Time discretisation methods • Fully discrete equations and error estimates • Solution techniques • Operator splitting, projection methods • More general boundary conditions • Coupling of NVS with temperature equation • Computational experiments with academic or commercial codes
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students • discretize the instationary NVS equations in time and space, • explain and analyse discretisation schemes and operator splitting techniques, • choose appropriate algorithms for given flow problems and solve them with academic or commercial software.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Recommended: Advanced discretization techniques, Numerics of incompressible flows I
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) (15 min)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig The module is held in winter term only.
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 210 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch

16	**Literaturhinweise**	• V. Girault & P.-A. Raviart: Finite element methods for the Navier-Stokes equations. Theory and algorithms. Springer 1986 • H. Elman, D. Silvester & A. Rathen: Finite elements and fast iterative solvers: with applications in incompressible fluid dynamics. Oxford University Press 2014 • R. Glowinski: Finite Element Methods for Incompressible Viscous Flow, in : Handbook of Numerical Analysis vol. IX • R. Temam: Navier-Stokes equations. Theory and numerical analysis. North Holland

1	**Modulbezeichnung** 65838	**Neural Network Theory**	**5 ECTS**
2	Lehrveranstaltungen	Aktuell werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.	
3	Lehrende		

4	**Modulverantwortliche/r**	PD Dr. Cornelia Schneider
5	**Inhalt**	In this lecture, we will study deep neural networks. We will focus on a functional analytical and well-founded framework which allows to make rigorousstatements which do provide explanations and intuition as to why certain neural network architectures are preferable over others. For example, we will see explanations of why deep neural networks are, in some sense, superior to shallow neural networks or why the neural network architecture can e#ciently reproduce high dimensional functions when most classical approximation schemes cannot. The lecture covers the basics of the following topics: • Classical approxmation results by neural networks • ReLU networks • The role of depth • High dimensional approximation • Complexity of sets of networks • Spaces of realisations of neural networks The presentation of the material is in lecture form. The essential terms and techniques are acquired through exercises and homework.
6	**Lernziele und Kompetenzen**	Students gain a mathematical understanding of the structure and principles of neural networks.
7	**Voraussetzungen für die Teilnahme**	Linear Algebra I and Analysis I+II or Mathematics for Data Science I +II or comparable; Functional Analysis or Higher Analysis are strongly recommended.
8	**Einpassung in Studienverlaufsplan**	keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!
9	**Verwendbarkeit des Moduls**	Studienrichtung Modellierung, Simulation und Optimierung Master of Science Mathematik 20192 Specialization: Analysis and Stochastics or Modeling, Simulation, and Optimization (M.Sc. Mathematics) Specialization: NaSi (CAM) Mathematics elective module (M.Sc. WiMa)

		Mathematical foundations of Data Science (M.Sc./B.Sc. Data Science) Theoretical/Applied Mathematics (B.Sc. Mathematics
10	**Studien- und Prüfungsleistungen**	mündlich Oral exam (20min) or written exam (60min)
11	**Berechnung der Modulnote**	mündlich (100%) Oral or written exam (100 %)
12	**Turnus des Angebots**	Unregelmäßig
13	**Arbeitsaufwand in Zeitstunden**	Präsenzzeit: 60 h Eigenstudium: 120 h
14	**Dauer des Moduls**	1 Semester
15	**Unterrichts- und Prüfungssprache**	Englisch
16	**Literaturhinweise**	• Lecture notes for this module. • P. Petersen, J. Zech: Mathematical theory of deep learning, 2024. • I. Goodfellow, Y. Benigo, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016. http://www.deeplearningbook.org. • M. Anthony and P. L. Bartlett: Neural network learning: theoretical foundations. Cambridge University Press, Cambridge, 1999. • J. Berner, P. Grohs, G. Kutyniok, and P. Petersen: The modern mathematics of deep learning. arXiv:2105.04026, 2021. • M. Telgarsky: Deep learning theory (lecture notes). https://mjt.cs.illinois.edu/dlt/