BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Modulhandbuch des Studiengangs Computer Simulation in Science

Stand: 1. Juli 2014

Inhaltsverzeichnis

Computer Simulation

CSim1 Computer Simulation 1

Stellung im Studiengang:		Workload:
Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	10 LP
Stellung der Note: 10/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	300 h
	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The students will learn basic algorithms and how to apply them in problems of physics and mathematics. In the lecture they will become familiar with the derivation of the principles of the algorithms and will understand simple examples. In the exercises they will program solutions of more complex problems. The accompanying laboratory course will extend the knowledge on algorithms and students will work out larger projects independently.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Modulverantwortliche(r):

Dr. Stephan Dürr, Prof. Dr. Francesco Knechtli

Nachweise zu Computer Simulation 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (2-mal wiederholbar)	180 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (180 minutes, 8 cr), can be repeated 2 times

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Introduction to Computer Simulation: Übungen	-	2	Modulteil(e) b

Bemerkungen:

mindestens 50 % der Übungspunkte, Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises for Introduction to Computer Simulation (2 cr), at least 50 % of the exercise points, required for the registration for the final module exam.

a Lab Course 1

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (6 LP)	Übung	135 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

a Lab Course 1 (Fortsetzung)

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 the two-dimensional Ising model
- Neural networks
- Navier-Stokes equations
- Finite elements method

b Introduction to Computer Simulation

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	86,25 h	3 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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

CSim2 Computer Simulation 2

Stellung im Studiengang: Pflicht **Stellung der Note:** 13/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 13 LP 390 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Introduction to 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 the specific algorithmic requirements in high performance computing. They are able to develop complex parallel algorithms, to analyze them and judge their efficiency.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Andreas Frommer, Dr. Julian Rautenberg

Nachweise zu Computer Simulation 2

Teil der Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	8	Modulteil(e) b

Bemerkungen:

schriftliche Teilmodulprüfung zu Parallel Algorithms
English Translation: written examination for Parallel Algorithms (120 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable

Teil der Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	Modulteil(e) b

Bemerkungen:

English Translation: oral examination of Parallel Algorithms (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

Teil der Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	5	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

English Translation: oral examination of Data Analysis (30 minutes, 4 cr), unrestrictedly repeatable

a Data Analysis

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (5 LP)	Vorlesung	105 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Bemerkungen:

b Parallel Algorithms

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Stellung im Studiengang:		Workload:
Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	12 LP
Stellung der Note: 12/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	360 h
	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The students will learn how to tackle problems which require parallelization. In Introduction to Computer Simulation II they will acquire the algorithmic skills and learn how to parallelize the solution of problems. In the Laboratory Course II they will program these solutions in C with Message Passing Interface (MPI) and at the end work on a larger simulation project, using a parallel supercomputer.

Voraussetzungen:

CSim1, Modern Programming (CS1).

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Francesco Knechtli, Prof. Dr. Dr. Thomas Lippert

Nachweise zu Computer Simulation 3

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (2-mal wiederholbar)	180 min. Dauer	10	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (180 minuts, 12 cr), can be repeated 2 times

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Lab Course II: Übungen	-	2	Modulteil(e) b

Bemerkungen:

mindestens 50 % der Übungspunkte, Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises for Lab Course II (2 cr), at least 50 % of the exercise points, required for the registrtion for the final module exam.

a Introduction to Computer Simulation II

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (4 LP)	Vorlesung	97,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

a Introduction to Computer Simulation II (Fortsetzung)

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

b Lab Course II

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	195 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Parallel programming in C with MPI: basic structure and commands of MPI programs, applied to solve exercises from the material covered in the lecture Introduction to Computer Simulation II. Students will also work on a large project , for example simulation of the four-dimensional Ising model, q-state Potts models or three-dimensional two-component scalar field theory, discretized on a lattice, or alternatively many-body simulations (Lennard-Jones potential with systolic algorithm), time dependent Schrödinger equation, electromagnetic radiation and computational fluid flow.
The students will run simulations on a high performance parallel computer, also studying the scalability of their programs.

Computer Science

CS1 Computer Science 1

Stellung im Studiengang: Pflicht **Stellung der Note:** 10/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	**Workload:** 10 LP 300 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Designing and implementing larger software projects using object-oriented methods. GRID computing.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Knowledge of one programming language is assumed.

