

# Modulhandbuch

## Physik (M. Sc.)

### Sommersemester 2015

KIT Campus Süd - Fakultät für Physik



## Modulhandbuch für den Masterstudiengang Physik

<b>Qualifikationsziele</b> .....	3
<b>Studienplan für den Master-Studiengang Physik</b> .....	6
<b>Übersicht über die einzelnen Module</b> .....	22
<b>Modul: Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten</b> .....	23
<b>Modul: Halbleiterphysik</b> .....	24
<b>Modul: Biophysik II – Biomolekulare Spektroskopie und Dynamik</b> .....	25
<b>Modul: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II</b> .....	26
<b>Modul: Oberflächenphysik</b> .....	27
<b>Modul: Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen</b> .....	28
<b>Modul: Spintransport in Nanostrukturen</b> .....	29
<b>Modul: Nanotechnologie II</b> .....	30
<b>Modul: Astroteilchenphysik II - Teilchen und Sterne</b> .....	31
<b>Modul: Astroteilchenphysik II – Gamma-Strahlung</b> .....	32
<b>Modul: Moderne Methoden der Datenanalyse</b> .....	33
<b>Modul: Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik</b> .....	34
<b>Modul: Teilchenphysik II - W, Z, Top am Collider</b> .....	35
<b>Modul: Teilchenphysik II - Jet-Physik</b> .....	36
<b>Modul: Teilchenphysik II - Higgs-Physik</b> .....	37
<b>Modul: Theoretical Optics</b> .....	38
<b>Modul: Simulation nanoskaliger Systeme</b> .....	39
<b>Modul: Theoretical Nanooptics</b> .....	40
<b>Modul: Theorie der Kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie</b> .....	41
<b>Modul: Symmetrien, Gruppen und erweiterte Eichtheorien</b> .....	42
<b>Modul: Theoretische Teilchenphysik I</b> .....	43
<b>Modul: General Relativity</b> .....	44
<b>Modul: Elektronenoptik</b> .....	45
<b>Modul: Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger</b> .....	46
<b>Modul: Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography</b> .....	47

# Qualifikationsziele

## Das Physikstudium

Das Fach Physik gehört zu den klassischen Naturwissenschaften. Ein Studium der Physik ist zuallererst auf eine wissenschaftliche Tätigkeit als Physiker hin ausgerichtet, die an universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen und in der Industrie durchgeführt wird. In Bezug auf die Wissenschaft stellt das Masterstudium der Physik am KIT unmittelbar den Kontakt zum primären Arbeitsfeld dar. Dies wird im Studium durch fast ausschließlich forschungsbezogene Vorlesungsinhalte zu aktuellen Forschungsthemen, sowie durch die Masterarbeit sichergestellt. Das Berufsfeld für Physiker ist jedoch nicht auf naturwissenschaftliche Forschung beschränkt, sondern Physiker/innen werden in der Gesellschaft breit eingesetzt. Dies ist wohl auf die zentrale Kompetenz zurückzuführen, dass in der Physik Problemstellungen analysiert, modelliert und nach wissenschaftlichen Standards gelöst werden - eine Fähigkeit, die breit einsetzbar ist und die im Vordergrund der Ausbildung steht.

Der Masterstudiengang Physik ist ein konsekutiver Studiengang und baut auf dem Bachelorstudiengang Physik auf.

## Qualifikationsziele des Studienganges

Die Absolventen/innen des Masterstudienganges Physik kennen die fundamentalen wissenschaftlichen Grundlagen der experimentellen und theoretischen Physik und haben im Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Physikalischen Nebenfach auf den aktuellen wissenschaftlichen Stand vertieft. Sie besitzen weiterführende Kenntnisse in einem aus einem Fächerkanon wählbaren Nichtphysikalischen Nebenfach. Sie verfügen über die praktische Fähigkeit, die Konzepte der theoretischen Physik zur Beschreibung von konkreten Problemen der Physik anwenden und die Probleme lösen zu können. Sie können weiterhin moderne Messverfahren inklusive einer statistisch relevanten Fehlerauswertung. Sie haben die Fähigkeit, basierend auf der Empirik, aus gemessenen Daten auf Zusammenhänge zu schließen, Modelle zu formulieren, Vorhersagen abzuleiten, diese konkret zu überprüfen und somit diese zu verifizieren oder zu falsifizieren. Die Absolventen/innen können Kenntnisse der theoretischen und experimentellen Physik auf aktuelle Forschung anwenden und sind in der Lage, technische Probleme unter Anwendung der Methoden des Faches zu analysieren sowie zu lösen. Auf der Grundlage des erworbenen Wissens ordnen sie Sachverhalte und Themengebiete fachgerecht ein. Die Absolventinnen und Absolventen verfügen weiterhin über weiterführende kulturelle Kompetenz in Bezug auf das klare Zusammenfassen wissenschaftlicher Ergebnisse und Forschungsergebnisse in Schrift und Wort und beherrschen didaktisch ansprechende Präsentationstechniken. Der erfolgreiche Abschluss des Studienganges ermöglicht eine Tätigkeit in verschiedenen beruflichen Bereichen (Berufsbezeichnung Physikerin/Physiker), wie der universitären und industriellen Forschung und Entwicklung, der Datenanalyse und Optimierung von Prozessen sowie der Programmierung und Hardwareanwendung.

Zusammen sind die beiden Studiengänge der Physik (Bachelor+Master) gleichwertig mit dem Diplomstudiengang. Die Definition der allgemeinen Qualifikationsziele auf Studiengangebene des Masters in Physik wird in der „Konferenz der Fachbereiche Physik“ deutschlandweit und mit Rücksicht auf die internationale Lehr- und Forschungslandschaft koordiniert, um einen Wechsel während des Studiums innerhalb Deutschlands zu ermöglichen und ein international definiertes Berufsfeld zu sichern.

Am KIT wird besonderer Wert auf eine forschungsnahe Lehre gelegt. Im Masterbereich haben die Studierenden eine in Deutschland einmalig große Wahlmöglichkeit, sich nach Ihren Interessen zu

spezialisieren und engen Kontakt zur Forschung im Hochschulbereich sowie im Großforschungsbereich zu gelangen.

### **Qualifikationsziele der einzelnen Fächer**

Der konsekutive Master-Studiengang Physik hat – unter Beibehaltung einer großen fachlichen Breite – einen stark vertiefenden und profilbildenden Charakter. Dies wird durch vielfältige Wahlmöglichkeiten im Bereich der physikalischen Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfächer ermöglicht. Diese Wahlmöglichkeiten setzen eine solide Grundausbildung im Rahmen eines Bachelor-Studiengangs voraus. Von zentraler Bedeutung ist auch die Masterarbeit, die durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet wird. Das Master-Studium kann weitgehend nach individuellen Neigungen und Fähigkeiten ausgerichtet werden.

#### **Physikalisches Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach**

In den Physikalischen Fächern bietet die Fakultät eine Auswahl von sieben physikalischen Themenfeldern an, welche die Forschungsaktivitäten der Fakultät widerspiegeln. Die Themenfelder sind gegliedert in den Bereich der experimentellen Physik (Bereich A): Kondensierte Materie, Nano-Physik, Optik und Photonik, Teilchenphysik und Astroteilchenphysik (EKP), und aus dem Bereich der theoretischen Physik (Bereich B): Theoretische Teilchenphysik sowie Theorie der Kondensierten Materie. Aus jeweils einem dieser Themenfelder werden das physikalische Schwerpunktfach im Umfang von 20 ECTS-Punkten, das physikalische Ergänzungsfach mit 14 ECTS-Punkten und das Nebenfach mit 8 ECTS-Punkten zusammengestellt. Mindestens ein Fach muss aus dem Bereich der theoretischen Physik bzw. aus dem Bereich der experimentellen Physik stammen. Ergänzungsfach oder Nebenfach können auch aus geeigneten Veranstaltungen der Geophysik oder der Meteorologie gewählt werden (Bereich C). Im Physikalischen Schwerpunktfach erlangen die Studierende breite Kenntnis des aktuellen Forschungsstandes eines Forschungsfelds der Wissenschaft. Sie erlernen notwendige Techniken (experimentelle und/oder theoretische), die z.B. in Übungen, Praktika oder Tutorien geübt werden. Im Ergänzungsfach wird das Spezialwissen aus dem Schwerpunktfach komplementär ergänzt. Dies sichert den Erwerb von Fachkompetenzen aus der Breite der Physik. Im Physikalischen Nebenfach werden Kompetenzen aus einzelnen Modulen erlernt, die auf Modulebene definiert sind.

#### **Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach**

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach mathematischer, naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung (8 ECTS-Punkte) kann aus den Veranstaltungen anderer Fakultäten gewählt werden. Hier werden fachliche Kompetenzen aus benachbarten Disziplinen erlernt, auch um vielfältige Möglichkeiten auf dem Arbeitsmarkt zu eröffnen.

#### **Fortgeschrittenenpraktikum**

Im Fortgeschrittenenpraktikum werden moderne experimentelle Methoden und Techniken erlernt. Die Studierenden beherrschen fortgeschrittene Fähigkeiten bei Versuchsaufbau, Messung und Auswertung

#### **Additive Schlüsselqualifikationen/Softskills**

In den additiven Schlüsselqualifikationen im Umfang von 4 ECTS-Punkten werden Kompetenzen jenseits der fachlichen erworben. Module in den Bereichen Wissenschaftliches Englisch, Patentrecht, Projektmanagement, Tutorenprogramme, Wissenschaftliches Schreiben oder

Wissenschaft in der Öffentlichkeit werden durch das HoC regelmäßig angeboten.

## Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und Spezialisierungsphase

Die Masterarbeit wird im dritten Mastersemester durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. In beiden Fächern werden fundierte Grundlagen und Schlüsselqualifikationen des „Wie treibt man Forschung“ Erlern. Im Fach „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ erlernen die Studentinnen und Studenten grundlegende Arbeitsmethoden, die für erfolgreiche wissenschaftliche Forschung erforderlich sind. Die Arbeitsmethoden selbst sind dabei unabhängig vom jeweiligen Spezialgebiet, werden aber anhand einer konkreten Aufgabenstellung (Thema der Masterarbeit) geübt und erlernt. Die Studierenden werden dabei vom zukünftigen Betreuer der Masterarbeit angeleitet. Außerdem besuchen die Studierenden begleitend zu Ihrem Studium Seminare und Kolloquien aus dem Angebot der Physik und verschaffen sich so einen Überblick über aktuelle Forschungsthemen. Dabei lernen sie auch, Fachvorträge zu Spezialthemen zu hören, die nicht ihrem Spezialisierungsgebiet angehören, und durch geeignete Fragen an den Vortragenden ihre Kenntnisse zu erweitern.

Im Fach „Spezialisierungsphase“ bearbeitet der Student oder die Studentin selbstständig eine konkrete Aufgabenstellung, die im Zusammenhang mit der zukünftigen Masterarbeit steht. Dies kann z.B. die Durchführung von Messungen oder die Erstellung eines Programms oder die Entwicklung eines theoretischen Ansatzes sein. Auf diese Weise erlernen die Studierenden wesentliche Arbeitstechniken für die Bearbeitung ihrer Masterarbeit, die spezifisch für das jeweilige Spezialisierungsgebiet sind. Die Studierenden werden auch dabei vom zukünftigen Betreuer der Masterarbeit angeleitet. Begleitend besuchen die Studierenden das Seminar des Forschungsbereichs, in dem sie ihre Masterarbeit anfertigen werden. Hier können sie auch die von ihnen durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse zur kritischen Diskussion stellen. Sie lernen dabei, ihre eigenen Arbeiten vor Dritten zu präsentieren und Anregungen aus der wissenschaftlichen Diskussion für die weitere Vorgehensweise aufzunehmen.

## Masterarbeit

Die Masterarbeit ist neben dem Schwerpunkt-, dem Ergänzungs- und dem Nebenfach zentraler Bestandteil der Profilbildung und Vertiefung. Im Rahmen einer Masterarbeit erwirbt der bzw. die Studierende, die Fähigkeit ein wissenschaftliches Problem selbstständig zu analysieren, geeignete Lösungen zu entwickeln, die Ergebnisse zu interpretieren und das Ganze mittels einer Niederschrift entsprechend darzustellen. Die Masterarbeit wird durch die Spezialisierungsphase und die Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet.

