BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Modulhandbuch

zu der Prüfungsordnung

Studiengang Computer Simulation in Science mit dem Abschluss Master of Science

Ausgabedatum: 14.12.2020

Stand: 14.12.2020

Inhaltsverzeichnis

MT	Abschlussarbeit („Master-Thesis“)	PF/WP	Gewicht der Note	Workload
		PF	30	30 LP

Qualifikationsziele:

Die in englischer Sprache zu verfassende Abschlussarbeit soll zeigen, dass die Kandidatin oder der Kandidat sein Fachgebiet beherrscht und in der Lage ist, innerhalb einer vorgegebenen Frist eine einschlägige Aufgabenstellung selbstständig zu bearbeiten. Das Thema der Masterarbeit wird mit Bezug zum Wahlfach gewählt.
English Translation:
The master thesis written in English has to prove that the candidate masters his field of study and that he/she is able to accomplish independently a task relevant to this field within a given time frame. The topic of the master thesis is chosen with reference to the specialization.

Moduldauer: 1 Semester	Angebotshäufigkeit: in jedem Semester	Empfohlenes FS: 4

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

Voraussetzung für die Ausgabe des Themas der Abschlussarbeit ist der Nachweis von 70 LP sowie der Abschluss aller beschränkt wiederholbarer Modulprüfungen.
English Translation:
70 credit points as well as the conclusion of all module examinations which can only be repeated a restricted number of times are required for getting the topic of the master thesis.

Modulabschlussprüfung ID: 61066	Abschlussarbeit (Thesis)		1	30

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: master thesis, can be repeated once.

CSim1	Computer Simulation 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 11	Workload 11 LP

Qualifikationsziele:

Mastering the fundamental mathematical concepts underlying the master program.
Acquisition of basic knowledge of numerical algorithms and their applications in natural sciences and mathematics.
Ability to write computer programs to implement the algorithms.
The students are able to use this knowledge independently and apply it to solve projects in a laboratory course.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 1

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**
Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung: Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 46961, die UBL 46913 und die UBL 62507 erbracht wurden. English Translation: The registration to the final module exam is possible only when UBL 46961, UBL 46913 and UBL 62507 are successfully completed.				
Zusammensetzung des Modulabschlusses: Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.				
Modulabschlussprüfung ID: 47033	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	180 Minuten	2	5
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: written module examination (180 minutes), can be repeated twice.				
Modulabschlussprüfung ID: 46893	**Elektronische Prüfung**	180 Minuten	2	5
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: Electronic module examination (180 minutes), can be repeated twice.				
Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en): Die UBL 46961 ist in Komponente a, die UBL 46913 ist in Komponente b und die UBL 62507 ist in Komponente c zu erbringen. English Translation: The UBL 46961 has to be fulfilled in component a, the UBL 46913 in component b and the UBL 62507 in component c.				
Unbenotete Studienleistung ID: 46961	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2
Erläuterung: Unbenotete Übungen zu "Introduction to Computer Simulation", mindestens 50 Prozent der Übungspunkte sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English Translation: Ungraded exercises for "Introduction to Computer Simulation", at least 50 per cent of the exercise points are required for the registration forthe final module exam.				
Unbenotete Studienleistung ID: 46913	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2
Erläuterung: Schriftliche Leistungsabfrage (ca. 60 Min.)				
Unbenotete Studienleistung ID: 62507	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2
Erläuterung: Unbenotete Übung zu "Lab Course I", Upload von mindestens 10 Lösungen der Übungen ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung. English translation: Ungraded exercises for "Lab Course I", upload of at least 10 solutions of the exercises is required for the registration for the final module exam.				

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CSim1-a	**Introduction to Computer Simulation**	PF	Vorlesung/ Übung	3	120 h

Inhalte:

- MATLAB
- Numerical precision and simple algorithms (e.g. finding zeros of a function)
- Algorithms of linear algebra: linear systems of equations, eigenvalues
- Initial value problems (Runge-Kutta-integration); application to Kepler-problems
- Fourier transformation
- Molecular dynamics
- Numerical integration
- Fitting of data

CSim1-b	**Block Course on Mathematical Foundations**	PF	Vorlesung/ Übung	1	60 h

Bemerkungen:

Die Teilnahme an den Übungen ist freiwillig, aber dringend empfohlen.
English Translation: The attendance at the exercises is optional but urgently recommended.

Inhalte:

- Differential and integral calculus (in several dimensions)
- Matrix calculus

CSim1-c	**Lab Course I**	PF	Übung	4	150 h

Inhalte:

Programming assignments to solve problems chosen from the topics:

- Random number generators
- Monte Carlo integration
- Boundary value problems: iterative solution of the Laplace-equation; applications in electrostatics
- Diffusion
- Chaos
- Percolation
- Monte Carlo simulation of spin systems (2d Ising model, 2d XY model, ...)
- Neural networks
- Navier-Stokes equations
- Finite elements method

CSim2	Computer Simulation 2	PF/WP PF	Gewicht der Note 13	Workload 13 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of the mathematical concepts and practical methods of data analysis strongly based on practical examples. The students shall be enabled to autonomously solve basic problems in data analysis.
The students learn mastering of the requirements for algorithms specific to high performance computing. They are able to develop complex parallel algorithms, to analyze them and judge their efficiency.

Allgemeine Bemerkungen:

Knowledge of numerical mathematics and basic algorithms from Bachelor is assumed.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 46939	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	13

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

Komponente a): Data Analysis - Nachgewiesene LP: 5
- Bearbeitungen der wöchentlichen ausgegebenen Übungsaufgaben
- Fachgespräch von 30 Minuten Dauer

Komponente b): Parallel Algorithms- Nachgewiesene LP: 8
- Bearbeitungen der wöchentlichen ausgegebenen Übungsaufgaben
- Fachgespräch von 30 Minuten Dauer

English Translation:
Component a): Data Analysis - Credit Points LP: 5
- Solution of weekly exercises
- Oral discussion: lenght of 30 minutes

Component b): Parallel Algorithms - Credit Points LP: 8
- Solution of weekly exercises
- Oral discussion: length 30 minutes

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CSim2-a	**Data Analysis**	PF	Vorlesung	4	150 h
Inhalte: Probability, important distributions and their properties, expectation values, RMS, correlation, error propagation, tests, parameter estimation, max. likelihood, least squares,fits, optimisation, confidence intervals, detector unfolding, special methods (Bootstrap, Jacknife), parameterisation, profile likelihood method, marginalisation of systematic uncertainties, multivariate techniques.					
CSim2-b	**Parallel Algorithms**	PF	Vorlesung/ Übung	6	240 h
Inhalte: Parallel architectures and parallel programming models, speedup, efficiency, scalability, linear systems of equations, communication avoiding, sparse matrices and graphs, partitioning methods, iterative methods, colouring schemes, preconditioning using different methods (e.g., incomplete factorizations, domain decomposition and Schwarz iterative methods)					

CSim3	Computer Simulation 3	PF/WP PF	Gewicht der Note 12	Workload 12 LP

Qualifikationsziele:

Mastering the fundamental mathematical concepts underlying the master program.
Acquisition of basic knowledge of numerical algorithms and their applications in natural sciences and mathematics.
Ability to write computer programs to implement the algorithms.
The students are able to use this knowledge independently and apply it to solve projects in a laboratory course.