Modulverantwortliche(r):

Dr. Holger Arndt, Dr. Torsten Harenberg

Nachweise zu Computer Science 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises: Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	**Prüfungsdauer:** 120 min. Dauer	**Nachgewiesene LP:** 8	**Nachweis für:** ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (120 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises: zu Worldwide Distributed (GRID) Computing: Referat	**Prüfungsdauer:** -	**Nachgewiesene LP:** 2	**Nachweis für:** Modulteil(e) b

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded presentation for Worldwide Distributed (GRID) Computing, required for the registration for the final module exam.

a Modern Programming

Stellung im Modul: Pflicht (6 LP)	**Lehrform:** Vorlesung/ Übung	**Selbststudium:** 135 h	**Kontaktzeit:** 4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Overview of software engineering, C++, debugging, Makefiles, design patterns, GUIs

b Worldwide Distributed (GRID) Computing

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (4 LP)	Vorlesung/ Seminar	86,25 h	3 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Strategies and methods of worldwide distributed (GRID) computing, current problems in the development and application of GRID middleware in particle physics.

CS2 Computer Science 2

Stellung im Studiengang:		Workload:
Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 2 Semester.	7 LP
Stellung der Note: 7/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	210 h
	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Overview of different tools for software engineering.
The students will acquire knowledges about visualization of data and will learn to apply them in independent work.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Knowledge of one programming language is assumed.

Modulverantwortliche(r):

Dr. Holger Arndt, Prof. Dr. Uwe Pietrzyk

Nachweise zu Computer Science 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	7	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (120 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	7	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

a Tools

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (3 LP)	Vorlesung/ Übung	67,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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)

b Image Processing and Data Visualization

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	86,25 h	3 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Visualization pipeline, data sources and data types, transformation and filtering of data, techniques for visualizing 1, 2-, and 3d scalar data, marching cube algorithm, rendering systems and methods, ray-tracing, perception and color, color models, visualizing vector field data, information visualization of physical and abstract data, aesthetics and techniques in graphical design

Numerical Methods

NM1 Numerical Methods 1

Stellung im Studiengang: Pflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 2 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Students are familiar with complex algorithms for the numerical simulation of ordinary differential equations and are able to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Numerical Analysis at bachelor level.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Michael Günther

Nachweise zu Numerical Methods 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	6	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation I, (120 min, 6 cr), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	6	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation I (30 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Numerical Analysis and Simulation I: Übungen	-	2	Modulteil(e) a

Nachweise zu Numerical Methods 1 (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation I (2 cr), required for the registration for the exam.

a Numerical Analysis and Simulation I

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/180	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Students are familiar with complex algorithms for the numerical simulation of partial differential equations and are able to analyze and classify them, apply them properly and develop them further.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Numerical Analysis at bachelor level.
The students can choose either module Numerical Methods 2a or module Numerical Methods 2b to achieve the required 8 credit points.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Ehrhardt

Nachweise zu Numerical Methods 2a

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	6	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

English Translation: written examination of Numerical Analysis and Simulation II (120 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	6	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

English Translation: oral examination of Numerical Analysis and Simulation II (30 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Übungen	-	2	Modulteil(e) a

Nachweise zu Numerical Methods 2a (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Bearbeitung der wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben, Voraussetzung für die Anmeldung zur Prüfung. English Translation: ungraded weekly exercises for Numerical Analysis and Simulation II (2 cr), required for the registration for the exam.

a Numerical Analysis and Simulation II

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Stellung im Studiengang:		Workload:
Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	8 LP
Stellung der Note: 8/180	Das Modul wird jährlich angeboten.	240 h
	Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics: The students will learn different numerical techniques to solve problems in classical field theory and quantum mechanics. The focus will be on the implementation on parallel computers. Students will have to write a term paper about one project, learning how to prepare a documentation.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Dr. Lippert

Nachweise zu Numerical Methods 2b

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	3	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung sind 5 LP aus der unbenoteten Studienleistung.
English Translation: oral module examination (30 minutes, 3cr), unrestrictedly repeatable. 5 credit points from the ungraded course achievement are required for the registration for the final module exam.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Ausarbeitung	-	5	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

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.

a Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	195 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

a Numerical Methods in Classical Field Theory and Quantum Mechanics (Fortsetzung)

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

Stellung im Studiengang:	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	Workload:
Pflicht	Das Modul wird jährlich angeboten.	6 LP
Stellung der Note: 6/120	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	180 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The students become familiar with basic concepts of Numerical Mathematics. They are able to analyze and develop basic schemes in Numerical Analysis of Linear and Nonlinear systems.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Andreas Frommer

Nachweise zu Numerical Methods 3

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	6	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (120 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	6	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

a Numerical Linear Algebra

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (6 LP)	Vorlesung/ Übung	146,25 h	3 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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.