## Leistungspunkte-System

Die Leistungspunkte werden auf Modulebene einzeln definiert. Dabei entspricht einem ECTS- oder Leistungspunkt ca. 30 Stunden (a 45 Minuten) Zeitaufwand. Der Zeitaufwand ist im einzelnen aufgeschlüsselt nach reiner Präsenzzeit, Vor- und Nachbereitungszeit für Vorlesungen, Übungen und Tutorien sowie Vorbereitung auf die Prüfungen.

# Studienplan für den Master-Studiengang Physik

Stand: 15. April 2015 ([www.physik.kit.edu/studium](http://www.physik.kit.edu/studium))

## 1. Einleitung

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hat sich im Rahmen der Umsetzung des Bologna-Prozesses zum Aufbau eines Europäischen Hochschulraumes zum Ziel gesetzt, dass am Abschluss der Studierendenausbildung am KIT in der Regel der Mastergrad steht. Die am KIT angebotenen konsekutiven Bachelor- und Masterstudiengänge werden daher als Gesamtkonzept mit konsekutivem Curriculum angesehen.

Der konsekutive Master-Studiengang Physik hat – unter Beibehaltung einer großen fachlichen Breite – einen stark vertiefenden und profilbildenden Charakter. Dies wird durch vielfältige Wahlmöglichkeiten im Bereich der physikalischen Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfächer ermöglicht. Diese Wahlmöglichkeiten setzen eine solide Grundausbildung im Rahmen eines Bachelor-Studiengangs voraus und fehlende Grundlagen können nur in freiwilligen Zusatzstudien erworben werden. Demzufolge haben sich die Studiendekane des Landes Baden-Württemberg auf Anforderungen für Inhalt und Umfang eines Bachelor-Studiengangs Physik geeinigt und die Fakultät für Physik hat eine entsprechende Zugangssatzung erlassen. Von zentraler Bedeutung ist auch die Masterarbeit, die durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet wird.

Das Curriculum wird ergänzt durch ein nichtphysikalisches Wahlpflichtfach mathematischer, natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung. Schlüsselqualifikationen werden erworben in integrativer Weise u. a. durch die Module Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum und die Masterarbeit (Recherche, geplantes, zielführendes Arbeiten, Messtechnik, Protokollführung, Teamarbeit und Teamverantwortung). Additive Schlüsselqualifikationen im Umfang von 4 ECTS-Punkten<sup>1</sup> werden im Rahmen des Angebotes des HoC<sup>2</sup> des KIT erworben.

Die Studien- und Prüfungsordnung des Master-Studienganges Physik (SPO MA Physik) sieht zum erfolgreichen Abschluss des Studiums den Erwerb von 120 ECTS vor. Zur Qualitätssicherung dient eine obligatorische Masterarbeit, mit einer Bearbeitungszeit von 6 Monaten; sie wird mit 30 ECTS-Punkten bewertet. Die Regelstudienzeit beträgt vier Semester einschließlich der Masterarbeit.

Als akademischer Grad wird nach der bestandenen Masterprüfung ein „Master of Science (M. Sc.)“ durch das Karlsruher Institut für Technologie verliehen.

Im Folgenden wird ein Überblick über den Ablauf des Master-Studienganges Physik gegeben. Die expliziten Durchführungsregelungen des Studienganges und der Prüfungen finden sich in der Studien- und Prüfungsordnung für den Master-Studiengang Physik vom 1.10.2008 und der Änderungssatzung vom 21.4.2011 (siehe Amtliche Bekanntmachungen der Universität Karlsruhe (TH) vom 10. 9. 2008 und des KIT vom 21.4.2011; die Dokumente können über die Internetseite der Fakultät für Physik eingesehen werden). Bei Fragen zur Prüfungsordnung, zu Anerkennungen von Leistungen, zum Studieninhalt, oder zur Zulassung und Anmeldung von Prüfungen finden Sie auf dem Informationsblatt „Wer ist zuständig in Fragen zum Studium und in

<sup>1</sup> ECTS: European Credit Transfer System

<sup>2</sup> HoC: House of Competence

Prüfungsangelegenheiten“ (siehe schwarzes Brett oder Internetseite der Fakultät) den jeweiligen Ansprechpartner. Die detaillierten Beschreibungen der Lehrveranstaltungen und die jeweiligen Regeln der Leistungsüberprüfung finden Sie im Modulhandbuch (siehe Internetseite der Fakultät).

## **2. Lehrveranstaltungen**

Der angehängte tabellarische Studienplan gibt eine Übersicht über den Ablauf des Studiums.

### **a) Physikalisches Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach**

Im Zentrum des Master-Studiums stehen eine Vertiefung und Spezialisierung der in einem Bachelor-Studium erworbenen Grundkenntnisse und Methoden bei gleichzeitiger Wahrung der fachlichen Breite. Das Master-Studium kann weitgehend nach individuellen Neigungen und Fähigkeiten ausgerichtet werden. Dazu bietet die Fakultät eine Auswahl von sieben physikalischen Themenfeldern an, welche die Forschungsaktivitäten der Fakultät widerspiegeln. Die für die entsprechenden Veranstaltungen hauptsächlich verantwortlichen Institute werden im Folgenden in Klammern aufgeführt. Über aktuelle Forschungsschwerpunkte informieren die Internetseiten der einzelnen Institute.

Die Themenfelder sind gegliedert in den Bereich der experimentellen Physik (Bereich A): Kondensierte Materie (PI, AP), Nano-Physik (PI, AP, TKM, TFP, CFN), Optik und Photonik (AP, TFP), Teilchenphysik (EKP) und Astroteilchenphysik (EKP), und aus dem Bereich der theoretischen Physik (Bereich B): Theoretische Teilchenphysik (TTP, TP) sowie Theorie der Kondensierten Materie (TKM, TFP). Aus jeweils einem dieser Themenfelder werden das physikalische Schwerpunktfach im Umfang von 20 ECTS-Punkten, das physikalische Ergänzungsfach mit 14 ECTS-Punkten und das Nebenfach mit 8 ECTS-Punkten zusammengestellt. Mindestens ein Fach muss aus dem Bereich der theoretischen Physik bzw. aus dem Bereich der experimentellen Physik stammen. Ergänzungsfach oder Nebenfach können auch aus geeigneten Veranstaltungen der Geophysik oder der Meteorologie gewählt werden (Bereich C).

Die Fachnoten werden wie folgt gebildet: Nachdem in den entsprechenden Modulen die zugehörigen ECTS-Punkte durch die vereinbarten Erfolgskontrollen erworben worden sind, erfolgt im Fall des Schwerpunktfachs eine mündliche Einzelprüfung, bei der die Fachnote festgelegt wird. Im Fall des Ergänzungsfachs kann die Note mit Hilfe der Erfolgskontrollen oder in mündlichen Prüfungen ermittelt werden. Hierbei sind auch Gruppenprüfungen möglich. Bei dem physikalischen Nebenfach erfolgt keine Benotung. Als Erfolgskontrollen geeignet sind z.B. erfolgreiche Beteiligung an vorlesungsbegleitenden Übungen, kurze Vorträge (vorlesungsbegleitend oder blockartig am Ende des Semesters), kurze schriftliche Ausarbeitungen begrenzter Themen, Klausuren.

Der Prüfungsausschuss veröffentlicht eine Liste von pauschal zur Verwendung als Schwerpunkts-, Ergänzungs- oder Nebenfach genehmigten Modulen innerhalb der jeweiligen Fächer. Hiervon abweichende Module können auf Antrag vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden.

Die Vorlesungen werden im experimentellen Bereich durch ein Praktikum in moderner Physik ergänzt.

### **b) Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach**

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach mathematischer, naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung (8 ECTS-Punkte) kann aus den Veranstaltungen anderer Fakultäten gewählt werden. Der Prüfungsausschuss veröffentlicht eine entsprechende Liste von

pauschal genehmigten Modulen. Hiervon abweichende Module müssen vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden. Die Prüfung im nichtphysikalischen Wahlpflichtfach wird in der Regel mündlich durchgeführt.

### **c) Additive Schlüsselqualifikationen/Softskills**

Neben den integrativen Schlüsselqualifikationen (SQ) müssen additive SQ im Umfang von 4 ECTS-Punkten erworben werden. Die entsprechenden Module in den Bereichen Wissenschaftliches Englisch, Patentrecht, Projektmanagement, Tutorenprogramme, Wissenschaftliches Schreiben oder Wissenschaft in der Öffentlichkeit werden durch das HoC angeboten. Derzeit werden alle vom HoC angebotenen Veranstaltungen als additive Schlüsselqualifikationen genehmigt. Hiervon abweichende Module müssen vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden.

### **d) Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und Spezialisierungsphase**

Die Masterarbeit wird im dritten Mastersemester durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. In beiden Fächern werden fundierte Grundlagen und (in integrativer Form) Schlüsselqualifikationen des „Wie treibt man Forschung“ vermittelt.

Im Fach „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ erlernen die Studentinnen und Studenten grundlegende Arbeitsmethoden, die für erfolgreiche wissenschaftliche Forschung erforderlich sind. Die Arbeitsmethoden selbst sind dabei unabhängig vom jeweiligen Spezialgebiet, werden aber anhand einer konkreten Aufgabenstellung (Thema der Masterarbeit) geübt und erlernt. Die Studierenden werden dabei vom zukünftigen Betreuer der Masterarbeit angeleitet. Außerdem besuchen die Studierenden begleitend zu Ihrem Studium Seminare und Kolloquien aus dem Angebot der Physik und verschaffen sich so einen Überblick über aktuelle Forschungsthemen. Dabei lernen sie auch, Fachvorträge zu Spezialthemen zu hören, die nicht ihrem Spezialisierungsgebiet angehören, und durch geeignete Fragen an den Vortragenden ihre Kenntnisse zu erweitern.

Im Fach „Spezialisierungsphase“ bearbeitet der Student oder die Studentin selbstständig eine konkrete Aufgabenstellung, die im Zusammenhang mit der zukünftigen Masterarbeit steht. Dies kann z.B. die Durchführung von Messungen oder die Erstellung eines Programms oder die Entwicklung eines theoretischen Ansatzes sein. Auf diese Weise erlernen die Studierenden wesentliche Arbeitstechniken für die Bearbeitung ihrer Masterarbeit, die spezifisch für das jeweilige Spezialisierungsgebiet sind. Die Studierenden werden auch dabei vom zukünftigen Betreuer der Masterarbeit angeleitet. Begleitend besuchen die Studierenden das Seminar des Forschungsbereichs, in dem sie ihre Masterarbeit anfertigen werden. Hier können sie auch die von ihnen durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse zur kritischen Diskussion stellen. Sie lernen dabei, ihre eigenen Arbeiten vor Dritten zu präsentieren und Anregungen aus der wissenschaftlichen Diskussion für die weitere Vorgehensweise aufzunehmen.

### **e) Masterarbeit**

Die Masterarbeit (Umfang 30 ECTS-Punkte) ist neben dem Schwerpunkt-, dem Ergänzungs- und dem Nebenfach zentraler Bestandteil der Profilbildung und Vertiefung. Im Rahmen einer Masterarbeit demonstriert der bzw. die Studierende, dass er oder sie ein wissenschaftliches Problem selbstständig analysieren, geeignete Lösungen entwickeln, die Ergebnisse interpretieren und das Ganze mittels einer Niederschrift entsprechend darstellen kann.



Die Masterarbeit wird durch die Spezialisierungsphase und die Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. Eine Masterarbeit darf nur von Prüfern nach §14(2) der SPO MA Physik vergeben werden unter Beachtung von §11(7) in der Fassung der Änderungssatzung vom 21.4.2011.

Die Anmeldung zur Spezialisierungsphase, zur Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und zur Masterarbeit erfolgt im Prüfungssekretariat (Physikhochhaus Zimmer 9/13).

### **3. Anmeldung zu Leistungsüberprüfungen und Fachprüfungen**

Zentrale online-Anmeldungen sind derzeit nicht möglich.

Elektronische Anmeldungen zum Besuch der Veranstaltungen sind nicht erforderlich.