Allgemeine Bemerkungen:

Knowledge of numerical mathematics and basic algorithms from bachelor are assumed.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

CSim1, Modern Programming (CS1)
Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 47002 erbracht wurde.
English Translation:
The registration to the final module exam is possible only when UBL 47002 is successfully completed.

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 46979	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	180 Minuten	2	10

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: written module examination (180 minutes), can be repeated twice

Modulabschlussprüfung ID: 47028	**Elektronische Prüfung**	180 Minuten	2	10

Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en):

Die UBL 47002 ist in Komponente b zu erbringen.
English Translation:
The UBL 47002 has to be fulfilled in component b.

Unbenotete Studienleistung ID: 47002	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2

Erläuterung:

Unbenotete Übungen zu Lab Course II (2 LP), mindestens 50% der Übungspunkte und 50% des Projektes sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises for Lab Course II (2 cr), at least 50% of the exercise points and 50% of the project are required for the registration for the final module exam.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CSim3-a	**Introduction to Computer Simulation II**	PF	Vorlesung	2	120 h

Inhalte:

Physical and mathematical problems will be discussed together with the parallel algorithms used to solve them:
- Linear algebra (matrix product, Lanczos and CG algorithm and others)
- Differential equations
- Many-body problems
- Monte Carlo simulation of statistical systems

CSim3-b	**Lab Course II**	PF	Vorlesung/ Übung	4	240 h

Inhalte:

- MPI: Introduction
- An application: numerical integration
- Collective communication
- Fox's algorithm for parallel matrix multiplication
- Strong/weak scaling, Amdahl's law
- OpenMP
- Hybrid programming with MPI & OpenMP
- Monte Carlo simulations of a scalar field
- GPU Parallel Programming with CUDA
- Project work: for example, Parallelizing the Poisson equation or Monte Carlo Simulation of a statistical system on a lattice (4d Ising model, q-state Potts models, 3d two-component scalar field theory)

Other project topics can be many-body simulations (Lennard-Jones potential with systolic algorithm), time dependent Schrödinger equation, electromagnetic radiation, computational fluid flow, ...

CS1	Computer Science 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 9	Workload 9 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of knowledge to design and implement larger software projects using object-oriented methods. Students shall be enabled to either apply virtualization technologies in the context of GRID and cloud computing (for the choice Virtualization I) or to master the basic concepts of High Performance Computing (HPC) which are needed for using modern (super-)computers.

Allgemeine Bemerkungen:

Knowledge of one programming language is assumed.

Die Modulabschlussprüfung wird in Zusammenhang mit den Modulkomponenten a + b oder a + c abgenommen.
English translation:
The module final examination is taken in connection with the module components a + b or a + c.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 1

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The type of the final module exam will be announced at the beginning of the semester.

Modulabschlussprüfung ID: 46901	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	9
Modulabschlussprüfung ID: 46909	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	9

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CS1-a	**Modern Programming**	PF	Vorlesung/ Übung	4	180 h
Inhalte: Overview of software engineering, C++, debugging, Makefiles, design patterns, GUIs					
CS1-b	**Virtualization I**	WP	Vorlesung/ Übung	3	90 h
Inhalte: Introduction to virtualization and its application in Science. Topics covered are general virtualization technologies like hypervisors, paravirtualization and Operating-system-level virtualization, containers as well as their usage in the context of scientific Grid and Cloud Computing. Hands-on training on a selected topic.					
CS1-c	**Introduction to High Performance Computing (HPC)**	WP	Vorlesung	2	90 h
Inhalte: • History of HPC • Overview • Processor • Memory • Networks • Parallel computing • Performance • Numerical methods • Future computing • Repetition					

CS2	Computer Science 2	PF/WP PF	Gewicht der Note 7	Workload 7 LP

Qualifikationsziele:

Ability to use different tools for software engineering.
Acquisition of the basics of image processing in general and image analysis of tomographic images in particular or ability to set up orchestration environments and apply them.

Allgemeine Bemerkungen:

Knowledge of one programming language is assumed.

Die Modulabschlussprüfung wird im Zusammenhang mit den Modulkomponenten a + b oder a + c abgenommen.
English translation:
The module final examination is taken in connection with the module components a + b or a + c.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.

Modulabschlussprüfung ID: 46941	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	7

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CS2-a	**Tools**	PF	Vorlesung/ Übung	2	90 h
Inhalte: Version control systems, computer algebra packages, script languages, unit testing, Fortran, combining different programming languages, profiling, numerical libraries, important data structures (trees, hash tables)					
IMG2-a	**Image Processing and Data Visualization**	WP	Vorlesung/ Übung	3	120 h
Inhalte: • Introduction to the importance of modern image processing and data visualization techniques to brain imaging • Data types and structures (scalar, vector, volume data) • Transformation and filtering techniques to carve out specific image features • Image processing pipelines in a supercomputing environment • Impact of AI on image processing • Methods for brain data visualization					
CS2-c	**Virtualization II**	WP	Vorlesung/ Übung	3	120 h
Bemerkungen: Alternative to be mandatory for students with specialization Imaging.					
Inhalte: Additional training on virtualization techniques including orchestration of containerized environments. Protocols in virtualized environments and their usage. Hands-On training with project.					

NM1	Numerical Methods 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of knowledge of complex algorithms for the numerical simulation of ordinary differential equations. Ability to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.

Allgemeine Bemerkungen:

Numerical Analysis at bachelor level.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 1

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**
Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung: Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 47034 erbracht wurde. English translation: The registration to the final module exam is only possible when UBL 47034 is successfully completed.				
Zusammensetzung des Modulabschlusses: Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.				
Modulabschlussprüfung ID: 47012	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	6
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation I, (120 min), unrestrictedly repeatable				
Modulabschlussprüfung ID: 46891	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation I (30 minutes), unrestrictedly repeatable.				
Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en): Die UBL 47034 ist in Komponente a zu erbringen. English translation: UBL 47034 has to be fulfilled in component a.				
Unbenotete Studienleistung ID: 47034	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2
Erläuterung: Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation I, required for the registration for the exam.				