Atmospheric Physics

AtmP1 Atmospheric Physics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

With this lecture the students will deepen their knowledge of the basic concepts. The lecture is centered around communicating 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. The students will get an overview of the basics as well as special topics of atmospheric physics and chemistry. They will also 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 should be able to summarize the basic concepts of atmospheric chemistry and physics and thorougly report their experience.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Ralf Koppmann

Nachweise zu Atmospheric Physics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	5	ganzes Modul

Bemerkungen:

mündliche Prüfung zu Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich)
English Translation: oral module examination for Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich) (30 minutes, 5 cr), unrestrictedly repeatable

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Selected Topics in Atmospheric Physics: Fachgespräch	-	3	Modulteil(e) a

Nachweise zu Atmospheric Physics 1 (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Protokoll eines Fachgesprächs, Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung
English Translation: ungraded record of an interview to Selectd Topics in Atmosperic Physics (3 cr), required for the registration for the final module exam.

a Selected Topics in Atmospheric Physics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (3 LP)	Vorlesung	67,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres

b Summer School on Chemistry and Dynamics of the Atmosphere (Jülich)

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (5 LP)	Vorlesung	116,25 h	3 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Bemerkungen:

One week course of the Universities Cologne and Wuppertal together with the institutes ICG –I and ICG-II of the Research Centre Jülich

AtmP2a Atmospheric Physics 2a

Stellung im Studiengang:		Workload:
Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	8 LP
Stellung der Note: 8/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	240 h
	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The lecture Introduction to Atmospheric Physics leads to an understanding of the fundamental concepts of atmospheric physics. The goal is to impart knowledge and application of the basic equations as well as the interaction of physical and chemical processes. This will be the basis for a general overview of trace gas budgets, the Earth's radiation budget, and atmospheric circulation. With this knowledge basic phenomena of weather and climate can be understood.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.
The students can choose either module Atmospheric 2a or module Atmospheric 2b to achieve the required 8 credit points.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Ralf Koppmann

Nachweise zu Atmospheric Physics 2a

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	5	ganzes Modul

Bemerkungen:

mündliche Prüfung zu Introduction to Atmospheric Physics
English Translation: oral module examination (30 minutes, 5 cr)

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Introduction to Atmospheric Physics: kleine Hausarbeit	-	3	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded small homework for Introduction to Atmospheric Physics (3 cr), required for the registration for the final module exam.

a Introduction to Atmospheric Physics

a Introduction to Atmospheric Physics (Fortsetzung)			
Stellung im Modul: Wahlpflicht (8 LP)	**Lehrform:** Vorlesung/ Übung	**Selbststudium:** 172,5 h	**Kontaktzeit:** 6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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”

AtmP2b Atmospheric Physics 2b

Stellung im Studiengang:		Workload:
Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	
Stellung der Note: 8/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	8 LP
	Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

With this lecture and seminar the students will deepen their knowledge of the basic concepts. The lecture is centered around communicating expertise and skills on specific topics of atmospheric physics, atmospheric chemistry, measurement techniques as well as numerical modelling.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science.
The students can choose either module Atmospheric 2a or module Atmospheric 2b to achieve the required 8 credit points.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Ralf Koppmann

Nachweise zu Atmospheric Physics 2b

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	3	ganzes Modul

Bemerkungen:

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, 3 cr), in combination with Seminar on Atmospheric Physics

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Selected Topics in Atmospheric Physics: Referat	-	2	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

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

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Seminar on Atmospheric Physics: Referat	-	3	Modulteil(e) b

Nachweise zu Atmospheric Physics 2b (Fortsetzung)

Bemerkungen:

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

a Selected Topics in Atmospheric Physics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (5 LP)	Vorlesung/ Übung	127,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Depending on up-to-date topics: Dynamics of the atmosphere, Atmospheric chemistry, Solar physics and the magnetosphere, Molecular spectroscopy, Numerical modelling, Planetary atmospheres

b Seminar on Atmospheric Physics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (3 LP)	Seminar	67,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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.