Die erfolgreiche Teilnahme wird über Bescheinigungen bestätigt, die der Dozent ausstellt („Erfolgskontrollen anderer Art“).

Kontrolle und Prüfungsanmeldungen werden im Prüfungssekretariat der Fakultät erfolgen.

### **4. Notenbildung**

Die Gesamtnote der Masterprüfung errechnet sich aus einem mit Leistungspunkten gewichteten Notendurchschnitt des Schwerpunktfaches, des physikalischen Ergänzungsfaches, des nichtphysikalischen Wahlpflichtfachs und der Masterarbeit.

### **5. Organisation der Fächer**

Schwerpunktfach (SF)	20 ECTS
Ergänzungsfach (EF)	14 ECTS
Nebenfach (NF)	8 ECTS
Nichtphys. Wahlpflichtfach (WPF)	8 ECTS

Das Schwerpunktfach (SF), das Ergänzungsfach (EF) sowie das Nebenfach (NF) werden aus den Veranstaltungen der Fakultät für Physik zusammengestellt. Es gibt einige wenige Ausnahmen, die in der nachstehenden Liste mit *extern* gekennzeichnet sind.

Grundsätzlich gilt, dass die Studierenden sich erst im Laufe oder nach Abschluss des zweiten Semesters für die Aufteilung der besuchten Veranstaltungen in SF, EF und NF entscheiden müssen. Es müssen aber die nachfolgend aufgeführten, allgemeingültigen Regeln beachtet werden.

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach (WPF) mathematischer, natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung wird aus Veranstaltungen anderer Fakultäten

zusammengestellt. Hierzu wird vom Prüfungsausschuss der Fakultät eine Positivliste erstellt. D.h. es gibt Veranstaltungen bzw. bewährte Kombinationen von Veranstaltungen, die empfohlen werden und bereits genehmigt sind. Studierende können andere Veranstaltungen bzw. Kombinationen als WPF beantragen, die dann im Prüfungsausschuss diskutiert und ggf. genehmigt werden.

## **Schwerpunktfächer (SF)**

Themenfelder Bereich A: Experimentelle Physik

- Kondensierte Materie
- Nanophysik
- Optik und Photonik
  - Experimentelle Teilchenphysik
  - Experimentelle Astroteilchenphysik

Themenfelder Bereich B: Theoretische Physik

- Theoretische Teilchenphysik
- Theorie der Kondensierten Materie

Bei den Schwerpunktfächern gibt es Veranstaltungen, die verpflichtend sind. Diese Pflichtveranstaltungen können dann durch die anderen für dieses Schwerpunktfach aufgeführten Veranstaltungen ergänzt werden.

## **Ergänzungsfächer (EF)**

Ergänzungsfächer setzen sich aus Teilen der Themenfelder zusammen. Beispiele sind Halbleiterphysik und -optik, Experimentelle Teilchenphysik und Datenanalyse, Theoretische Teilchenphysik I und Supersymmetrie etc. Bei den Ergänzungsfächern kann es verpflichtende Veranstaltungen geben.

## **Nebenfach (NF)**

Das Nebenfach besteht in der Regel aus einzelnen Veranstaltungen aus einem der Themenbereiche, z. B. Halbleiterphysik, Teilchenphysik I, Theoretische Teilchenphysik I etc.

## **Allgemeingültige Regeln für die Auswahl der Fächer und Modulkombinationen:**

Maximal zwei Prüfer aus einem Institut

Die Prüfer im SF, EF, NF und nichtphysikalischen Wahlpflichtfach müssen verschieden sein.

Mindestens ein Fach muss aus dem Bereich der Theoretischen Physik bzw. aus der Experimentellen Physik stammen. Falls nur ein einziges experimentelles Themenfeld gewählt wurde, ist es nicht möglich, die notwendigen ECTS-punkte durch die in diesem Themenfeld gelisteten Theorie-Vorlesungen zu erwerben.

Berechnung der ECTS-Punkte:

1 SWS Vorlesung = 2 ECTS, 1 SWS Übung = 2 ECTS, Ausnahmen sind Übungen mit Praktikums-Charakter.

Seminare sind nicht vorgesehen (aber Vorträge innerhalb der Übungen sind möglich).

Aus anderen Fakultäten stammende und stark physiknahe Vorlesungen (z.B. Nichtlineare Optik) können nach Genehmigung durch den Prüfungsausschuss zu einem Fach kombiniert werden.

Geophysik oder Meteorologie können als EF oder NF (festgelegte Veranstaltungen) gewählt werden. Leistungen, die im Bachelor-Studium als Teil des nichtphysikalischen Wahlpflichtfaches erbracht worden sind, können nicht ein weiteres Mal im Master-Studium verwendet werden.

Für das nichtphysikalische Wahlpflichtfach (WPF) wird eine Positivliste erarbeitet und alle anderen Veranstaltungen sind zustimmungspflichtig.

Die Note im nichtphysikalischen Wahlpflichtfach wird in der Regel in einer mündlichen Prüfung ermittelt.

## Bereich A: Experimentelle Physik

### Kondensierte Materie

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I (mit/ohne Übungen) <i>Electronic properties of solids I (with/without Exercises)</i>	WS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II (mit/ohne Übungen) <i>Electronic properties of solids II (with/without Exercises)</i>	SS	v2u1/v2u0	6/4
Halbleiterphysik <i>Physics of semiconductors</i>	SS	v4u1	10
Elektronenmikroskopie I <i>Electron microscopy I</i>	WS	v2u2	8
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of solid state surfaces (with/without Exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Solid-State Optics	WS	v4u1	10
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Quantum information processing with solid-state devices		v2u1	6
Introduction into quantum optics and quantum communication		v3u1	8
Kristallographische Grundlagen der Festkörperphysik <i>Fundamentals of solid state crystallography</i>	WS	v2u1	6
Kristallstrukturbestimmung <i>Determination of crystal structures</i>		v2u1	6
Materialphysik (mit/ohne Übungen) <i>Material physics (with/without Exercises)</i>		v3u1/v3u0	8/6
Experimentelle Methoden der Halbleiterphysik <i>Experimental methods in semiconductor physics</i>	SS	v3	6
Supraleiter-Nanostrukturen <i>Superconducting nanostructures</i>		v2u1	6
Magnetische Resonanz <i>Magnetic resonance</i>		v2	4
Elektronenmikroskopie II <i>Electron microscopy II</i>		v2u2	8
Pulverdiffraktometrie <i>Powder diffraction</i>		v2u1	6
Beschleunigerphysik II: Synchrotronstrahlungsquellen <i>Physics of accelerators II: Sources of synchrotron radiation</i>	WS	v2u1	6
Modern X-ray Physics II: Characterisation of structure and dynamics of solids	WS	v2u2	8
Phasenübergänge – Konzepte und Experimente <i>Phase Transitions - Concepts and Experiments</i>		v2	4

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I  
ODER
- Halbleiterphysik

<b>Nanophysik</b>			
<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Nanotechnologie I <i>Nanotechnology I</i>	WS	v2	4
Nanotechnologie II <i>Nanotechnology II</i>	SS	v2	4
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I (mit/ohne Übungen) <i>Electronic properties of solids I (with/without Exercises)</i>	WS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II (mit/ohne Übungen) <i>Electronic properties of solids II (with/without Exercises)</i>	SS	v2u1/v2u0	6/4
Halbleiterphysik <i>Physics of semiconductors</i>	SS	v4u1	10
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of solid state surfaces (with/without Exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronenmikroskopie I <i>Electron microscopy I</i>	WS	v2u2	8
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Advanced Optical Materials	WS	v3u1	8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Experimentelle Biophysik I <i>Experimental Biophysics I</i>		v4u2	12
Experimentelle Biophysik II <i>Experimental Biophysics II</i>		v4u2	12
Elektronenmikroskopie II <i>Electron microscopy II</i>		v2u2	8
Elektronenoptik <i>Electron optics</i>		v2u1	6
Modern X-ray Physics I: Characterisation of thin films and nanostructures	SS	v2u2	8
Modern X-ray Physics II: Characterisation of structure and dynamics of solids	WS	v2u2	8
Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen <i>Electronic properties of nanostructures</i>		v3u1	8
Supraleiter-Nanostrukturen <i>Superconducting nanostructures</i>		v2u1	6
Theorie des Quantentransports in Nanostrukturen <i>Theory of quantum transport in nanostructures</i>		v3u1	8T
Physik der Quanteninformation <i>Theory of quantum information</i>		v3u1	8T
Simulation nanoskaliger Systeme <i>Simulation of Nanoscale Systems</i>		v2u1	6T
Theoretische molekulare Biophysik <i>Theoretical molecular Biophysics</i>		v2u1	6T
Biophysik II – Biomolekulare Spektroskopie und Dynamik <i>Biophysics II - Biomolecular Spectroscopy and Dynamics</i>		v4u2	12T
Exploring biomolecular interactions by single-molecule fluorescence		v2	4
Lichtoptische Mikroskopie und Nanoskopie		v2	4

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Nanotechnologie I und II  
UND
- Eine der Veranstaltungen: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I, Halbleiterphysik, Oberflächenphysik, Experimentelle Biophysik I oder II

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das EF:

- Nanotechnologie I und II

T: Theorievorlesungen, nicht geeignet, wenn „Nanophysik“ das einzige experimentelle Fach ist

## Optik und Photonik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Solid-State Optics	WS	v4u1	10
Advanced Optical Materials	WS	v3u1	8
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Theoretical Optics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Theoretical Nanooptics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Numerical Methods in Photonics (Theorie)	WS	v2u2	8T
Molecular Spectroscopy ( <i>extern</i> )	WS	v2u1	6
Nonlinear Optics ( <i>extern</i> )	SS	v2u1	6
Photovoltaik ( <i>extern</i> ) <i>Photovoltaics</i>	WS+SS	v3	6
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Modern X-ray Physics I: Characterisation of thin films and nanostructures	SS	v2u2	8
Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography	WS	v2u2	8
Experimentelle Biophysik I <i>Experimental Biophysics I</i>		v4u2	12
Experimentelle Biophysik II <i>Experimental Biophysics II</i>		v4u2	12
Exploring biomolecular interactions by single-molecule fluorescence		v2	4
Lichtoptische Mikroskopie und Nanoskopie <i>Light Optical Microscopy and Nanoscopy</i>		v2	4
Biophysik II – Biomolekulare Spektroskopie und Dynamik <i>Biophysics II - Biomolecular Spectroscopy and dynamics</i>		v4u2	12
Introduction into Quantum Optics and Quantum Communication		v3u1	8

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Solid-State Optics  
UND
- Theoretical Optics

Einschränkungen für das EF:

- maximal eine Veranstaltung aus dem Bereich „weitere Veranstaltungen“
- maximal eine Veranstaltung aus dem externen Angebot

T: Theorievorlesungen, nicht geeignet, wenn „Optik und Photonik“ das einzige experimentelle Fach ist

## Experimentelle Teilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Teilchenphysik I <i>Particle Physics I</i>	WS	v3p2	8
Teilchenphysik II: (s.u.) <i>Particle Physics II</i>	SS	v2u1	6
Moderne Methoden der Datenanalyse (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Modern Methods of Data Analysis (without/with ext. Exercises)</i>	SS	v2p2/4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	12
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. Exercises)</i>	SS	v2u1/2	6/8
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik A <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics A</i>	SS	v2u2	8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. Exercises)</i>	WS	v2u1/2	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Teilchenphysik II – Supersymmetrie <i>Particle Physics II - Supersymmetry</i>		v2u1	6
Teilchenphysik II – Flavour-Physik <i>Particle Physics II – Flavour Physics</i>		v2u1	6
Teilchenphysik II – W, Z, Top am Collider <i>Particle Physics II – W, Z, Top at Colliders</i>		v2u1	6
Teilchenphysik II – Jet-Physik <i>Particle Physics II – Jet Physics</i>		v2u1	6
Teilchenphysik II – Higgs-Physik <i>Particle Physics II – Higgs Physics</i>		v2u1	6
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik B <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics B</i>		v2u1	6

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:  
Teilchenphysik I und eine Veranstaltung Teilchenphysik II