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
NM1-a	**Numerical Analysis and Simulation I**	PF	Vorlesung/ Übung	6	240 h

Inhalte:

- Ordinary Differential Equations (ODE) models in Science
- Short synopsis on the theory of ODEs
- One-Step methods and extrapolation methods
- Multi-step methods
- Numerical methods for stiff systems
- Application-oriented models and schemes
- Boundary Value Problems
- Methods for Differential Algebraic Equations
- Geometric integrators

NM2a	Numerical Methods 2a	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of knowledge of complex algorithms for the numerical simulation of partial differential equations. Ability to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.

Allgemeine Bemerkungen:

Numerical Analysis at bachelor level.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**
Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung: Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 46911 erbracht wurde. English translation: The registration to the final module exam is only possible when UBL 46911 is successfully completed.				
Zusammensetzung des Modulabschlusses: Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.				
Modulabschlussprüfung ID: 47024	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	6
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation II (120 minutes), unrestrictedly repeatable.				
Modulabschlussprüfung ID: 46948	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation II (30 minutes), unrestrictedly repeatable.				
Unbenotete Studienleistung ID: 46911	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2
Erläuterung: Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: Ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation II, required for the registration for the exam.				

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
NM2a-a	**Numerical Analysis and Simulation II**	PF	Vorlesung/ Übung	6	240 h

Inhalte:

- Classification and well-posedness of PDEs; basic principles: derivation and discretization of PDEs; elliptic problems (maximum principle and finite differences, variational formulation and Sobolev spaces, finite elements); numerical solutions of discretized problems
- hyperbolic systems, especially conservation laws (weak formulation, theory of characteristics, entropy, conservative schemes)
- parabolic problems (evolution equations, method of lines, Rothe-method and convergence)
- mixed systems (models of heterogeneous systems, splitting schemes)
- case studies

NM2b	Numerical Methods 2b	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of knowledge of different numerical techniques to solve problems in classical field theory and quantum mechanics. The focus will be on the implementation on parallel computers. Students shall be enabled to implement the algorithms. Ability to prepare a documentation.

Allgemeine Bemerkungen:

Quantum Mechanics at bachelor level. Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 47038 erbracht wurde.
English translation:
The registration to the final module exam is only possible when UBL 47038 is successfully completed.

Modulabschlussprüfung ID: 46999	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	3

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en):

Die UBL 47038 ist in Komponente a zu erbringen.
English translation:
The UBL 47038 has to be fulfilled in component a.

Unbenotete Studienleistung ID: 47038	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	5

Erläuterung:

Unbenotete Übungsaufgaben und schriftliche Ausarbeitung zu Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics (5 LP) sind Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation:
Ungraded small homework and term paper for Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics (5 cr), required for the registration for the final module exam.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
NM2b-a	**Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics**	PF	Vorlesung/ Übung	4	240 h

Inhalte:

- Hydrodynamics: direct simulation of Navier-Stokes for incompressible fluids, lattice-gas models
- Electrodynamics: time-dependent propagation of electromagnetic fields, Yee-Weilandt discretization
- Eigenvalue methods for electromagnetic cavities
- Non-equilibrium thermodynamics of many-body problems
- Quantum mechanics: time-dependent Schrödinger equation, quantum-spin dynamics for quantum computing, Feynman-Kac path integral

NM3	Numerical Methods 3	PF/WP PF	Gewicht der Note 6	Workload 6 LP

Qualifikationsziele:

Mastering of basic concepts of Numerical Mathematics. Ability to analyze and develop basic schemes in Numerical Analysis of Linear and Nonlinear systems.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
English Translation:
The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 35013	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	6

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung ID: 34994	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
NM3-a	**Numerical Linear Algebra**	PF	Vorlesung/ Übung	3	180 h

Inhalte:

Direct and iterative methods for solving linear systems and eigenvalue and singular value problems. The methods are analyzed w.r.t. stability, convergence, and complexity. Their application in different contexts is discussed.

AtmP1	Atmospheric Physics 1	PF/WP	Gewicht der Note	Workload
		PF	8	8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of expertise and skills on specific topics of atmospheric physics, atmospheric chemistry, measurement techniques as well as numerical modelling.
The Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere is a one week course held at the Research Centre Jülich. Students shall be enabled to get to know the relation of atmospheric research to adjacent disciplines to get a broader insight in interdisciplinary scientific questions. They will become acquainted with state-of-the-art measurement techniques and their applications. Furthermore, this course offers the opportunity to intensively discuss with the leading scientists in the field, who are available throughout the course. After the course the students are able to summarize the basic concepts of atmospheric chemistry and physics and thorougly report their experience.

Allgemeine Bemerkungen:

Die Modulabschlussprüfung wird in Zusammenhang mit den Modulkomponenten a + b oder a + c abgenommen.
English Translation:
The module final examination is taken in connection with the module components a + b or a + c.

Moduldauer: 1 Semester	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben.
English Translation:
assessment of folder, unrestrictedly repeatable.
Contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester through notice from the examination board.

Modulabschlussprüfung ID: 46923	Sammelmappe mit Begutachtung		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
AtmP1-a	**Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich)**	PF	Vorlesung	3	150 h
Bemerkungen: One week course of the Universities Cologne and Wuppertal together with the institutes ICG –I and ICG-II of the Research Centre Jülich					
Inhalte: • Structure and composition of the atmosphere • Gas phase chemistry of the troposphere • Physics and chemistry of aerosols • Isotope ratios in trace gases • Stratospheric chemistry • Remote sensig techniques • Interaction of chemistry and transport • Global change • Numerical Modelling					
AtmP1-b	**Selected Topics in Atmospheric Physics**	WP	Vorlesung	2	90 h
Inhalte: Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres					
AtmP1-c	**Atmospheric Modelling**	WP	Vorlesung/ Übung	4	90 h
Inhalte: • Introduction: Types of models • Atmospheric structure and model equations for transport and dynamics • Conceptual lower-dimensional mathematical models (example: stratospheric Brewer-Dobson circulation) • Numerical models • Numerical approaches for atmospheric models • Numerical methods for advection					

EAP	Introduction to the Atmospheric Physics	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The lecture Introduction to Atmospheric Physics leads to an understanding of the fundamental concepts of atmospheric physics. Students shall be enabled to apply the basic equations including the interaction of physical and chemical processes. With this knowledge they are able to understand basic phenomena of weather and climate.