Computational Electromagnetics

CEM1 Computational Electromagnetics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Markus Clemens

Nachweise zu Computational Electromagnetics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable

a Computational Electromagnetics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	183,75 h	5 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Stellung im Studiengang:		Workload:
Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	
Stellung der Note: 8/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	8 LP
	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Within small project teams, students will learn within small ïndustry style" projects given to them to effectively use modern (preferably industrial standard) commercial CEM simulation tools or to alternatively develop and use own implementations of electromagnetic field simulators. They will learn to use these tools to describe and possibly optimize the electromagnetic properties of devices and systems in electrical engineering applications of science and industry. The results of their CEM simulation project work are to be presented in oral and scientific report form.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Markus Clemens

Nachweise zu Computational Electromagnetics 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable

a Computational Electromagnetics (CEM-Lab Project)

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Seminar/ Übung	183,75 h	5 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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.

Computational Fluid Mechanics

CFM1 Computational Fluid Mechanics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 2 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 1. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Computational Fluid Dynamics

- to understand the fluid mechanical equations (Navier-Stokes equations)
- to understand the mathematical background of CFD
- to choose and understand different models to simulate flows (turbulence models, etc.)
- to evaluate CFD-solutions
- to apply CFD for the purposes of research and development

Smooth Particle Hydrodynamics
Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of particle flow the application of computational models can be applied. The conceptual problem set-up of DEM/SPH can be described; a conceptual model can be developped and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a general engineering design.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

To achieve the required 8 credit points the student can choose one of the lectures b) and c) in addition to the compulsory lecture „Computational Fluid
Dynamics“ .
Fluid- and thermodynamics (Bachelor)
Advanced Fluid- and thermodynamics (Master)
Good mathematical and programming knowledge.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff

Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	-	8	ganzes Modul

Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 1 (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben.
English Translation: assessment of folder (8 cr), 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.

a Smooth Particle Hydrodynamics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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 as environmental 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.

b Multiphase Flows

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

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

c Computational Fluid Dynamics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h

c Computational Fluid Dynamics (Fortsetzung)	
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein

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

CFM2 Computational Fluid Mechanics 2

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Fire Simulation: Techniques and models for thermally driven turbulent fluid simulations are presented. Based on their general CFD knowledge, the students become familiar with theoretical modelling of turbulence, combustion, and pyrolysis, as used for fire and smoke simulations in civil engineering. An accompanying simulation project completes the course.

Pedestrian Dynamics: Models of pedestrian dynamics. Basic concepts for simulation of pedestrians (movement, routing, interactions). The students gain practical experience by the accompanying simulation project.

Groundwater Flow, Free Surface Water Flow: 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 be developed 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.
Smooth Particle Hydrodynamics: Based on theoretical knowledge of the hydrodynamics of particle flow the application of computational models can be applied. The conceptual problem set-up of DEM/SPH can be described; a conceptual model can be developped and the problem can be converted into a computer model. The results of a numerical simulation can be interpreted and used for a general engineering design.

Voraussetzungen:

Fire Simulation:CFM1, NM1, CSim1, CS1
Groundwater Flow, Free Surface Water Flow:
CFM1

Bemerkungen:

To achieve the required 8 credit points the students must choose 2 lectures from
„Groundwarter Flow“ (4 cr)
„Free Surface Water Flow“ (4 cr)
„Fire Simulation“ (4 cr)
„Pedestrian Dynmaics“ (4 cr)
or
„Smoth Particle Hydrodynamics“

Knowledge of Programming Language C, Python or MatLab is assumed for Groundwater Flow and Free Surface Water Flow.
Groundwater Flow, Free Surface Water Flow: a workshop will be established and meetings will be held every two weeks.