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:  
Teilchenphysik I

## Experimentelle Astroteilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	SWS	ECTS
Astroteilchenphysik I <i>Astroparticle Physics I</i>	WS	v2u2	8
Astroteilchenphysik II – (s.u.) <i>Astroparticle Physics II</i>	SS	v2u1	6
Einführung in die Kosmologie <i>Introduction to Cosmology</i>	WS	v2u1	6
Moderne Methoden der Datenanalyse (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Modern Methods of Data Analysis (without/with ext. Exercises)</i>	SS	v2p2/4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	12
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik A <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics A</i>	SS	v2u2	8
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. Exercises)</i>	SS	v2u1/2	6/8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. Exercises)</i>	WS	v2u1/2	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Astroteilchenphysik II: Dunkle Materie und Gravitationswellen <i>Astroparticle Physics II: Dark Matter and Gravitational Waves</i>	SS	v2u1	6
Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung <i>Astroparticle Physics II: Cosmic Rays</i>	WS	v2u1	6
Astroteilchenphysik II: Gamma-Strahlung <i>Astroparticle Physics II: Gamma Rays</i>	SS	v2u1	6
Astroteilchenphysik II: Teilchen und Sterne <i>Astroparticle Physics II: Particles and Stars</i>		v2u1	6
Hochenergie-Astrophysik I <i>High-Energy Astrophysics I</i>		v2u1	6
Hochenergie-Astrophysik II <i>High-Energy Astrophysics II</i>		v2u1	6
Neutrino-Physik <i>Neutrino Physics</i>		v2u1	6
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik B <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics B</i>		v2u1	6

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:  
Astroteilchenphysik I und II

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:  
Astroteilchenphysik I oder Kosmologie



## B Bereich Theoretische Physik

### Theoretische Teilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen und Vertiefungen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals and Advanced Topics (with/without Exercises)</i>	SS	v4u2/0	12/8
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals (with/without Exercises)</i>	SS	v3u1/0	8/6
Theoretische Teilchenphysik II, Grundlagen und Vertiefungen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics II, Fundamentals and Advanced Topics (with/without Exercises)</i>	SS	v4u2/0	12/8
Theoretische Teilchenphysik II, Grundlagen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics II, Fundamentals (with/without Exercises)</i>	SS	v3u1/0	8/6
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Einführung in die Flavourphysik <i>Introduction to Flavor Physics</i>		v3u2	10
Physik jenseits des Standardmodells <i>Physics beyond the Standard Model</i>		v4u2	12
QCD und Colliderphysik <i>QCD and Collider Physics</i>		v3u2	10
Supersymmetrie an Collidern <i>Supersymmetry at Colliders</i>		v2	4
Computational Physics		v2u2	8
Symmetrien, Gruppen und erweiterte Eichtheorien <i>Symmetries, Groups and extended Gauge Theories</i>		v4u2	12
Pfadintegrale, Renormierungsgruppen und vereinheitlichte Theorien <i>Path Integrals, Renormalization Group and Unified Theories</i>		v3u2	10
Pfadintegrale und QCD <i>Path Integrals and QCD</i>		v2u1	6
Higgs-Phänomenologie <i>Higgs Phenomenology</i>		v2	4
Allgemeine Relativitätstheorie und Kosmologie <i>General Relativity and Cosmology</i>		v3u2	10
Gravitation und Kosmologie 1 A/B <i>Gravitation and Cosmology 1 A/B</i>		v3u2/v2u2	10/8
Gravitation und Kosmologie 2 A/B <i>Gravitation and Cosmology 2 A/B</i>		v3u2/v2u2	10/8

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:  
Theoretische Teilchenphysik I

## Theorie der Kondensierten Materie

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	SWS	ECTS
Theorie der kondensierten Materie I, Grundlagen und Vertiefungen <i>Condensed Matter Theory I, Fundamentals and Advanced Topics</i>	WS	v4u2	12
Theorie der kondensierten Materie I, Grundlagen <i>Condensed Matter Theory I, Fundamentals</i>	WS	v3u1	8
Theorie der kondensierten Materie II, Grundlagen und Vertiefungen <i>Condensed Matter Theory II, Fundamentals and Advanced Topics</i>	SS	v4u2	12
Theorie der kondensierten Materie II, Grundlagen <i>Condensed Matter Theory II, Fundamentals</i>	SS	v3u1	8
Theorie der Kondensierten Materie IIa: (s.u.) <i>Condensed matter theory IIa:</i>	SS/WS	v3u1	8
<b>TKM IIa (mind. eine wird regelmäßig angeboten)</b>			
Theorie des Quantentransports in Nanostrukturen <i>Theory of quantum transport in nanostructures</i>		v3u1	8
Physik der Quanteninformation <i>Theory of quantum information</i>		v3u1	8
Theorie der Supraleitung <i>Theory of superconductivity</i>		v3u1	8
Theorie des Magnetismus <i>Theory of magnetism</i>		v3u1	8
Festkörpertheorie mit computergestützten (ohne/mit Übungen) <i>Computational Condensed Matter Theory (without/with Exercises)</i>		v3u1/0	8/6
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Feldtheorien der kondensierten Materie (ohne/mit Übungen) <i>Field theories of condensed matter (without/with Exercises)</i>		v2u0/1	4/6
Theoretische molekulare Biophysik <i>Theoretical molecular biophysics</i>		v2u1	6
Theorie der stark korrelierten Materialien <i>Theory of strongly correlated materials</i>		v2	4
Festkörperbasierte Optik und Photonik <i>Solid-state based optics and photonics</i>		v2u1	6
Quantum Physics in One Dimension		v2	4
Simulation nanoskaliger Systeme		v2u1	6
Dichtefunktionaltheorie: Grundlagen und Anwendungen <i>Density Function Theory: Fundamentals and Applications</i>		v2u1	6
<b>Theoretical Optics</b>	SS	v2u1	6
<b>Theoretical Nanooptics</b>	SS	v2u1	6

\*Semester, in dem die Veranstaltung in der Regel angeboten wird.

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Theorie der Kondensierten Materie I

**C Veranstaltungen der Geophysik und Meteorologie**  
**Geeignet für das physikalische Ergänzungs- oder Nebenfach**  
**Geophysik**

Die folgenden Lehrveranstaltungen sind Bestandteil des Masterstudiengangs Geophysik und werden ab dem WS 2011/12 im jährlichen Turnus angeboten:

<b>Veranstaltungen</b>		<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Physik seismischer Messinstrumente <i>Physics of seismic instruments</i>	WS	v2u1	6
Seismologische Signalverarbeitung <i>Seismological signal processing</i>	WS	u2	4
Array Processing	WS	v1u1	4
Reflexionsseismisches Processing <i>Seismic imaging</i>	WS	v2u2	8
Geological Hazards and Risks	WS	v2u1	6
Theorie seismischer Wellen <i>Theory of seismic waves</i>	SS	v2u1	6
Ingenieurgeophysik <i>Engineering geophysics</i>	SS	v1u1	4
Inversion und Tomographie <i>Inversion and Tomography</i>	SS	v2u2	8

Die folgenden Lehrveranstaltungen sind Bestandteil des Wahlbereichs des Masterstudiengangs Geophysik und werden in unregelmäßigen Abständen angeboten:

<b>Veranstaltungen</b>		<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Bohrlochseismometrie <i>Seismic measurements within boreholes</i>	SS	v2u1	6
Simulation seismischer Wellen <i>Simulation of seismic waves</i>	WS	v2u1	6
Reflexionsseismisches Processing (weiterführende Übung) <i>Seismic imaging (advanced level)</i>	WS	u2	4
Seismologie <i>Seismology</i>	WS	v2u2	8

**Meteorologie**

Die folgenden Lehrveranstaltungen sind Bestandteil des Bachelor- oder Masterstudiengangs Meteorologie und werden regelmäßig angeboten:

<b>Veranstaltungen</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Theoretische Meteorologie I für Physiker <i>Theoretical Meteorology I for physicists</i>	v3	6
Theoretische Meteorologie II für Physiker <i>Theoretical Meteorology II for physicists</i>	v2	4
Theoretische Meteorologie III für Physiker <i>Theoretical Meteorology III for physicists</i>	v3	6
Synoptik I (Wettervorhersage) für Physiker <i>Synoptic Meteorology and Interpretation of Weather Charts I for physicists</i>	v2	4
Synoptik II für Physiker <i>Synoptic Meteorology and Interpretation of Weather Charts II for physicist</i>	v2	4
Numerische Wettervorhersage für Physiker <i>Numerical Weather Prediction for physicists</i>	v2	4
Fortgeschrittene numerische Wettervorhersage für Physiker <i>Advanced Numerical Weather Prediction for physicists</i>	v2	4
Fernerkundung atmosphärischer Zustandsgrößen für Physiker <i>Remote Sensing of Atmospheric State Variables for physicits</i>	v2	4
Fortgeschrittene Meßverfahren für Physiker <i>Advanced Meteorological Measurement Techniques for pysicsits</i>	v2	4
Umweltmeteorologie für Physiker <i>Environmental Meteorology for physicits</i>	v2	4
Meteorologische Naturgefahren für Physiker <i>Meteorological Natural Hazards for physicits</i>	v2	4

Verpflichtend ist Theoretische Meteorologie I für Physiker.

Leistungen, die im Bachelor-Studium als Teil des nichtphysikalischen Wahlpflichtfachs erbracht worden sind, können nicht ein weiteres Mal im Master-Studium verwendet werden. Falls Theoretische Meteorologie I schon während des Bachelor-Studiums als Teil des nichtphysikalischen Wahlpflichtfachs „Meteorologie“ abgelegt wurde, ist stattdessen Theoretische Meteorologie II für Physiker verpflichtend.

Für das NF wird eine, für das EF werden zwei weitere Veranstaltungen aus der Liste gewählt.

Abbildung Studienplan

SN							CP
1	Physikalisches Schwerpunktfach 8	Physikalisches Ergänzungsfach 8	Physikalisches Nebenfach* 8	Fortgeschrittenen Praktikum* P4 6			30
2	Physikalisches Schwerpunktfach 12	Physikalisches Ergänzungsfach 6			WPF* V4Ü2 8	Softskills* 4	30
3	Spezialisierungsphase (3Monate) 15		Einführung in das wiss. Arbeiten (3 Monate) 15				30
4	Masterarbeit (6Monate) 30						30
	<b>Summe</b>						<b>120</b>

\* Das Physikalisches Nebenfach, Fortgeschrittenenpraktikum, das Nichtphysikalische Wahlpflichtfach sowie die Softskills werden sowohl im Sommer- als auch im Wintersemester angeboten und können je nach Vorliebe belegt werden. Überlast in einem Semester ist zu vermeiden.

## **Übersicht über die einzelnen Module**

# **Modul: Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4011333

**Modulverantwortliche:** Naber, Andreas; Sürgers, Christoph; Wolf, Joachim

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Moderne experimentelle Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 5 Versuche, 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Vorbereitung, Auswertung der Versuche und Anfertigen der Protokolle (120).

**Modulturnus:** jedes Semester

**Moduldauer:** ein Semester

**Lehr- und Lernformen:** Praktikum

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** Verpflichtende Teilnahme an Vorbesprechung mit Sicherheitsunterweisung und Strahlenschutzbelehrung.

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:** Erlernen moderner experimenteller Methoden und Techniken sowie Vermittlung fortgeschrittener Fähigkeiten bei Versuchsaufbau, Messung und Auswertung.

**Inhalt:** Versuche aus den Bereichen Atomphysik, Kernphysik, Festkörperphysik, Biophysik und Moderner Optik / Quantenoptik. Eine Liste der Versuche ist unter <http://www.physik.kit.edu/Studium/F-Praktika/> zu finden.

**Literatur:** Lehrbücher der Experimentalphysik. Spezielles Material für jeden einzelnen Versuch wird bereitgestellt.

**Leistungsnachweis:** Die Leistungsnachweise müssen für jeden einzelnen Versuch erbracht werden. Dazu zählen Vorbereitung, Durchführung, Auswertung und Anfertigen eines Protokolls. Zum Bestehen des Praktikums ist es erforderlich, dass alle Versuche durchgeführt und die Protokolle von den jeweiligen Betreuern anerkannt werden. Für Details siehe <http://www.physik.kit.edu/Studium/F-Praktika/> .