Allgemeine Bemerkungen:

Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 40919	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6
Modulabschlussprüfung ID: 40996	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	2

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
EAP-a	**Introduction to Atmospheric Physics**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

- Basic Equations and definitions
- Atmospheric Thermodynamics
- Radiation in the Atmosphere
- Global energy budget and greenhourse effect
- Trace gases and photochemistry
- Dynamic of the atmosphere
- Atmospheric circulation
- Interaction of chemistry and transport
- External influences on the atmosphere
- Ionosphere and magnetosphere

Self-dependent solution of exercises on specific topics based on the lecture Ïntroduction to atmospheric physics”

EAP-b	**Exercises Introduction to Atmospheric Physics**	PF	Übung	2	60 h

Inhalte:

Self-dependent solution of exercises on specific topics based on the lecture "Introduction to Atmospheric Physics".

AtmP2b	Atmospheric Physics 2b	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of expertise and skills on specific topics of atmospheric physics, atmospheric chemistry, measurement techniques as well as numerical modelling. Ability to present in oral and scientific form.

Allgemeine Bemerkungen:

Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 47025 und die 46914 erbracht wurden.
English Translation:
The registration to the final module exam is possible only when UBL 47025 and UBL 46914 are successfully completed.

Modulabschlussprüfung ID: 46920	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	3

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

mündliche Prüfung zu Selectd Topics in Atmospheric Physics in Kombination mit Seminar on Atmospheric Physics
English Translation:
oral module examination for Selected Topics in Atmospheric Physics (30 minutes), in combination with Seminar on Atmospheric Physics

Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en):

Die UBL 47025 ist in Komponente a und die UBL 46914 ist in Komponente b zu erbringen.
English translation:
UBL 47025 has to be completed in component a and UBL 46914 has to be completed in component b.

Unbenotete Studienleistung ID: 47025	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2

Erläuterung:

Ein unbenotetes Referat zu Selected Topics in Atmospheric Physics, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/ den Foliensatz des Vortrages (2 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation:
An ungraded presentation for Selected Topics in Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides (2 cr) is required for the registration for the final module exam.

Unbenotete Studienleistung ID: 46914	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	3

Erläuterung:

Ein unbenotetes Referat zu Seminar on Atmospheric Physics, dokumentiert durch ein schriftliches Manuskript/den Foliensatz des Vortrages (3 LP) ist Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation:
An ungraded presentation for Seminar on Atmospheric Physics, documented by a script/set of slides (3 cr) is required for the registration for the final module exam.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
AtmP2b-a	**Selected Topics in Atmospheric Physics**	PF	Vorlesung/ Übung	2	150 h
Inhalte: Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres					
AtmP2b-b	**Seminar on Atmospheric Physics**	PF	Seminar	2	90 h
Inhalte: Students shall independently deal with selected topics of atmospheric physics and chemistry and related fields and present the result in a seminar talk. With this seminar various soft skills will be trained: Search and assessment of recent literature, suitable preparation of information for a presentation, structure of a scientific presentation, presentation of the relevant information in a well-adjusted form to various target groups.					

CEM1	Computational Electromagnetics 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquistion of an insight into various techniques to numerically simulate electromagnetic and coupled multiphysics field problems in highly complex technical systems or biological organisms.

Moduldauer: 2 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 46958	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	8

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung ID: 46968	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CEM1-a	**Computational Electromagnetics**	PF	Vorlesung/ Übung	5	240 h

Inhalte:

Discrete electromagnetic field theory: Continuous geometric discretization methods for Maxwell’s equations (Finite-Difference-method, Finite Integration Technique, Cell Method, Whitney Finite Element Method), discrete field formulations, implementations (commercial/research) and practical applications for electromagnetic/multiphysical field problems in complex systems/biological organisms

CEM2	Computational Electromagnetics 2	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Ability to effectively use modern (preferably industrial standard) commercial CEM simulation tools or to alternatively develop and use own implementations of electromagnetic field simulators. Students shall be enabled to use these tools to describe and possibly optimize the electromagnetic properties of devices and systems in electrical engineering applications of science and industry. Ability to work in small project teams and present in oral and scientific report form.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 46991	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CEM2-a	**Computational Electromagnetics (CEM-Lab Project)**	PF	Seminar/ Übung	5	240 h

Inhalte:

Team work on industry style projects including commercial electromagnetic field simulations tools (e.g. CST Suite, SEMCAD, FEKO, COMSOL) and/or custom made implementations of simulation tools. Projects goals and the selection of the CEM simulation tools may vary depending on the devices /systems to be modeled. Team presentation of project results within two oral project presentations (first mid semester, second at end of semester) and a written scientific report (paper) to be handed in at the end of the semester.

CompFin1	Computational Finance 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students are familiar with basic concepts in Computational Finance. They have learnt how to model in finance, develop and use simulation tools and judge their efficiency and practicability in front offices.

Allgemeine Bemerkungen:

The language for this module is English.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 39158	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 38959	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CompFi1-a	**Computational Finance 1**	PF	Vorlesung/ Übung	6	270 h

Bemerkungen:

Prerequisites:
Numerical analysis at bachelor level.

Inhalte:

E.g. modelling of financial markets, Black-Scholes model, stochastic differential equations

CompFin2	Computational Finance 2	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students are familiar with basic concepts numerical methods applied in Computational Finance. They are able to solve numerically partial differential equations arising in finance, and can interpret the numerical results.

Allgemeine Bemerkungen:

The language for this module is English.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 38978	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 38992	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CompFi2-a	**Computational Finance 2**	PF	Vorlesung/ Übung	6	270 h

Bemerkungen:

Prerequisites: Numerical analysis at bachelor level.

Inhalte:

E.g. finite difference methods, finite element methods, partial differential equations arising in finance, numericalsolution of initial boundary value problems

CFM1	Computational Fluid Mechanics 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Mastering of the basics of fluid dynamics. Students shall be enabled to apply different models to simulate flows (turbulence models etc.) for the purposes of research and development. They are further able to implement various types of multiphase flows.

Allgemeine Bemerkungen:

Fluid- and thermodynamics (Bachelor)
Advanced Fluid- and thermodynamics (Master)
Good mathematical and programming knowledge.