Modulverantwortliche(r):

Dr. Lukas Arnold, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff, Prof. Dr. Armin Seyfried

Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 2
Modulabschlussprüfung

Nachweise zu Computational Fluid Mechanics 2 (Fortsetzung)			
Art des Nachweises: Sammelmappe mit Begutachtung (uneingeschränkt)	**Prüfungsdauer:** -	**Nachgewiesene LP:** 8	**Nachweis für:** ganzes Modul

Bemerkungen:

Sammelmappe mit Begutachtung, Inhalt, Frist und Form der jeweiligen Einzelleistung wird zu Semesterbeginn vom Prüfungsausschuss durch Aushang bekannt gegeben.
English Translation: assessment of folder (8 cr), 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.

a Pedestrian Dynamics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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

b Smooth Particle Hydrodynamics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** ja Fremdmodul:Computational Fluid Mechanics 1 Verantwortliche(r):Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske, Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff		

b Smooth Particle Hydrodynamics (Fortsetzung)

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 as environmental 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.

c Groundwater Flow

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	97,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Base on the general equations of flow and transport, the special application to ground water flow problems will be discussed. Overall, the objective is to be able to simulate ground water flow with a model. For this course FE and FV will be presented and finally one or two test cases will be set-up with the MODFLOW simulation package, or equivalent.
Also a short overview of field investigations techniques and classification of typical hydro-geological and soil environmental situation will be given.
Open source models will also be used as it is!

d Free Surface Water Flow

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	97,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

d Free Surface Water Flow (Fortsetzung)

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).

e Fire Simulation

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (4 LP)	Vorlesung/ Übung	75 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Civil Engineering

- Fire safety
- Fire models

Computational fluid dynamics (context of fire simulations)

- General equations, weakly compressible flows
- Transport equations
- Verification and validation
- Parallel computing and data visualization

Fire Modeling

- Turbulence
- Pyrolysis
- Combustion
- Radiation
- Soot

Experimental Particle Physics

EPP1 Experimental Particle Physics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Peter Mättig

Nachweise zu Experimental Particle Physics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	3	ganzes Modul

Bemerkungen:

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu The Standard Model of Elementary Particle Physics: Übungen	-	5	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises for The Standard Model of Elementary Physics (5 cr), required for the registration for the final module exam.

a The Standard Model of Elementary Particle Physics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Properties and foundations of the Standard Model of elementary particles.
The topics covered in the lecture will be exercised solving concrete problems.

EPP2 Experimental Particle Physics 2

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics: The students will be familiar with the structure of the Standard Model of elementary particle physics and possible extensions of it. They will acquire the principles for the determination of particle properties and reactions at particle accelerators, both theoretically and experimentally. The interconnection between particle and astroparticle physics is stressed. Foundations of the origin and detection of cosmic rays are given. Introduction to the concepts and techniques of modern detectors for particle and astro-particle physics.
Introduction to Cosmology and General Relativity: The students will understand the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. They will get familiar with the general structure and contents of the Universe and its evolution from the big bang to the far future and they will understand the concept and observational evidence for the big bang itself. A number of spectacular observations have been made in recent years which have put Cosmology forward to a quantitative science. Solving problems related to the lectures will lead to a consolidation of the achieved competences.
Architectures: The development of computers is particularly important in Particle Physics applications. The lecture on architectures provides the basic understanding of the functioning of a computer.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisite.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Robert Harlander, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert, Prof. Dr. Wolfgang Wagner

Nachweise zu Experimental Particle Physics 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Sammelmappe mit Begutachtung einschließlich mündlicher Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Nachweise zu Experimental Particle Physics 2 (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Das Modul hat folgende Wahlmöglichkeiten:
1) Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (Übungen, 2 LP; mündliche Prüfung, 6 LP)
oder
2) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Introduction to Cosmology and General Relativity (Übungen, 3 LP; mündliche Prüfung, 3 LP)
oder
3) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Detector Physics (Übungen, 3 LP; mündliche Prüfung, 3 LP)

English Translation:
Assessment of folder (8 cr), including 30 minutes oral exam, unrestricted repeatable.
For the module the following combinations are possible:
1) Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (exercises, 2 cr; oral examination, 6 cr)
or
2) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Introduction to Cosmology and General Relativity (exercises, 3 cr; oral examination, 3 cr)
or
3) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Detector Physics (exercises, 3 cr; oral examination, 3 cr)

a Architectures

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (2 LP)	Vorlesung	48,75 h	1 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** ja Fremdmodul:Theoretical Particle Physics 2 Verantwortliche(r):Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert		