**Notenbildung:** Unbenotete Veranstaltung

# Modul: Halbleiterphysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020111

**Modulverantwortliche:** Heinz Kalt

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Kondensierte Materie, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5

**Arbeitsaufwand:** 300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75Std.), Nachbereitung von Vorlesung und Übungen; Prüfungsvorbereitung bzw. Vorbereitung des Vortrags

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020111 Vorlesung 4 SWS; H. Kalt

4020112 Übung 1 SWS; H. Kalt;

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden

- können Details der Halbleiterbandstruktur und der Ladungsträgerstatistik beschreiben und erklären
- verstehen die Bedeutung von zeitlicher bzw. räumlicher Inhomogenität als Antrieb für dynamische Prozesse im Halbleiter
- beherrschen die phänomenologische und theoretische Beschreibung von Halbleiterübergängen
- können an Hand der gelernten Grundlagen das Verhalten von Halbleiterbauelementen beschreiben und kennen deren typische Anwendungen
- sind vertraut mit den wesentlichen Verfahren der Halbleiter-Technologie
- machen sich im Rahmen der Übungen mit einem speziellen Thema aus den Gebieten Anwendungen und Technologie vertraut, stellen dies in einem Kurzvortrag dar und vertiefen damit die Kenntnisse aller Teilnehmer über Halbleiterbauelemente

**Inhalt:**

I. Grundlegende Eigenschaften von Halbleitern (Materialklassen, Bandstruktur, k-p-Theorie, Statistik, Boltzmann-Gleichgewicht)

II. Nichtgleichgewichtsprozesse in Halbleitern (Boltzmann-Gleichung, Generation und Rekombination, Transportphänomene)

III. Halbleiterübergänge im thermodynamischen Gleichgewicht (pn-Übergang, Heteroübergänge, niederdimensionale Halbleiter, Schottky-Kontakt, ohmscher Kontakt, Isolator-Halbleiter-Übergang)

IV. Halbleiterübergänge im Nichtgleichgewicht/ Bauelemente (Diode, Photodiode, Solarzelle, LED, Diodenlaser, Mikrowellenbauelemente, bipolarer Transistor, Feldeffekttransistor, CCD, Speicherbauelemente, ...)

V. Halbleiter-Technologie (Epitaxie, Dotierung, Strukturierung, Integration)

**Literatur:**

R. Enderlein, N. Horing: *Fundamentals of Semiconductor Physics and Devices*

F. Thuselet: *Physik der Halbleiterbauelemente*

K. Brennan: *The Physics of Semiconductors*

P.Y. Yu, M. Cardona: *Fundamentals of Semiconductors*

M. Grundmann: *The Physics of Semiconductors*

S.M. Sze, K.K. Ng: *Physics of Semiconductor Devices*

**Leistungsnachweis:**

Teilnahme an Vorlesung und Übung; als physikalisches Nebenfach zusätzlich unbenoteter Kurzvortrag (25 Minuten) im Rahmen der Übungen

**Notenbildung:**

Als Schwerpunktfach: mündliche Prüfung nach den Regeln der SPO; als Ergänzungsfach: benoteter Kurzvortrag (25 Minuten) im Rahmen der Übungen



## **Modul: Biophysik II – Biomolekulare Spektroskopie und Dynamik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020121

**Modulverantwortliche:** G. U. Nienhaus

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Nano-Physik, Optik und Photonik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12/14 (mit/ohne Seminar)

**Semesterwochenstunden:** 6

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** 1 Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020121 Vorlesung 4 SWS; Nienhaus

4020122 Übung 2 SWS; Nienhaus, N.N., Übungen zu Biophysik II

4020124 Seminar 2 SWS; Nienhaus, N.N., Seminar zu Biophysik II

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagen der Quantenmechanik, Thermodynamik und der Festkörperphysik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden

- können den grundlegenden Aufbau der Biomaterie beschreiben und sind mit den strukturellen, dynamischen und energetischen Eigenschaften vertraut.
- verstehen die physikalischen Prinzipien der biomolekularen Spektroskopie und können die Anwendung der verschiedenen Methoden auf die Untersuchung biomolekularer Prozesse einschätzen.
- sind mit den grundlegenden Ansätzen der Relaxations- und Fluktuationsspektroskopie vertraut.
- verstehen die physikalischen Grundlagen der Wechselwirkungen, die für molekulare Funktionsprozesse essentiell sind (chemische Bindung, Elektronentransfer, Energietransfer) sowie die Parameter, die die Übergangsraten bestimmen.
- eignen sich vertiefte Kenntnisse im Rahmen der Übungen durch Lösung von Übungsaufgaben an. Sie präsentieren Ihre Ergebnisse und entwickeln so ihre Fähigkeiten weiter, die erworbenen Kenntnisse mit den anderen Studierenden zu teilen.

**Inhalt:**

Nach einer kurzen Einführung in die Struktur, Dynamik und Energetik der Biomoleküle werden lichtoptische spektroskopische Methoden (u.a. optische Absorption und Fluoreszenz, Infrarot- und Ramanspektroskopie) eingeführt, mit denen sich biomolekulare Strukturen und deren Änderungen als Funktion der Zeit beobachten lassen. Lichtmikroskopische Verfahrenen, insbesondere mit Höchstauflösung, werden ebenfalls behandelt. Anschließend werden die physikalischen Prinzipien diskutiert, auf denen wichtige biomolekulare Prozesse (Ligandenbindung, Energie- und Elektronentransfer bei der Photosynthese) beruhen.

**Literatur:**

G. U. Nienhaus: Skripten zur Vorlesung Biophysik I und II

E. Sackmann & R. Merkel: Lehrbuch der Biophysik

C. Cantor & P. Schimmel: Biophysical Chemistry

I. N. Serdyuk, N. R. Zaccai & J. Zaccai: Methods in Molecular Biophysics

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern

Vorrechnen in der Übung

Vortrag im Seminar

Mündliche Prüfung bei Kombination mit anderen Veranstaltungen zu einem Schwerpunkt- oder Ergänzungsfach

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzung- oder Nebenfach.

## **Modul: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021111

**Modulverantwortliche:** Ustinov, Rotzinger

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Kondensierte Materie, Supraleitung

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Moduldauer:** Ein Semester

**Modulturnus:** SS

**Lehr- und Lernformen:**

4021111 Vorlesung 2 SWS; Ustinov, Rotzinger

4021112 Übung 2 SWS; Ustinov, Rotzinger

Übungen zu Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** The course will be given in English. Questions and discussions in German are welcome as well.

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der Kondensierte Materie, Supraleitung.

**Inhalt:**

Foundations of superconductivity: thermodynamics, electrodynamics, flux quantization, Ginzburg-Landau theory, BCS theory, vortices, tunnel junctions, Josephson junctions, SQUIDs, superconducting electronics, superconducting qubits.

**Literatur:**

V.V. Schmidt, "The Physics of Superconductors: Introduction to Fundamentals and Applications", Springer (1997), ISBN 978-3540612438

M. Tinkham, „Introduction to Superconductivity: Vol I“, Dover Publ. (2004), ISBN: 978-0486435039

W. Buckel und R. Kleiner, „Supraleitung: Grundlagen und Anwendungen“, Wiley-VCH (2004), ISBN: 978-3527403486

**Leistungsnachweis:**

Regelmäßige Teilnahme an den Übungen, Vorbereitung der Übungsaufgaben, Vorrechnen in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Oberflächenphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021121

**Modulverantwortliche:** Wulf Wulfhekel

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Kondensierte Materie, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 (8 Vorlesung + 2 Übung)

**Semesterwochenstunden:** 5

**Arbeitsaufwand:** 300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021121 Vorlesung 4 SWS; W. Wulfhekel, L. Gerhard

4021122 Übung 1 SWS; W. Wulfhekel, L. Gerhard

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Oberflächenphysik eingeführt werden, die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen lernen sowie die Konzepte und Messmethoden der Oberflächenphysik verstehen und anwenden lernen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme der Oberflächenphysik in Gruppen lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

In der Vorlesung Oberflächenphysik wird die Festkörperphysik an Oberflächen und Grenzflächen sowie die physikalische Chemie an Oberflächen besprochen. Beginnen mit der zweidimensionalen Raumgruppe wird die Struktur von Oberflächen besprochen sowie Effekte, die durch die Symmetriebrechung an Ober- und Grenzflächen entstehen. Weiterhin wird das Schichtwachstum und die Modifikation des Schichtwachstums mittels verschiedener Techniken behandelt. Der Hauptteil der Vorlesung beschäftigt sich mit der elektronischen Struktur von zweidimensionalen Systemen und Nanostrukturen sowie den experimentellen Techniken der Oberflächenphysik.

**Literatur:**

H. Ibach, Physics of Surfaces and Interfaces, Springer

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul:** Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021131

**Modulverantwortliche:** Hoffmann-Vogel, Beckmann

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021131 Vorlesung 3 SWS; Hoffmann-Vogel, Beckmann

4021132 Übung 1 SWS; Hoffmann-Vogel, Beckmann

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik. Kann gut mit EE I und II kombiniert werden.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung im Gebiet der Nano-Physik.

**Inhalt:**

1. Was ist „Nano“ und warum finden wir das interessant?
2. Herstellung von Nanokontakten, Nanodrähten und dünnen Schichten
3. Unterbrochene Nanokontakte, Einzelelektroneneffekte
4. Quantentransport in verbundenen Nanokontakten
5. Eindimensionale Strukturen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen
6. Zweidimensionale Strukturen, Quanten-Hall-Effekt, Graphen

**Literatur:**

Th. Heinzel, Mesoscopic Electronics in Solid State Nanostructures, Wiley 2007

J.C. Cuevas, E. Scheer, Molecular Electronics, World Scientific 2010

**Leistungsnachweis:**

Einzelprüfung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Spintransport in Nanostrukturen**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021141

**Modulverantwortliche:** Detlef Beckmann

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Kondensierte Materie, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021141 Vorlesung 2 SWS; D. Beckmann

4021142 Übung 1 SWS; D. Beckmann

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe des spinpolarisierten Transports eingeführt werden, und deren Anwendung auf Transporteigenschaften in Nanostrukturen verstehen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme aus diesem Themenfeld lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

In der Vorlesung werden zunächst Grundlagen des elektronischen Transports und Magnetismus eingeführt. Darauf aufbauend werden für die Spinelektronik wichtige magnetoresistive Effekte in nanoskaligen Strukturen besprochen (Riesenmagnetwiderstand, Spinakkumulation, Tunnelmagnetwiderstand). Weitere Themen sind Magnetisierungsdynamik (Micromagnetics, Spin Torque, Domänenwände, Spinwellen) und die Kopplung von Spin- und Wärmetransport (Spinkaloritronik).

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Nanotechnologie II**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021151

**Modulverantwortliche:** Gernot Goll

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Kondensierte Materie, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2

**Arbeitsaufwand:** 120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021151 Vorlesung 2 SWS; G. Goll

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik und der Quantenmechanik werden erwartet.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende vertieft sein Wissen auf dem Gebiet der Nano-Physik, beherrscht die relevanten theoretischen Konzepte und ist mit den grundlegenden Anwendungsbereichen der Nano-Physik vertraut.

**Inhalt:**

Einführung in zentrale Gebiete der Nanotechnologie;

Vermittlung der konzeptionellen, theoretischen und insbesondere methodischen Grundlagen;

Anwendungen und aktuelle Entwicklungen u.a. aus den Bereichen Nanoelektronik, Nanooptik, Nanomechanik, Nanotribologie, Biologische Nanostrukturen, Selbstorganisierte Nanostrukturen

Die Vorlesung „Grundlagen der Nanotechnologie I“ behandelt im Wintersemester Methoden der Abbildung, Charakterisierung und der Herstellung von Nanostrukturen.

**Literatur:**

Zur Nachbereitung und Vertiefung des Vorlesungsstoffes wird auf verschiedene Lehrbücher sowie Original- und Übersichtsartikel verwiesen. Eine ausführliche Liste wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Voraussichtlich in Form einer Klausur, von Kurzvorträgen im Rahmen der Vorlesung oder einer mündlichen Einzelprüfung.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Astroteilchenphysik II - Teilchen und Sterne**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022111

**Modulverantwortliche:** G. Drexlin, K. Valerius

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen **Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022111 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

4022112 Übung 1 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** Wird Experimentelle Astroteilchenphysik als Schwerpunktfach gewählt, muss auch die Vorlesung Astroteilchenphysik I oder Kosmologie (Wintersemester) belegt werden. Die Vorlesung ATP II – Teilchen und Sterne ist komplementär angelegt zu weiteren vertiefenden Vorlesungen (Astroteilchenphysik II – Kosmische Strahlung, Gammastrahlung).