Moduldauer: 2 Semester	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 1

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 46936	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	8

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation:
written module examination (120 minutes), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung ID: 46956	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation:
oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CFM1-a	**Computational Fluid Dynamics**	PF	Vorlesung/ Übung	4	120 h
Inhalte: Introduction in CFD, Spatial and temporal discretization in CFD, solution of the Navier-Stokes equations (algorithms, pressure-correction methods), modeling of turbulent flows, modeling of non-isothermal flows, process of modeling in CFD, analysis and quality of CFD simulations, lab grid generation and CFD simulation					
CFM1-b	**Multiphase Flows**	PF	Vorlesung/ Übung	4	120 h
Inhalte: Basics of multiphase flows, Solid-liquid flows (single particle, bulk of particles – packed bed, fluidized bed, pneumatic transport), Gas-liquid flows (single particles, cavitation, foams, pressure drop calculation for multiphase flows), exercises					

CFM2	Computational Fluid Mechanics 2	PF/WP WP	Gewicht der Note 4	Workload 4 LP

Qualifikationsziele:

Mastering of basic concepts for simulation of pedestrians (movement, routing, interactions). Acquisition of practical experience by the accompanying modelling and simulation project.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 46965	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	4
Modulabschlussprüfung ID: 46897	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	4

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CFM2-a	**Pedestrian Dynamics**	PF	Vorlesung	4	120 h

Inhalte:

Application of pedestrian dynamics
Empirical data
- fundamental diagram,
- bottleneck flow,
- bi- and multidirectional streams

Modeling
- cellular automata
- force models
- steering models from robotics
- routing

CFM3	Computational Fluid Mechanics 3	PF/WP WP	Gewicht der Note 4	Workload 4 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of knowledge of computational methods to model the hydrodynamics of particle flow (smoothed particle hydrodynamics). The conceptual problem set-up of DEM/SPH can be described; a conceptual model can be developed and the problem can be converted into a computer model. Ability to interpret the results of a numerical simulation and to use them for a general engineering design.

Moduldauer: 1	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 47030	**Präsentation mit Kolloquium**	60 Minuten	unbeschränkt	4

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CFM3-a	**Smooth Particle Hydrodynamics**	PF	Vorlesung	4	120 h

Inhalte:

Many process steps in energy technology required for the processing of particulate solids as well as several flow phenomena in environmental sciences which are increasingly attributed to climate change like e.g. sediment transport simultaneously involve complex three-dimensional fluid and particulate flows.These flows are characterized by complex shaped sometimes even moving boundary surfaces and a distinct free-surface behavior. Computational modeling of these flow phenomena can help understand the fundamental processes involved, predict their technical and environmental effects and help improve design and energy efficiency of related machinery.Particle oriented methods such as smoothed particle hydrodynamics (SPH) in combination with discrete element methods (DEM) in contrast to continuum based methods offer the opportunity to be inherently capable of representing the complex free-surface behavior in these systems without relying on a mesh needed for spatial discretization of flow. The concurrent use of particle based methods such as SPH and DEM is still limited in energy technology as well asenvironmental sciences. Particle based methods allow to improve energy efficiency of processes involving particulate solids as well as to better understand and study particulate/fluid flows in environmental sciences.These flows are impacted by global energy usage as shown by many recent investigations (IPCC Fourth Assessment Report).This course is highly theoretical for engineers and towards research methodology in particular flows.

CFM4	Computational Fluid Mechanics 4	PF/WP WP	Gewicht der Note 4	Workload 4 LP

Qualifikationsziele:

Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of flow the application of computational model can be applied. The problem can be described; a conceptual model can bedeveloped and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a engineering design. Knowledge of Programming Language C, Python or MatLab is assumed.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 46995	**Präsentation mit Kolloquium**	60 Minuten	unbeschränkt	4

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CFM4-a	**Free Surface Water Flow**	PF	Vorlesung/ Übung	2	120 h

Inhalte:

Free surface flow is very often in hydraulic structures. The detection of the free surface is a highly non-linear flow problem and finally not very well understood. Therefore, in the first part of the course special applications of Navier-Stokes equation will be resumed and based on the Modul of Computational Fluid Dynamics (CFD) the techniques to solve the free surface problem will be put on focus.
In the second part of the course the application of different model approaches will be discussed. One-, two- and three-dimensional models will be used and applied to real world problems, e.g. flood protection, water turbine or pump intake, and so on. The model approach will be compared in order to optimize both accuracy and stability as well as storage space and cpu time.
Open source models and commercial codes will be used as it is and currently available. Data management, pre-and post-processing should be handled by interactive shells or self made codes (Python, MatLAB).

CFM5	Computational Fluid Mechanics 5	PF/WP WP	Gewicht der Note 4	Workload 4 LP

Qualifikationsziele:

The students are able to develop the mathematical, physical and chemical understanding needed for the description of smoke and fire propagation and to conduct further literature research. The practical exercises enable them to assess the plausibility and validity of numerical fire solutions. They acquire the ability to use the software FDS (Fire Dynamics Simulator) practically and to analyze the simulation data in the context of scientific questions. Students can run computationally intensive simulations on the provided HPC system (High Performance Computing).

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.

Modulabschlussprüfung ID: 46929	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	4
Modulabschlussprüfung ID: 46953	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	4

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
CFM5-a	**Fire Simulation**	PF	Vorlesung/ Übung	4	120 h

Inhalte:

Introduction to physical-chemical topics and fire related modelling:
- Verification and validation of fire simulations
- Turbulent flows
- Weakly compressible flows
- Thermodynamics and heat transport
- Combustion and pyrolysis

Application software and methods:
- Fire Dynamics Simulator
- Basic data analysis with Python
- Multivariate analysis
- HPC systems

SMTP	The Standard Model of Elementary Particle Physics	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students learn the properties and foundations of the Standard Model of Elementary Particle Physics.

Allgemeine Bemerkungen:

Im Spezialisierungsbereich "Theoretical Particle Physics" gilt für dieses Modul Wahlpflicht.
English Translation:
This module is an elective module within the specialization „Theoretical Particle Physics".

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 40980	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 40957	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
SMTP-a	**The Standard Model of Elementary Particle Physics - a**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

Foundations and properties of the Standard Model.

SMTP-b	**The Standard Model of Elementary Particle Physics - b**	PF	Vorlesung/ Übung	2	60 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

COS	Cosmology and General Relativity	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Mastering of the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. The students understand the Big Bang model and its important pillars (Hubble-expansion, microwave backgroung radiation, synthesis of light elements) and they recognize the necessity for the existence of dark matter and dark energy. The students shall be enabled to learn independently new special topics of the Elementary- or Astro-particle physics related to cosmology and to make a presentation about them. They master modern presentation media.

Moduldauer: 1	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistungen der Sammelmappe wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester.