Inhalte:

- The computer system
- The memory system
- Input/output handling
- Internal structure and functioning of the CPU
- The control unit
- The instruction set
- Pipeline hazards
- Architectures for parallel computation

b Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	195 h	4 SWS $\times$ 11,25 h

b Foundations of Elementary Particle and Astroparticle Physics (Fortsetzung)	
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein

Inhalte:

- Feynman diagrams and their application to cross sections and decay rates
- concepts of the Standard Model
- Intensified study of one or several aspcts of the Standard Model, for example: electro-weak symmetry breaking, precision physics, QCD observables, flavor physics
- particle-, gamma- and neutrino-radiation from the cosmos: origin, detection, and open questions
- dark matter
- relations between particle physics, astro-particle physics, and cosmology

c Introduction to Cosmology and General Relativity			
Stellung im Modul: Wahlpflicht (6 LP)	**Lehrform:** Vorlesung/ Übung	**Selbststudium:** 135 h	**Kontaktzeit:** 4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** ja Fremdmodul:Theoretical Particle Physics 2 Verantwortliche(r):Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert		

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

d Detector Physics			
Stellung im Modul: Wahlpflicht (6 LP)	**Lehrform:** Vorlesung/ Übung	**Selbststudium:** 135 h	**Kontaktzeit:** 4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Interactions of particles with matter, showers, momentum and track mesaurement, tracking detectors (gas chambers, semiconductor detectors, timing, energy measurement/calorimeters), particle identification, experiments in particle and astro-particle physics, instrumentation, data acquisition

Financial Mathematics

FM1 Financial Mathematics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

Numerical Analysis at Bachelor Level, particularly suited for students with Bachelor of mathematics, Financial Mathematics or Applied Sciences.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Michael Günther

Nachweise zu Financial Mathematics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (120 minutes, 8 cr), unresrictedly repeatable.

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

a Computational Finance 1

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h

a Computational Finance 1 (Fortsetzung)	
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein

Inhalte:

- Modeling of financial markets, options
- Binomial method and its extensions,
- risk-neutral valuation, stochastic processes
- Geometric Brownian Motion, Ito Lemma
- exotic options
- stochastic differential equations (SDEs)
- Calibration, jump models
- generating random numbers with specified distributions
- Monte Carlo Methods, variance reduction approaches

FM2 Financial Mathematics 2

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

Numerical Analysis at Bachelor Level, particularly suited for students with Bachelor of mathematics, Financial Mathematics or Applied Sciences

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Michael Günther

Nachweise zu Financial Mathematics 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Schriftliche Prüfung (Klausur) (uneingeschränkt)	120 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written module examination (120 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

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.

a Computational Finance II

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

a Computational Finance II (Fortsetzung)

Inhalte:

- Finite Difference Methods (FDMs) for Parabolic equations
- stability, consistency, convergence, Von Neumann analysis
- FDMs applied to option pricing problems
- Boundary conditions
- Free Boundary Problem of American Options
- Linear complementarity problem, obstacle formulation, penalty methods
- error control, extrapolation, method of lines, transformation methods, splitting methods
- finite elements in option pricing, error estimates
- Pricing of exotic options; Asian options
- Upwind and High resolution methods
- Nonlinear Black-Scholes models and their numerical solution
- PIDEs: Valuation of options under jump proceses

Materials Science

MSci1 Materials Science 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Reinhard Hentschke

Nachweise zu Materials Science 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 8 cr), unrestrictedly repeatable.

a Concepts in Soft Matter Physics

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (8 LP)	Form nach Ankündigung	217,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

a Concepts in Soft Matter Physics (Fortsetzung)

Inhalte:

Basics in Statistical Thermodynamics

- Fundamental Laws, Thermodynamic Functions, Equilibrium and Stability, Microscopic Interactions, Non-equilibrium 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

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.

MSci2 Materials Science 2

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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

Voraussetzungen:

Concepts in Soft Matter Physics

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Reinhard Hentschke

Nachweise zu Materials Science 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Schriftliche Hausarbeit (uneingeschränkt)	-	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: written homework, unrestrictedly repeatable.

a Computational Materials Science

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Form nach Ankündigung	217,5 h	2 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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

a Computational Materials Science (Fortsetzung)

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.