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Physik der Teilchen und Kerne sowie von grundlegenden experimentellen Methoden in diesem Bereich werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

*Methodenkompetenzerwerb:*

Vertiefung in zwei Schlüsselgebieten der experimentellen Astroteilchenphysik: stellare Astrophysik und Neutrino-physik

Erkenntnis von methodischen Querverbindungen zur Elementarteilchen-physik, Astrophysik und Kosmologie

- Erwerb der Fähigkeit, die Konzepte und experimentellen Methoden in der Masterarbeit umzusetzen

**Inhalt:**

Die Vorlesung gibt, aufbauend auf den einführenden Vorlesungen Astroteilchenphysik I und Kosmologie, einen vertieften Einblick in zwei Schlüsselgebiete der modernen experimentellen Astroteilchenphysik.

Im ersten Gebiet wird ein umfassender Einblick in die Grundlagen der experimentellen Neutrino-physik gegeben. Der Schwerpunkt liegt auf dem Gebiet der Neutrino-Eigenschaften. Die behandelten Themengebiete umfassen eine Einführung in das Phänomen der Neutrino-Oszillationen einschließlich aktueller Resultate zu solaren & atmosphärischen Neutrinos, sowie von Reaktor- und Beschleuniger-Neutrino-Experimenten. Darüber hinaus wird ein Schwerpunkt gelegt auf Experimente zur direkten Neutrino-massenbestimmung und die Suche nach dem neutrino-losen Doppelbetazerfall.

Im zweiten Teil der Vorlesung wird eine Einführung gegeben in das Gebiet der stellaren Astrophysik mit einem besonderen Schwerpunkt auf späte Sternphasen. Diese sind charakterisiert durch degenerierte Materie (weiße Zwerge und Neutronensterne) und bilden die Vorläufer von Supernova-Explosionen (thermonukleare und Kernkollaps-SNae). Abschließend werden Methoden der ATP zum Nachweis dieser Prozesse mit Neutrino-Detektoren und Gravitationswellen-Observatorien diskutiert.

Die Vorlesung legt einen Schwerpunkt auf eine eingehende Darstellung von grundlegenden physikalischen Prozessen und experimentellen Methoden der Astroteilchenphysik.

**Literatur:**

- D. Perkins: Particle Astrophysics (Oxford University Press, 2. Auflage, 2009)
- C. Grupen: Astroparticle Physics (Springer, 2005)
- A. Weigert, H. Wendker und L. Wisotzki: Astronomie und Astrophysik - Ein Grundkurs (Wiley-VCH, 5. Auflage, 2009)
- K. Zuber: Neutrino Physics (CRC Press, 2. Auflage, 2011)

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Astroteilchenphysik II – Gamma-Strahlung**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022131

**Modulverantwortliche:** Johannes Blümer, Ralph Engel

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022131 Vorlesung 2 SWS; J. Blümer, R. Engel

4022132 Übung 1 SWS; R. Engel, D. Veberic

**Voraussetzungen:** keine, die Vorlesung ist komplementär zum Modul Astroteilchenphysik I angelegt und kann unabhängig davon gehört werden

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Physik der Teilchen und Kerne sowie von experimenteller Methoden in diesem Bereich werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen die Grundbegriffe und Konzepte der Gamma-Astronomie und Astroteilchenphysik verstehen und für die Diskussion moderner Beobachtungsergebnisse anwenden können. Typische Näherungen und Betrachtungen der Astrophysik sollen für die Teilnehmenden nachvollziehbar werden. In der Übung sollen die Studierenden ausgewählte Probleme der Astroteilchenphysik lösen und in der Gruppe diskutieren können.

**Inhalt:**

Es werden die Grundlagen der Astroteilchenphysik mit hochenergetischen Teilchen besprochen, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung der Gamma-Astronomie zur Untersuchung astrophysikalischer Objekte liegt. Ausgehend von der Beschleunigung geladener Teilchen werden in der ersten Hälfte der Vorlesungsreihe die wichtigsten Entstehungsprozesse von Gamma-Strahlung eingeführt, die Ausbreitung hochenergetischer Gamma-Strahlung diskutiert und Methoden zum Nachweis der Gamma-Strahlung auf der Erde und im Weltall vorgestellt. In der zweiten Hälfte der Vorlesungsreihe werden die folgenden astrophysikalischen Objekte und deren Abbild in Gamma-Strahlen besprochen: Supernova-Explosionen und -überreste, Neutronensterne und Pulsare, Schwarze Löcher und Aktive Galaktische Kerne, und Gamma-Blitze. Der Kurs wird abgerundet durch eine Diskussion der Suche nach zusätzlichen Dimensionen, Verletzung der Lorentz-Invarianz und exotischen Phänomenen mit Gamma-Strahlung. Zusammen mit dem Kurs „Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung“, welcher im WS angeboten wird, ergibt sich ein abgeschlossenes Bild hochenergetischer Teilchen mit ihren zugrundeliegenden Erzeugungs- und Transportprozessen in unserem Universum. Die Themenspektren beider Vorlesungen sind aber so angelegt, dass sie auch einzeln gehört werden können. Die Vorlesung wird als Tafelanschrieb und mit vorher ausgehändigtem Bildmaterial gehalten. Besonderer Wert wird auf die explizite Ableitung der wesentlichen Zusammenhänge gelegt.

**Literatur:**

M. Spurio: Particles and Astrophysics (Springer)

T.K. Gaisser: Cosmic Rays and Particle Physics (Cambridge)

T. Stanev: High Energy Cosmic Rays (Springer, 2nd Ed.)

C.D. Dermer, G. Menon: High Energy Radiation from Black Holes (Princeton)

P. Schneider: Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie (Springer)

**Leistungsnachweis:**

Erlangung von 50% der Punkte der Übungsblätter

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.



## **Modul: Moderne Methoden der Datenanalyse**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022141

**Modulverantwortliche:** Quast, Günter

**Einordnung** in **Studiengang:** Master Physik,  
Physikalisches Nebenfach oder Teil des Schwerpunkts- bzw. Ergänzungsfachs im Bereich Experimentelle Astroteilchenphysik oder Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 3 bzw. 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022141 Vorlesung 2 SWS; Quast, Günter

4022142 Übungen 2 SWS; Chwalek, Thorsten

Moderne Methoden der Datenanalyse: Computerpraktikum

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der statistischen Datenanalyse, wie sie z. B. in der Bachelorvorlesung Rechnernutzung in der Physik vermittelt werden, sind wünschenswert.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden können Grundlagen der statistischen Datenanalyse formulieren, moderne Methoden der Datenanalyse auf physikalische Probleme anwenden und Werkzeuge zur Datenanalyse nutzen und weiterentwickeln. Auf dieser Basis werden die Studierenden befähigt, den Einsatz statistischer Verfahren in Wissenschaft und Gesellschaft zu hinterfragen und zu bewerten.

**Inhalt:**

Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Monte-Carlo-Methoden, Parameterschätzung, numerische Optimierung, Faltung und Entfaltung, Hypothesentests, Vertrauensintervalle, multivariate Klassifizierung, Zeitreihenanalyse und Filterung.

**Literatur:**

G. Cowan: Statistical Data Analysis, Oxford University Press

G. Bohm, G. Zech: [Einführung in Statistik und Messwertanalyse für Physiker](#), DESY eBook

V. Blobel, E. Lohrmann: [Statistische und numerische Methoden der Datenanalyse](#), DESY eBook

R. J. Barlow: Statistics: A Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences, Wiley

S. Brandt: Datenanalyse, Spektrum

W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Fannery: [Numerical Recipes](#), Cambridge University Press

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman: [The Elements of Statistical Learning](#), Springer

**Leistungsnachweis:**

Bearbeitung der Computerübungen und Vorführung der Lösungen

Kurzvorträge im Rahmen der Übungen

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul:** Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022151

**Modulverantwortliche:** G. Drexlin, F. Priester

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Experimentelle Astroteilchenphysik, Experimentelle Teilchnphysik,

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 oder 8 (wenn Teilnahme an Blockpraktikum)

**Semesterwochenstunden:** 3 oder 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022151 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin, B. Bornschein

4022152 Übung 1 SWS; G. Drexlin, B. Bornschein, F. Priester

Blockpraktikum 1 SWS; G. Drexlin, B. Bornschein; F. Priester

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in experimentellen Methoden

**Qualifikationsziele:**

Methodenkompetenzerwerb: Methodisches Vorgehen bei der Auswahl von Messverfahren und bei der Berechnung von Messunsicherheiten

Kommunikationskompetenzerwerb: Verbesserte Kommunikation zwischen Ingenieuren und Physikern

**Inhalt:**

Die Vorlesung soll helfen, den Einstieg in die experimentelle Welt zu erleichtern. Das Ziel der Vorlesung ist es, übliche Messmethoden zu erläutern und in Beispielen das erlernte Wissen auf praktische Messaufgaben anzuwenden. Im Vordergrund steht hier das methodische Vorgehen bei der Auswahl des Messverfahrens inklusive der anzuwendenden Messunsicherheitsbetrachtung. Darüber hinaus soll die Vorlesung einen Beitrag zu einer besseren Kommunikation zwischen Ingenieuren und Physikern führen (der Ingenieur spricht z.B. vom Messunsicherheitsbudget nach GUM und der Physiker fragt sich, was das soll) und damit die Integration der jungen Nachwuchskräfte in die für das KIT so typischen gemischten Teams aus Technikern, Ingenieuren und Physikern fördern. Im Detail werden u.a. folgende Themen behandelt: Messgeräte und ihre Genauigkeitsklassen, Berechnung von Messunsicherheiten nach GUM und Bestimmung eines Vertrauensbereiches, Methoden der (Tief-) Temperaturmessung, Einführung in die Vakuumtechnik.

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen (u.a. Vorrechnen)

Erfolgreiche Teilnahme am Blockpraktikum

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul:** Teilchenphysik II - W, Z, Top am Collider

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022161

**Modulverantwortliche:** Müller, Mozer

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Teil eines Schwerpunkts- bzw. Ergänzungsfachs im Bereich Experimentelle Teilchenphysik.

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022161 Vorlesung 2 SWS; Müller, Mozer

4022162 Übung 1 SWS; Mozer, Fink

Übungen zu Teilchenphysik II - W, Z, Top am Collider

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Kenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang sowie der Vorlesung Teilchenphysik I im Masterstudiengang.

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden können die theoretischen und experimentellen Grundlagen der W-, Z- und Top-Physik sowie die wichtigsten Messungen an Collidern darstellen und vertiefen somit ihre Kenntnisse in der experimentellen Teilchenphysik in einem Spezialgebiet. Die Studierenden können Originalveröffentlichungen der Teilchenphysik auffinden und analysieren und moderne Techniken der Datenanalyse und Simulation auf die W-, Z- und Top-Physik verstehen und anwenden.

**Inhalt:**

Grundlagen: historische Einführung, Colliderphysik bei hohen Transversalimpulsen, Monte-Carlo-Simulationen.

W- und Z-Physik: Präzisionsphysik an der Z-Resonanz, Eigenschaften des W-Bosons, W/Z am LHC, W/Z+Jets, Paare von Vektorbosonen, trilineare und quartische Kopplungen, Suche nach  $W'$  und  $Z'$ .

Top-Physik: Produktion und Zerfall von Top-Paaren und einzelnen Top-Quarks, Top-Eigenschaften im Standardmodell, Rekonstruktion von Top-Ereignissen, Boosted Top, moderne Simulationsprogramme und Analysetechniken, aktuelle Messungen an Hadron-Collidern, Verbindung zwischen Top- und Higgs-Physik, Suche nach Neuer Physik mit Top-Quarks.