Modulabschlussprüfung ID: 53027	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
COS-a	**Introduction to Cosmology and General Relativity**	PF	Vorlesung/ Übung	4	180 h

Inhalte:

General co-ordinate transformations, metrics of space-time, Robertson-Walker metrics, Einstein and Friedmann Equations, cosmic dynamics and world models, Hubble Law, critical density of Universe, cosmological constant, age measurements, cosmic microwave background radiation, primordial nucleo-synthesis, dark matter

STP-a	**Main Seminar on Particle Physics**	PF	Seminar	2	60 h

Inhalte:

Seminar on topics of theoretical and experimental particle physics.

GETA	Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Mastering the structure of theStandard Model of elementary particle physics and possible extensions of it. Acquisition of the principles for thedetermination of particle properties and reactions at particle accelerators, both theoretically and experimentally. The students are able to understand the interconnection between particle and astroparticle physics. They can explain the mechanisms underlying the origin of cosmic rays and understand how to detect cosmic rays experimentallly.

Moduldauer: 1	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 41115	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
GETA-a	**Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

- theory of Feynman diagrams
- foundations of the strong and electro-weak interactions
- fermionic sector: top quark, CKM matrix, neutrinos
- possible extensions (e.g. supersymmetry, extra dimensions)
- experimental data and general properties of particle-, gamma- and neutrino-radiation, production mechanisms
- active galaxies, puzzle of ultra high energy particles
- TeV gamma-radiation, solar neutrinos, TeV-neutrino astronomy, new experimental techniques
- connection to cosmology

GETA-b	**Exercises Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics**	PF	Übung	2	60 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

DET	Detector Physics	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students master the physical principles and building blocks of particle accelerators. They are able to performsimple computations of linear ray optics. The students know how to describe the interaction of different forms ofparticle radiation with matter and they are able to connect this knowledge to techniques, methods and building blocksof modern detectors and experiments in particle and astro-particle physics. The students shall be enabled to discussthe opportunities and problems of different types of detectors. They know how to precisely explain the use and theinterplay of detectors in large experiments. The students shall be enabled to learn independently new special topics of the Elementary- or Astro-particle physics related to detector physics and to make a presentation about them. They master modern presentation media.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistungen der Sammelmappe wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester.

Modulabschlussprüfung ID: 63509	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
STP-a	**Main Seminar on Particle Physics**	PF	Seminar	2	60 h

Inhalte:

Seminar on topics of theoretical and experimental particle physics.

TPDP-a	**Detector Physics**	PF	Vorlesung	3	90 h

Inhalte:

Interaction of particles with matter, shower, momentum- and track- measurement, track detectors (gas chambers), semi-conductor detectors, time measurement, energy measurement (calorimeter), particle identification, experiments of particle and astro-particle physics, instrumentation, data acquisition.

TPDP-b	**Exercises Detector Physics**	PF	Übung	1	90 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

IMG1	Imaging 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students master the basics of quantitative in vivo medical imaging. They learn the underlying physical principles.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**
Zusammensetzung des Modulabschlusses: Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet. English translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.				
Modulabschlussprüfung ID: 46894	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	60 Minuten	unbeschränkt	4
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English translation: written module examination (60 min.), unrestrictedly repeatable.				
Modulabschlussprüfung ID: 46963	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	4
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: oral examination (30 min., 4 cr), unrestrictedly repeatable				
Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en): Die UBL 47035 ist in Komponente b zu erbringen. English translation: The UBL 47035 has to be fulfilled in component b.				
Unbenotete Studienleistung ID: 47035	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	4
Erläuterung: Die Form der unbenoteten Studienleistung (Übungen, Hausarbeit, etc.) wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the ungraded achievement (exercises, term paper, etc.) will be announced at the beginning of the lecture.				

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
IMG1-a	**Quantitative Medical Imaging**	PF	Vorlesung	2	120 h

Inhalte:

- Introduction to the most relevant clinical medical imaging devices: PET, CT and MRI
- Introduction to microscopic techniques used for microstructural medical imaging
- Physical effects used to generate contrasts (e.g., decay, absorption, spin dynamics)
- Detection principles and image reconstruction
- Image interpretation for diagnostics
- Modeling of phantoms and simulation of imaging devices and measurements
- Combined usage of experiment and simulation

IMG1-b	**Seminar on Imaging I (Jülich)**	PF	Seminar	2	120 h

Inhalte:

- Introduction to a selected brain imaging technology (lectures, journal reviews, hands-on experiments)
- Performance and analysis of experiments
- Preparation of oral presentation about experiments and results

IMG2	Imaging 2	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students master the basics of imaging the brain at different scales (from MRI to microscopy, from macro to micro).

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	**Form**	**Dauer/ Umfang**	**Wiederholbarkeit**	**LP**
Zusammensetzung des Modulabschlusses: Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet. English translation: The type of the final module exam will be announced at the beginning of the lecture.				
Modulabschlussprüfung ID: 46975	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	60 Minuten	unbeschränkt	4
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: written module examination (60 minutes), unrestrictedly repeatable				
Modulabschlussprüfung ID: 46945	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	4
Erläuterung zur Modulabschlussprüfung: English Translation: oral examination (30 min., 4 cr), unrestrictedly repeatable				
Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en): Die UBL 46990 ist in Komponente b zu erbringen. English translation: The UBL 46990 has to be fulfilled in component b.				
Unbenotete Studienleistung ID: 46990	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	4
Erläuterung: Die Form der unbenoteten Studienleistung (Übungen, Hausarbeit, etc.) wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. English Translation: The type of the ungraded achievement (exercises, term paper, etc.) will be announced at the beginning of the lecture.				

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
IMG2-a	**Image Processing and Data Visualization**	PF	Vorlesung/ Übung	3	120 h

Inhalte:

- Introduction to the importance of modern image processing and data visualization techniques to brain imaging
- Data types and structures (scalar, vector, volume data)
- Transformation and filtering techniques to carve out specific image features
- Image processing pipelines in a supercomputing environment
- Impact of AI on image processing
- Methods for brain data visualization

IMG2-b	**Seminar on Imaging II (Jülich)**	PF	Seminar	2	120 h

Inhalte:

- Introduction to a selected modeling and simulation framework (lectures, online descriptions)
- Getting familiar with the code and its application (task-driven)
- Preparation of oral presentation about experience, method and results

DET	Detector Physics	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students master the physical principles and building blocks of particle accelerators. They are able to performsimple computations of linear ray optics. The students know how to describe the interaction of different forms ofparticle radiation with matter and they are able to connect this knowledge to techniques, methods and building blocksof modern detectors and experiments in particle and astro-particle physics. The students shall be enabled to discussthe opportunities and problems of different types of detectors. They know how to precisely explain the use and theinterplay of detectors in large experiments. The students shall be enabled to learn independently new special topics of the Elementary- or Astro-particle physics related to detector physics and to make a presentation about them. They master modern presentation media.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistungen der Sammelmappe wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester.