Theoretical Chemistry

TC1 Theoretical Chemistry 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

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.

Modulverantwortliche(r):

Prof. Per Jensen, Ph.D.

Nachweise zu Theoretical Chemistry 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	6	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Übungen	-	2	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises (2 cr), required for the registration for the final module exam.

a Quantum Theory of Molecules

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Pflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h

a Quantum Theory of Molecules (Fortsetzung)	
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein

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

Stellung im Studiengang:		Workload:
Wahlpflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	8 LP
Stellung der Note: 8/120	Das Modul wird jährlich angeboten.	240 h
	Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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.

Voraussetzungen:

TC1

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Per Jensen, Ph.D.

Nachweise zu Theoretical Chemistry 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	6	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: oral module examination (30 minutes, 6 cr), unrestrictedly repeatable.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Übungen	-	2	Modulteil(e) a

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises (2 cr), required for the registration for the final module exam.

a Theoretical Chemistry Applications

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Pflicht (8 LP)	Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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.

Theoretical Particle Physics

TPP1 Theoretical Particle Physics 1

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 2. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The Standard Model of Elementary Particle Physics: The students will learn the properties and foundations of the Standard Model of Elementary Particle Physics.
Statistical Field Theory: Knowledge of phase transitions and criticality of lattice- and continuums-models, as well as the possible range of critical exponents and their deduction from scaling arguments within the framework of the renormalization group and finite-size-scaling arguments. Conveying the special properties of conformal invariance in two dimensions. Mastery of computational skills like perturbation theory and integrabillity of low dimensional systems, in particular the Bethe-Ansatz.
Many Particle Theory: Knowledge of phenomena in solid state physics which can not be explained by one-particle properties. Interaction of phonons with electrons within the framework of perturbation theory. The aim is the understanding of the systematics and general properties of perturbation theory and the limits of perturbative theoretical methods.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisite.

Bemerkungen:

Quantum Mechanics at bachelor level; knowledge from lectures on Theoretical Physics are assumed for the courses in statistical physics. Particularly suited for students with Bachelor of Physics or Applied Science

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Andreas Klümper, Prof. Dr. Peter Mättig

Nachweise zu Theoretical Particle Physics 1

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
Mündliche Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	3	ganzes Modul

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung sind 5 LP aus der unbenoteten Studienleistung aus einer der Komponenten a, b oder c.
English Translation: oral module examination (30 minutes, 3cr), unrestrictedly repeatable. 5 credit points from one of the components a, b or c are required for the registration for the final module exam.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu The Standard Model of Elementary Particle Physics: Übungen	-	5	Modulteil(e) a

Nachweise zu Theoretical Particle Physics 1 (Fortsetzung)

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises to The Standard Model of Elementary Particle Physics (5 cr), required for the registration for the final module exam.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Statistical Field Theory: Übungen	-	5	Modulteil(e) b

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises to Statistical Field Theory (5 cr), required for the registration for the final module exam.

unbenotete Studienleistung

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
zu Many Particle Theory: Übungen	-	5	Modulteil(e) c

Bemerkungen:

Voraussetzung für die Anmeldung zur Modulabschlussprüfung.
English Translation: ungraded exercises to Many Particle Theory (5 cr), required for the registration for the final module exam.

a The Standard Model of Elementary Particle Physics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** ja Fremdmodul:Experimental Particle Physics 1 Verantwortliche(r):Prof. Dr. Peter Mättig		

Inhalte:

Properties and foundations of the Standard Model of elementary particles.
The topics covered in the lecture will be exercised solving concrete problems.

b Statistical Field Theory

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

b Statistical Field Theory (Fortsetzung)

Inhalte:

- Critical Phenomena
- Renormalization Group
- Conformal Invariance
- Conformal Field Theory
- Finite-Size-Scaling
- Two-dimensional Ising-Model
- Non-linear Sigma-Model
- Thermodynamics of exactly solvable Vertex models and Bethe-Ansatz
- Stochastical systems
- Random-Walk and Brownian Motion

c Many Particle Theory

Stellung im Modul:	**Lehrform:**	**Selbststudium:**	**Kontaktzeit:**
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	172,5 h	6 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