**Literatur:**

V. D. Barger, R. J. N. Phillips: Collider Physics, Westview Press (1996).

J. M. Campbell, J. W. Huston, W. J. Stirling, Rep. Prog. Phys. **70** (2007) 89.

T. Plehn: Lectures on LHC Physics, Springer (2012), arXiv:0910.4182 [hep-ph].

ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, SLD: Precision Electroweak measurements on the Z Resonance, Phys. Rept. **427** (2006) 257.

ALEPH, DELPHI, L3, OPAL: Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP, Phys. Rept. **532** (2013) 119.

W. Bernreuther, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **35** (2008) 083001.

J. Incandela, A. Quadt, W. Wagner, D. Wicke, Prog. Part. Nucl. Phys. **63** (2009) 239.

F.-P. Schilling, Int. J. Mod. Phys. **A27** (2012) 1230016.

Mehrere Habilitationsschriften: W. Wagner (Karlsruhe 2005), A. Quadt (Bonn 2006), F. Fiedler (München 2007), M.-A. Pleier (Bonn 2008), D. Wicke (Wuppertal 2009).

**Leistungsnachweis:**

Diskussion wissenschaftlicher Veröffentlichungen im Stile eines „Paperseminars“

Bearbeitung der Computerübungen und Vorführung der Lösungen

Kurzvorträge im Rahmen der Übungen

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt- oder Ergänzungsfach.

## **Modul: Teilchenphysik II - Jet-Physik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022171

**Modulverantwortliche:** Gieseke, Rabbertz

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik

**Themenfeld/er:** Experimentelle und theoretische Teilchenphysik

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022171 Vorlesung 2 SWS; Gieseke, Rabbertz

4022172 Übung 1 SWS; Gieseke, Rabbertz

Übungen zu Teilchenphysik II - Jet-Physik

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** Wird zusammen mit Teilchenphysik I als Schwerpunkt- bzw. Ergänzungsfach geprüft.

**Empfehlungen:** Grundkenntnisse aus den Veranstaltungen *Moderne Experimentalphysik III*, *Moderne Theoretische Physik II* und *Rechnernutzung in der Physik* aus dem Bachelor-Studium und *Teilchenphysik I* aus dem Master-Studium werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung der Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Teilchenphysik, Gewinnung von Einblicken in den aktuellen Stand der Forschung, Kenntnis der aktuellen theoretischen Konzepte und der experimentellen Techniken. Lösung einfacher Probleme in schriftlicher Form oder in praktischen Übungen am Computer, Erwerb von Kenntnissen typischer Computer-basierter Methoden zur Simulation teilchenphysikalischer Prozesse und zur Datenanalyse, Arbeit mit Primärliteratur.

**Inhalt:**

Quantenchromodynamik, Jetalgorithmen, Jet-Energie-Kalibration, Berechnung und Messung von Jet-Wirkungsquerschnitten, experimentelle und theoretische Korrekturen und Unsicherheiten, Bestimmung der starken Wechselwirkungskonstanten, Partonverteilungsfunktionen, kollineare und weiche Emissionen von Teilchen, Simulationen von Jets mit Partonschauerprogrammen, Hadronisierungsmodelle

**Literatur:**

R.K. Ellis, W.J. Stirling, B.R. Webber, "QCD and Collider Physics", Cambridge, 1996.

G. Dissertori, I.G. Knowles, M. Schmeling, "Quantum Chromodynamics", Oxford, 2002.

R. Cahn, G. Goldhaber, "The Experimental Foundations of Particle Physics", Cambridge, 2009.

Particle Data Group, "The Review of Particle Physics", J.Phys. G37, 075021 (2010).

G. Salam, "Towards Jetography", arXiv:0906.1833, 2009.

sowie aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen und Reviews.

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung, Vorführung der erarbeiteten Lösungen zu den Computer-basierten Problemstellungen

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzung- oder Nebenfach.

# **Modul: Teilchenphysik II - Higgs-Physik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022181

**Modulverantwortlicher:** Quast, Günter

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Bereich Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022181 Vorlesung 2 SWS; G. Quast, R. Wolf

4022182 Übung 1 SWS; R. Wolf, A. Gilbert

Übungen zu Teilchenphysik II - Higgs-Physik

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** Wird zusammen mit Teilchenphysik I als Schwerpunkt- bzw. Ergänzungsfach geprüft.

**Empfehlungen:** Grundkenntnisse aus den Veranstaltungen *Moderne Experimentalphysik III*, *Moderne Theoretischen Physik II* und *Rechnernutzung in der Physik* aus dem Bachelor-Studium und *Teilchenphysik I* aus dem Master-Studium werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:** Vertiefung der Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Teilchenphysik, Heranführen an den aktuellen Stand der Forschung, Kenntnis der relevanten theoretischen Konzepte und der experimentellen Techniken; Lösung einfacher Probleme in schriftlicher Form oder in praktischen Übungen am Computer, Erwerb von Kenntnissen typischer Computer-basierter Methoden zur Simulation teilchenphysikalischer Prozesse und Datenanalyse, Teamarbeit, Arbeit mit Primärliteratur, Verbesserung der Präsentationstechnik.

**Inhalt:**

Higgs-Sektor des Standardmodells der Teilchenphysik, Berechnung von Produktionsprozessen, Experimentelle Techniken und Methoden der statistischen Datenanalyse, historische Entwicklung und wichtige Experimente, experimentelle und theoretische Einschränkungen an die Eigenschaften des Higgs-Bosons, gegenwärtiger Kenntnisstand und Ausblick auf zukünftige Experimente.

**Literatur:**

Pov, Rith, Teilchen und Kerne (Springer)

Halzen, Martin, Quarks & Leptons (Wiley)

Aktuelle Veröffentlichungen und Reviews (s. Webseite der Vorlesung)

**Leistungsnachweis:**

in Form von:

Übungsblättern, Computer-Übungen und

Kurzvorträgen im Rahmen der Vorlesung/Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Theoretical Optics**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023111

**Modulverantwortliche:** Carsten Rockstuhl

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Optik und Photonik, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 hours composed of active time (45), wrap-up of the lecture incl. preparation of the exam and the examination

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023111 Vorlesung 2 SWS; C. Rockstuhl

4023112 Übung 1 SWS; G. Toscano, M. Fruhnert

**Voraussetzungen:** None

**Bedingungen:** None

**Empfehlungen:** Solid mathematical background, good knowledge of classical electromagnetism and basic knowledge of quantum mechanics.

**Qualifikationsziele:**

The students deepen their knowledge about the theory and the mathematical tools in optics and photonics. They learn how to apply these tools to describe fundamental phenomena and how to predict observable quantities that reflect the actual physics from the theory by way of a corresponding purposeful mathematical analyses. They learn how to solve problems of both, interpretative and predictive nature with regards to model systems and real life situations.

**Inhalt:**

Review of Electromagnetism (Maxwell's Equations, Stress Tensor, Material Properties, Kramers-Kronig Relation, Wave Propagation, Poynting's Theorem)

Diffraction Theory (The Principles of Huygens and Fresnel, Scalar Diffraction Theory: Green's Function, Helmholtz-Kirchhoff Theorem, Kirchhoff Formulation of Diffraction, Fresnel-Kirchhoff Diffraction Formula, Rayleigh-Sommerfeld Formulation of Diffraction, Angular Spectrum Method, Fresnel and Fraunhofer Diffraction, Method of Stationary Phases, Basics of Holography)

Crystal Optics (Polarization, Anisotropic Media, Fresnel Equation, Applications)

Classical Coherence Theory (Elementary Coherence Phenomena, Theory of Stochastic Processes, Correlation Functions)

Quantum Optics and Quantum Optical Coherence Theory (Review of Quantum Mechanics, Quantization of the EM Field, Quantum Coherence Functions)

**Literatur:**

"Classical Electrodynamics" John David Jackson

"Theoretical Optics: An Introduction" Hartmann Römer

"Introduction to Fourier Optics" Joseph W. Goodman

"Introduction to the Theory of Coherence and Polarization of Light" Emil Wolf

"The Quantum Theory of Light " Rodney Loudon

**Leistungsnachweis:**

Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Simulation nanoskaliger Systeme**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023121

**Modulverantwortliche:** Wenzel, Schug

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 + (2)

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen, ggf. Vorbereitung des Vortrags

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023121 Vorlesung 2 SWS; Wenzel, Schug

4023122 Übung 1 SWS; Wenzel, Schug, Meded

Übungen zu Simulation nanoskaliger Systeme

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** grundlegende Kenntnisse der Thermodynamik und statistischen Mechanik und Quantenmechanik

**Qualifikationsziele:** Die Studierenden sollen in die Fragestellungen in der Simulation nanoskaliger Systeme, die wichtigsten Verfahren und deren theoretischen Hintergrund eingeführt werden. Sie Studierenden werden in der Vorlesung mit etablierten Programmpaketen in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingeführt, die in den Übungen an Beispielen behandelt werden. Dabei werden insbesondere auch die Grenzen und systematischen Fehlerquellen der Verfahren vorgestellt.

**Inhalt:**

Eingeführt werden Verfahren der Molekularen Modellierung (Molekulardynamik & Monte-Carlo-Verfahren), Quantenmechanik von Vielteilchensystemen in der Quantenchemie (LCAO, Hartree-Fock, Dichtefunktionaltheorie), die im Kontext von Anwendungen auf Moleküle und periodische Systeme diskutiert werden. Ein weiterer Schwerpunkt bildet die Behandlung des elektronischen Transports durch nanoskalige Systeme (Nanodrähte/individuelle Moleküle/organische Elektronik). Einführung in Multiskalensimulationen (QM/MM, Mehrstufenverfahren)

**Literatur:**

Szabo: Modern Quantum Chemistry

Leach: Molecular Modeling

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Aufgaben und Dokumentation der numerischen Übungen, für die Zusatzpunkte: Referate (bitte hierfür frühzeitig melden)

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Theoretical Nanooptics**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023131

**Modulverantwortliche:** Carsten Rockstuhl

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Optik und Photonik, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4 (Lecture) and 2 (Tutorial)

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 hours composed of active time (45), wrap-up of the lecture incl. preparation of the examination and the excercises

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023131 Vorlesung 2 SWS; C. Rockstuhl

4023132 Übung 1 SWS; C. Rockstuhl, G. Toscano

**Vorraussetzungen:** None

**Bedingungen:** None

**Empfehlungen:** Solid mathematical background, good knowledge of classical electromagnetism and theoretical optics.

**Qualifikationsziele:**

The properties of light at the nanoscale can be controlled by various means. The aim of this lecture is to familiarize the students with the different possibilities that rely on nanostructured dielectric or metallic materials and to outline on solid mathematical grounds the analytical description of observable effects. The lecture is meant as a complementary source of education to experimental lecture. It shall provide the students with the necessary skills to work themselves in the field of theoretical nanooptics.

**Inhalt:**

Dispersion relation to describe light in extended systems such as free space, interfaces, planar waveguides and waveguides with complicated geometrical cross sections.

Description of the interaction of light with isolated objects such as spheres, cylinders, ellipsoids and prolates and oblates.

Properties of plasmonic nanoparticles and the ability to tune their properties

Notion of optical antennas and the discussion of their basic characteristics

Description of the dynamics of wave propagation by perturbed eigenstates, i.e. coupled mode theory. Application to optical waveguide arrays.

Discussion of metamaterials (unit cells, homogenization, light propagation, applications)

Transformation optics

Analytical modeling and phenomenological tools to describe nanooptical systems

**Literatur:**

L. Novotny and B. Hecht, Principle of Nano-Optics, Cambridge

S. A. Maier, Plasmonics, Springer

J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn and R. D. Meade, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, University Press

**Leistungsnachweis:**

Erfolgreiche Teilnahme an den Übungen.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.



## **Modul: Theorie der Kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024111

**Modulverantwortliche:** Shnirman

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Theorie der Kondensierten Materie

**Leistungspunkte:** 12 (Grundlagen und Vertiefungen) oder 8 (Grundlagen, ca. 2/3 des Kurses)

**Semesterwochenstunden:** 6

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4024111 Vorlesung 4 SWS; Shnirman

4024112 Übung 2 SWS; Shnirman, Narozhny, Kotetes

Übungen zur Theorie der Kondensierten Materie II

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** In der Regel soll diese Vorlesung nach der Theorie der Kondensierten Materie I besucht werden.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in dem Gebiet der Theorie der kondensierten Materie; Erlangen von Wissen über wichtigste Phänomene und Konzepte sowie über feldtheoretische Methoden der Untersuchung von Vielteilchensystemen

**Inhalt:**

Voraussichtliche Struktur der Vorlesung:

Einleitung

Green'sche Funktionen für nichtwechselwirkende Teilchen

Vielteilchen-Green-Funktionen

Feynman-Diagrammatik. Diagramm-Technik für ein System der wechselwirkenden Fermionen. Fermi-Flüssigkeit. Kollektive Anregungen.