Modulabschlussprüfung ID: 63509	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
STP-a	**Main Seminar on Particle Physics**	PF	Seminar	2	60 h

Inhalte:

Seminar on topics of theoretical and experimental particle physics.

TPDP-a	**Detector Physics**	PF	Vorlesung	3	90 h

Inhalte:

Interaction of particles with matter, shower, momentum- and track- measurement, track detectors (gas chambers), semi-conductor detectors, time measurement, energy measurement (calorimeter), particle identification, experiments of particle and astro-particle physics, instrumentation, data acquisition.

TPDP-b	**Exercises Detector Physics**	PF	Übung	1	90 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

SMwM	Statistical Mechanics of Soft Matter	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Understanding macroscopic (mostly polymer) material properties on the basis of microscopic interactions.

Allgemeine Bemerkungen:

Basic Physics or Physical Chemistry including introductory quantum mechanics as acquired in undergraduate programs with stront focus on these subjects.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Modulabschlussprüfung ID: 41004	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
SMwM-a	**Concepts in Soft Matter Physics**	PF	Form nach Ankündigung	2	240 h

Bemerkungen:

Self-study following detailed study plan including written/numerical exercises: weekly meetings with instructor discussing problems and monitoring progress.
The study plan compiles to-do items on a weekly basis. The items will consist of reading assignments in selected texts. In addition there will be homework problems - either analytical or numerical - designed to test the students understanding of the course material.

Inhalte:

Basics in Statistical Thermodynamics
- Fundamental Laws, Thermodynamic Functions, Equilibrium and Stability, Microscopic Interactions, Nonequilibrium Thermodynamics

Introduction to the Theory of Elasticity
- Stress/Strain Tensor, Free Energy, Equilibrium Conditions, Examples

Selected Topics in Polymer Physics
- Single Chains, Characterization, Structure, Mechanical-Dynamic Properties Introduction to the Theory of Elasticity

NMvM	Numerical Methods for Physics of Soft Matter	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquiring numerical modeling techniques used in industrial RD departments focussing on materials development and performance.

Moduldauer: 1 Semester	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP
Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung: Concepts in Soft Matter Physics				
Modulabschlussprüfung ID: 40851	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
NMvM-a	**Computational Materials Science**	PF	Form nach Ankündigung	2	240 h

Bemerkungen:

Self-study following detailed study plan including written/numerical exercises: weekly meetings with instructor discussing problems and monitoring progress.
The study plan compiles to-do items on a weekly basis. The items will consist of reading assignments in selected texts. In addition there will be homework problems - either analytical or numerical - designed to test the students understanding of the course material.

Inhalte:

Introduction to Mathematica
The Finite Element Method
- Theoretical and Numerical Concepts, Applications in Structural Mechanics

Simulation with Monte Carlo and Molecular Dynamics
- Metropolis Sampling, Sampling Different Ensembles, MC Applications
- Simple NVE-MD Program for LJ Fluids, MD-NVT and MD-NPT Simulation,

Force Fields and Parametrization, Long-Range Interactions

TC1	Theoretical Chemistry 1	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of extended knowledge on the quantum-mechanical description of molecular motion. This description covers electron structure calculations, rotation-vibration theory and, as the final step, the simulation of observable molecular spectra and theoretical prediction of other measurable molecular properties. Acquisition of the skill to understand the workings of existing computer programs for carrying out such calculations/simulations and to modify and extend these programs.

Allgemeine Bemerkungen:

Quantum Mechanics at bachelor level; basic knowledge of mathematics and natural sciences (in particular theoretical chemistry) is assumed, corresponding to a bachelor degree in chemistry.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 47017 erbracht wurde.
English Translation:
The registration to the final module exam is possible only when UBL 47017 is successfully completed.

Modulabschlussprüfung ID: 47000	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en):

Die UBL 47017 ist in Komponente a zu erbringen.
English translation:
The UBL 47017 has to be fulfilled in component a.

Unbenotete Studienleistung ID: 47017	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2

Erläuterung:

Übungen
Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises, required for the registration for the final module exam.

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
TC1-a	**Quantum Theory of Molecules**	PF	Vorlesung/ Übung	6	240 h

Inhalte:

Fundamental quantum mechanics; Molecular Hamiltonian; Born-Oppenheimer approximation; Molecular orbitals as LCAO's; Self-Consistent-Field method; Slater determinants; Configuration interaction; Basis sets for SCF-CI calculations; Introduction to Density Functional Theory; Vibration and normal coordinates; Rotation and angular momentum; Intensities

TC2	Theoretical Chemistry 2	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Acquisition of the skill to apply existing computer programs for carrying out electron structure calculations, the simulation of observable molecular spectra, and theoretical prediction of other measurable molecular properties, and of the skill to optimize the numerical procedures employed in these computer programs.

Allgemeine Bemerkungen:

Quantum Mechanics at bachelor level; particularly suited for students with Bachelor of Chemistry or Applied Science.

Moduldauer: 1 Semester	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Voraussetzung für die Modulabschlussprüfung:

TC1

Die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung kann erst erfolgen, wenn die UBL 46962 erbracht wurde.
English Translation:
The registration to the final module exam is possible only when UBL 46962 is successfully completed.

Modulabschlussprüfung ID: 46973	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	6

Erläuterung zur Modulabschlussprüfung:

English Translation: oral module examination (30 minutes), unrestrictedly repeatable.

Organisation der Unbenoteten Studienleistung(en):

Die UBL 46962 ist in Komponente a zu erbringen.
English translation:
The UBL 46962 has to be fulfilled in component a.

Unbenotete Studienleistung ID: 46962	Form gemäß Erläuterung		unbeschränkt	2

Erläuterung:

Übungen
English Translation:
exercises

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
TC2-a	**Theoretical Chemistry Applications**	PF	Übung	6	240 h

Inhalte:

Electronic structure of molecules; Analytical representations of potential energy surfaces; interaction between electronic states; Simulation of molecular spectra; Optimization of numerical procedures employed in existing programs for the simulation of molecular spectra.

SMTP	The Standard Model of Elementary Particle Physics	PF/WP PF	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students learn the properties and foundations of the Standard Model of Elementary Particle Physics.