- Occupation number representation
- Microscopic electronical models and solid state theory
- Greens function and perturbation theory
- Feynman-diagram techniques
- Applications of perturbation theory in physics
- Linear response theory

TPP2 Theoretical Particle Physics 2

Stellung im Studiengang: Wahlpflicht **Stellung der Note:** 8/120	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester. Das Modul wird jährlich angeboten. Das Modul sollte im 3. Semester begonnen werden.	**Workload:** 8 LP 240 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

The students are prepared for modern research in the field of theoretical particle physics and its computer assisted applications.
The students will understand the basic principles of general relativity as the theoretical foundation of cosmology. They will get familiar with the general structure and contents of the Universe and its evolution from the big bang to the far future and they will understand the concept and observational evidence for the big bang itself. A number of spectacular observations have been made in recent years which have put Cosmology forward to a quantitative science. Solving problems related to the lectures will lead to a consolidation of the achieved competences.
The development of computers is particularly important in Particle Physics applications. The lecture on architectures provides the basic understanding of the functioning of a computer.in and detection of cosmic rays are given.

Voraussetzungen:

No formal pre-requisites.

Bemerkungen:

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

Modulverantwortliche(r):

Prof. Dr. Zoltan Fodor, Prof. Dr. Karl-Heinz Kampert

Nachweise zu Theoretical Particle Physics 2

Modulabschlussprüfung

Art des Nachweises:	**Prüfungsdauer:**	**Nachgewiesene LP:**	**Nachweis für:**
Sammelmappe mit Begutachtung einschließlich mündlicher Prüfung (uneingeschränkt)	30 min. Dauer	8	ganzes Modul

Bemerkungen:

Das Modul hat folgende Wahlmöglichkeiten:
1) Quantum Field Theory in Particle Physics (Übungen, 2 LP; mündliche Prüfung, 6 LP)
oder
2) Architectures (praktische Übung, 2 LP) + Introduction to Cosmology and General Relativity (Übungen, 3 LP; mündliche Prüfung, 3 LP)

English Translation:
Assessment of folder (8 cr), including 30 minutes oral exam, unrestrictedly repeatable.
For the module the following combinations are possible:
1) Quantum Field Theory in Particle Physics (exercises, 2 cr; oral examination, 6 cr)
or
2) Architectures (practical exercise, 2 cr) + Introduction to Cosmology and General Relativity (exercises, 3 cr; oral examination, 3 cr)

a Architectures

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (2 LP)	Vorlesung	48,75 h	1 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

- The computer system
- The memory system
- Input/output handling
- Internal structure and functioning of the CPU
- The control unit
- The instruction set
- Pipeline hazards
- Architectures for parallel computation

b Quantum Field Theory in Particle Physics

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (8 LP)	Vorlesung/ Übung	195 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: SS	**Fremdkomponente:** nein		

Inhalte:

Quantization of scalar, spinor and vector fields; symmetries; regularization and basics of renormalization; Feynman diagrams and calculation of cross-sections; Quantum Electrodynamics.

c Introduction to Cosmology and General Relativity

Stellung im Modul:	Lehrform:	Selbststudium:	Kontaktzeit:
Wahlpflicht (6 LP)	Vorlesung/ Übung	135 h	4 SWS $\times$ 11,25 h
Angebot im: WS	**Fremdkomponente:** nein		

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

Master Thesis

MT Master Thesis

Stellung im Studiengang:		Workload:
Pflicht	Das Modul erstreckt sich über 1 Semester.	
Stellung der Note: 30/120	Das Modul wird semesterweise angeboten.	30 LP
	Das Modul sollte im 4. Semester begonnen werden.	900 h

Lernergebnisse / Kompetenzen:

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.

Voraussetzungen:

Voraussetzung für die Ausgabe des Themas der Abschlussarbeit ist der Nachweis von 70 LP.
English Translation: 70 credit points are required for getting the topic of the master thesis.

Modulverantwortliche(r):

Alle Hochschullehrerinnen und Hochschullehrer der gewählten Spezialisierung

Nachweise zu Master Thesis

Abschlussarbeit

Art des Nachweises:	Prüfungsdauer:	Nachgewiesene LP:	Nachweis für:
(1-mal wiederholbar)	-	30	ganzes Modul

Bemerkungen:

English Translation: master thesis, can be repeated once.