Green'sche Funktionen und Diagramm-Technik bei endlichen Temperaturen (Matsubara-Diagrammatik).

Supraleitende Systeme.

Nichtgleichgewicht-Systeme. Keldysh-Diagrammatik, quantenkinetische Gleichung.

Vielteilchensysteme in 1D (Elektronen in Quantendrähten usw.): Bosonisierung, Luttinger-Flüssigkeit.

Wechselwirkung von Elektronen mit magnetischen Störstellen: Kondo-Effekt.

Stark korrelierte Elektronen: Hubbard-Modell und Mott-Metall-Isolator-Übergang.

Einführung in die mesoskopische Physik: Unordnung-, Quanteninterferenz- und Wechselwirkungseffekte im Quantentransport.

**Literatur:**

A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I.E. Dzyaloshinskii, Methods of QFT in statistical physics.

L.D. Landau, E.M. Lifschitz, Statistische Physik, Teil II (Lehrbuch der theoretischen Physik, Bd IX).

G.D. Mahan, Many-particle physics.

A.L. Fetter, J.D. Valecka, Quantum theory of many-particle systems.

J.W. Negele, H. Orland, Quantum many-particle systems.

J.R. Schrieffer, Theory of superconductivity.

A. Altland, B. Simons, Condensed matter field theory.

T. Giamarchi, Quantum physics in one dimension.

A. Kamenev, Field theory of non-equilibrium systems.

G. Giuliani, G. Vignale, Quantum Theory of the Electron Liquid.

**Leistungsnachweis:** Vorrechnen in der Übung

**Notenbildung:** Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

**Modul:** Symmetrien, Gruppen und erweiterte Eichtheorien

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4025131

**Modulverantwortlicher:** Ulrich Nierste

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12

**Semesterwochenstunden:** 6

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS oder WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4025131 Vorlesung 4 SWS; U. Nierste

4025132 Übung 2 SWS; U. Nierste, M. Spinrath

Die ersten 2/3 der Vorlesung können als Modul "Symmetrien und Gruppen" mit 8 Leistungspunkten belegt werden.

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** gute Kenntnisse der *Quantenmechanik I*. Für das letzte Drittel, "erweiterte Eichtheorien" sind Vorkenntnisse der *Theoretischen Teilchenphysik* erforderlich.

**Qualifikationsziele:**

*Erlernen der Methodik der Gruppentheorie Fähigkeit zur Lösung komplexer mathematischer Probleme wie der Klassifikation von Lie-Gruppen, Verständnis der Konzepte von erweiterten Eichtheorien*

**Inhalt:**

Lie-Gruppen und ihre Darstellungen, Lie-Algebren, Poincaré-Gruppe, diskrete Gruppen, Links-Rechts-Symmetrie, großvereinheitlichte Theorien

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung angegeben.

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Theoretische Teilchenphysik I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026111

**Modulverantwortliche:** Kirill Melnikov

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12

**Semesterwochenstunden:** 6

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026111 Vorlesung 4SWS; Melnikov

4026112 Übung 2 SWS; Melnikov, Dowling, Tancredi

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Elektrodynamik, Quantenmechanik und Relativitätstheorie

**Qualifikationsziele:**

Der/die Studierende soll in die Grundbegriffe der Relativistischen Quantenfeldtheorie eingeführt werden, die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen und die Rechenmethoden anwenden lernen.

**Inhalt:**

Klassische Feldtheorie; Kanonische Quantisierung von von Boson-, Fermion- und Vektorfeldern; Störungstheorie, Greensche Funktionen und Feynmandiagramme; Berechnung von Wirkungsquerschnitten; Quantenelektrodynamik als Eichtheorie

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Bearbeitung von Übungsblättern und Vorrechnen in den Übungen.

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkts-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: General Relativity**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026131

**Modulverantwortliche:** Klinkhamer

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5

**Arbeitsaufwand:** Approximately 300 hours, consisting of 75 hours for direct presence and further time for literature study, preparation of exercise problems or tasks, and possibly preparation for the final oral exam.

**Modulturnus:** WS or SS

**Moduldauer:** One semester

**Lehr- und Lernformen:**

**4026131 General Relativity;** Klinkhamer

**4026132 Übungen zu General Relativity (Technical aspects);** Klinkhamer; Rahmede; Diaz

**4026135 Übungen zu General Relativity (Conceptual aspects);** Klinkhamer; Rahmede; Diaz

**Vorraussetzungen:** none

**Bedingungen:** none

**Empfehlungen:** A basic understanding of classical mechanics, classical electrodynamics, and quantum mechanics.

**Qualifikationsziele:** The main goal is to broaden the student's intellectual horizon by learning and thinking about one of the great achievements of humanity, the discovery of the dynamic nature of spacetime.

**Inhalt:** This lecture consists of three parts. The first part reviews the basic ideas of Special Relativity. The second part introduces the main concepts and techniques of General Relativity. The third part discusses cosmological models.

**Literatur:**

S. Weinberg, Gravitation and Cosmology, Wiley, 1972.

C. Misner, K. Thorne, J. Wheeler, Gravitation, W. H. Freeman, 1973.

Robert M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press, 1984.

S. W. Hawking and G. F. R. Ellis, The Large Scale Structure of Space-Time, Cambridge UP, 1973.

V. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge UP, 2005.

**Leistungsnachweis:**

After the lecture period, there is the possibility of taking an oral exam. The requirement for the oral exam is the successful participation in the exercises. The exercises are passed if 50% of the total exercise points are achieved.

**Notenbildung:**

According to the standard regulations [entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach].

## **Modul: Elektronenoptik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027031

**Modulverantwortliche:** Haider, Maximilian; Janzen, Roland

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS und WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4027031 Vorlesung 2 SWS; M. Haider, R. Janzen

4027032 Übung 1 SWS; R. Janzen

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Elektrodynamik, der klassischen Mechanik und der speziellen Relativitätstheorie werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Elektronenoptik eingeführt werden und die relevanten theoretischen Konzepte kennen lernen. Er soll die Funktionsweise von Elektronenmikroskopen und Aberrations-Korrektoren verstehen lernen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme der Elektronenoptik eigenverantwortlich lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

Funktions- und Aufbau-Prinzipien von Elektronenmikroskopen,  
Grundlagen der bildgebenden Verfahren im Elektronenmikroskop,  
Einführung in die Elektronenoptik,  
Einführung in die Aberrationstheorie.

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

## **Modul: Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028111

**Modulverantwortliche:** Anke-Susanne Müller

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:

Experimentelle Teilchenphysik, Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (2V+1Ü+1PÜ)

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung, Vorbereitung der Übungen und praktischen Übungen, Auswertungen und Erstellung von Messprotokollen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028111 Vorlesung 2 SWS; Müller, Anke-Susanne

4028112 Übung zu 4028111, 1 SWS; Müller, Anke-Susanne; Brosi, Miriam

4028113 Praktische Übung an ANKA zu 4028111 1 SWS; Müller, Anke-Susanne; Hertle, Edmund

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in der Elektrodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Nach Besuch der Veranstaltung können Sie die Grundlagen der Beschleunigerphysik darstellen und einfache Strahltransportsysteme berechnen. Sie können die Beschleunigergrundtypen beschreiben, deren Funktionsweisen gegenüberstellen und die Eignung für den Einsatz in physikalischen Experimenten einschätzen. Sie sind ausserdem in der Lage, die verschiedenen Methoden zur Messung und Kontrolle von Strahlparametern zu identifizieren, klassifizieren und zu begründen.

**Inhalt:**

Die Vorlesung bietet eine Einführung in die Grundlagen der Physik moderner Teilchenbeschleuniger anhand von Beispielen aktueller Maschinen (wie z.B. LHC am CERN und ANKA am KIT). Folgende Themenschwerpunkte werden behandelt:

Grundtypen von Beschleunigern (u.a. elektrostatische Beschleuniger, Linacs, Kreisbeschleuniger, Speicherringe & Collider)

Grundlagen der Synchrotronstrahlung

Strahloptik und Strahldynamik (z.B. Magnetische Linsen, Strahleigenschaften, transversale & longitudinale Schwingung und Dämpfung)

Messung & Kontrolle von Strahlparametern

Performance-Grenzen von Beschleunigern (z.B. Ultra-kurze Elektronenpulse, hochintensive Protonenstrahlen, Strahl-Strahl-Wechselwirkungen bei Collidern)

Neue Technologien, aktuelle & zukünftige Projekte

**Literatur (Auswahl):**

E.J.N. Wilson: An Introduction to Particle Accelerators, Oxford University Press, 2001

H. Wiedemann: Particle Accelerator Physics 1&2, Springer, 1993

K. Wille: Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen, Teubner Studienbücher, 2. Aufl., 1996

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern, Vorrechnen in der Übung, ggf. Kurzvorträge im Rahmen der Vorlesung/Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.

# Modul: Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028131/4028134

**Modulverantwortliche:** Baumbach, Tilo; Hofmann, Ralf

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Modul: Optics und Photonics

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028131 Vorlesung 2 SWS; Hofmann, Ralf, Baumbach, Tilo

4028134 Übung 2 SWS; Hofmann, Ralf

**Vorraussetzungen:** Die angebotenen Übungen sind als Leistungsnachweis erforderlich. Die Übungen enthalten optional die Möglichkeit der betreuten Durchführung von drei Experimenten an modernsten Röntgengeräten der Nationalen Synchrotronstrahlungsanlage ANKA am KIT CN.

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagen der klassischen Elektrodynamik, Optik und Basiswissen zur Festkörperphysik

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll die experimentellen und theoretischen Grundlagen für die Durchführung der Datenakquisition bzw – interpretation in Hinsicht auf 2D und 3D Röntgenbildgebung im Real- und reziproken Raum erlangen. Dazu gehören mikroskopische Absorptions - und (nicht-)interferometrische Phasenkontrastbildgebung, diffraktionsverstärkte Beugung, und Streumethoden. Die Vorlesung stellt Verbindungen zu routinemäßigen Anwendungen dieser Methoden in den Lebenswissenschaften und der Festkörperforschung an ANKA her auch mittels konkreter experimenteller Gruppenarbeit, um das in der Vorlesung gewonnene Wissen anzuwenden.

**Inhalt:**

Die Vorlesung schlägt eine Brücke von den physikalischen Grundlagen zu modernen Röntgenmethoden für Physiker, Chemiker und Werkstoffwissenschaftler und gibt einen Überblick über wichtige gegenwärtige Anwendungsfelder:

- Theoretische und experimentelle Grundlagen zur Röntgenoptik und Röntgenanalytik, insbesondere Computertomographie, Röntgenmikroskopie, -beugung und -streuung.
- Moderne Instrumentierung im Röntgenlabor und an physikalischen Großgeräten (Synchrotronspeicherringe, Freie Elektronenlaser).
- Anwendungsbeispiele aus der Kristallographie, den Nanowissenschaften und den Lebenswissenschaften.

**Literatur:**

Jens Als-Nielsen, Des McMorrow: Elements of Modern X-Ray Physics, John Wiley & Sons, Ltd

M. Born und E. Wolf; Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light, Cambridge University Press (2006, 7th edition)

J. M. Cowley; Diffraction physics, Elsevier (1995)

D. M. Paganin, Coherent X-ray Optics, Oxford Science Publications

U. Pietsch, V. Holy, T. Baumbach, High-resolution X-ray scattering, Springer NY (2004)

**Leistungsnachweis:**

Durchführung von Experimenten

Abgabe von Übungsblättern

Vorrechnen in der Übung

**Notenbildung:**

Entsprechend den Regeln der Prüfungsordnung und des Studienplans je nach Verwendung als Schwerpunkt-, Ergänzungs- oder Nebenfach.