Allgemeine Bemerkungen:

Im Spezialisierungsbereich "Theoretical Particle Physics" gilt für dieses Modul Wahlpflicht.
English Translation:
This module is an elective module within the specialization „Theoretical Particle Physics".

Moduldauer: 1 Semester	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 40980	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 40957	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
SMTP-a	**The Standard Model of Elementary Particle Physics - a**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

Foundations and properties of the Standard Model.

SMTP-b	**The Standard Model of Elementary Particle Physics - b**	PF	Vorlesung/ Übung	2	60 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

VTT	Many Particle Theory	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students know advanced phenomena in solid state physics which can not be explained by one particle properties. They are able to describe and compute the interaction of phonons with electrons within the framework of perturbation theory.

Moduldauer: 1	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English Translation:
The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 39197	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 39146	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
VTT-a	**Many Particle Theory - a**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

- occupation number representation
- microscopic electronic models of solid state physics
- Green functions and perturbation theory
- Feynman diagrams
- physical applications of perturbation theory
- linear response theory

VTT-b	**Many Particle Theory - b**	PF	Übung	2	60 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

SFT	Statistical Field Theory	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students know the phenomenology of phase transitions and criticality of lattice- and continuums-models, as wellas the possible range of critical exponents and their deduction from scaling arguments within the framework of therenormalization group and finite-size-scaling arguments. Conveying the special properties of conformal invariance intwo dimensions. Mastery of computational skills like perturbation theory and integrabillity of low dimensional systems,in particular the Bethe-Ansatz.

Moduldauer: 1	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English translation:
The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 39170	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 38942	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
SFT-a	**Statistical Field Theory - a**	PF	Vorlesung	4	180 h

Inhalte:

- Kritische Phänomene
- Renormierungsgruppe
- Konforme Invarianz und Feldtheorie
- Finite-Size-Scaling
- Zwei-dimensionales Ising-Modell
- Nichtlineares Sigma-Modell
- Thermodynamik exakt lösbarer Vertexmodelle
- Stochastische Systeme
- Random-Walk und Brownsche Bewegung

SFT-b	**Statistical Field Theory - b**	PF	Übung	2	60 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

COS	Cosmology and General Relativity	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

Mastering of the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. The students understand the Big Bang model and its important pillars (Hubble-expansion, microwave backgroung radiation, synthesis of light elements) and they recognize the necessity for the existence of dark matter and dark energy. The students shall be enabled to learn independently new special topics of the Elementary- or Astro-particle physics related to cosmology and to make a presentation about them. They master modern presentation media.

Moduldauer: 1	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistungen der Sammelmappe wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of the semester.

Modulabschlussprüfung ID: 53027	**Sammelmappe mit Begutachtung**		unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
COS-a	**Introduction to Cosmology and General Relativity**	PF	Vorlesung/ Übung	4	180 h

Inhalte:

General co-ordinate transformations, metrics of space-time, Robertson-Walker metrics, Einstein and Friedmann Equations, cosmic dynamics and world models, Hubble Law, critical density of Universe, cosmological constant, age measurements, cosmic microwave background radiation, primordial nucleo-synthesis, dark matter

STP-a	**Main Seminar on Particle Physics**	PF	Seminar	2	60 h

Inhalte:

Seminar on topics of theoretical and experimental particle physics.

EQFT	Introduction to Quantum Field Theory	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students shall be enabled to carry out modern research in the field of theoretical particle physics andits computer assisted applications.

Moduldauer: 1	Angebotshäufigkeit: jedes 2. Semester	Empfohlenes FS: 2

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Die Form der Modulabschlussprüfung wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben, in dem die Modulabschlussprüfung stattfindet.
English translation:
The form of the examination of the module is announced at the beginning of the semester in which the examination will be conducted.

Modulabschlussprüfung ID: 40901	**Schriftliche Hausarbeit**		unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 40963	**Mündliche Prüfung**	45 Minuten	unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
EQFT-a	**Introduction to Quantum Field Theory**	PF	Vorlesung	2	150 h

Inhalte:

- relativistic quantum mechanics
- Nöther theorem
- field quantization in momentum space
- propagator of the free scalar field
- Wick theorem
- interaction, normal ordering, time ordering
- Feynman diagrams
- cross sections and decay rates
- regularization and renormalization
- representations of the Poincare group
- Grassmann variables
- path integrals
- quantization of gauge theories
- quantum electrodynamcis

EQFT-b	**Exercises Introduction to Quantum Field Theory**	PF	Übung	2	90 h

Inhalte:

Contents of the lecture are practiced in dedicated exercises.

FQM	Advanced Quantum Mechanics	PF/WP WP	Gewicht der Note 8	Workload 8 LP

Qualifikationsziele:

The students learn advanced methods and techniques of quantum mechanics, inparticular the relativistic formulation and the field quantization. They are able to derive and solve the formulation of advanced quantum mechanical problems. They will gain an overview of various computational methods and approximations as well as the fundamental importance of relativistic phenomena in physics. They will also learn the foundations of theoretical particla physics.

Moduldauer: 1	**Angebotshäufigkeit:** jedes 2. Semester	**Empfohlenes FS:** 3

Nachweise	Form	Dauer/ Umfang	Wiederholbarkeit	LP

Zusammensetzung des Modulabschlusses:

Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistungen der Sammelmappe wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss bekannt gegeben.
English Translation:
Assessment of folder, contents, time and form of each single achievement will be announced at the beginning of thesemester.

Modulabschlussprüfung ID: 39291	**Mündliche Prüfung**	30 Minuten	unbeschränkt	8
Modulabschlussprüfung ID: 39113	**Schriftliche Prüfung (Klausur)**	120 Minuten	unbeschränkt	8

Komponente/n		PF/WP	Lehrform	SWS	Aufwand
FQM-a	**Advanced Quantum Mechanics**	PF	Vorlesung/ Übung	6	240 h

Inhalte:

- Invariance of the equations of motion and conserved quantities
- Time reversal
- Time dependent perturbation theory
- Variational methods
- Hartree Fock equation
- Structure of molecules
- Scattering theory: cross section, Born series, single and multiple scattering
- S- and T-matrix
- Relativistic quantum mechanics: Klein-Gordon and Dirac equation
- Field quantization
- Quantum theory of radiation
- Foundations of particle physics

Legende

PF	Pflichtfach
WP	Wahlpflichtfach
FS	Fachsemester
LP	Leistungspunkte
MAP	Modulabschlussprüfung
UBL	Unbenotete Studienleistung
SWS	Semesterwochenstunden