

# Modulhandbuch Physik (M.Sc.)

Wintersemester 2014/2015

KIT Campus Süd - Fakultät für Physik



<b>Qualifikationsziele</b> .....	3
<b>Studienplan für den Master-Studiengang Physik</b> .....	5
<b>Übersicht über die einzelnen Module</b> .....	21
<b>Modul:</b> Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten.....	22
<b>Modul:</b> Solid-State Optics.....	23
<b>Modul:</b> Nano-Optics .....	24
<b>Modul:</b> Advanced Optical Materials .....	25
<b>Modul:</b> Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I.....	26
<b>Modul:</b> Quantum information processing with solid-state devices.....	27
<b>Modul:</b> Supraleiter-Nanostrukturen .....	28
<b>Modul:</b> Nanotechnologie I .....	29
<b>Modul:</b> Astroteilchenphysik I .....	30
<b>Modul:</b> Einführung in die Kosmologie .....	31
<b>Modul:</b> Teilchenphysik I.....	32
<b>Modul:</b> Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung .....	33
<b>Modul:</b> Elektronik für Physiker.....	34
<b>Modul:</b> Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik.....	35
<b>Modul:</b> Teilchenphysik II: Experimentelle Flavour-Physik.....	36
<b>Modul:</b> Ausgewählte Probleme der Quantenmechanik.....	37
<b>Modul:</b> Computational Photonics.....	38
<b>Modul:</b> Theoretische molekulare Biophysik .....	39
<b>Modul:</b> Theorie der Kondensierten Materie I .....	40
<b>Modul:</b> Mikroskopische Theorie der Supraleitung.....	41
<b>Modul:</b> Theoretische Teilchenphysik II .....	42
<b>Modul:</b> QCD und Kolliderphysik .....	43
<b>Modul:</b> Physik jenseits des Standardmodells .....	44
<b>Modul:</b> Elektronenmikroskopie I .....	45
<b>Modul:</b> Elektronenoptik.....	46
<b>Modul:</b> Beschleunigerphysik II: Synchrotronstrahlungsquellen.....	47
<b>Modul:</b> Kristallographische Grundlagen der Festkörperphysik ("Kristallographie").....	48
<b>Modul:</b> Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering .....	49
<b>Modul:</b> Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation .....	50

# 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 forschungsnahen 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“ erlernt. 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: 18. September 2014 ([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.

---

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

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

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 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
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>	*	SWS	ECTS
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

\*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: Solid-State Optics

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020011

**Modulverantwortliche:** Michael Hetterich

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Optik und Photonik, Kondensierte Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5

**Arbeitsaufwand:** 300 Stunden, bestehend aus Präsenzzeiten (75) und Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung (225)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020011 Vorlesung 4 SWS; M. Hetterich

4020012 Übung 1 SWS; M. Hetterich

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen durch die Vorlesung und begleitende Diskussionen im Rahmen der Übung in grundlegende theoretische Konzepte sowie makroskopische und mikroskopische Modelle zur Beschreibung der optischen Eigenschaften von Festkörpern eingeführt werden, darüber hinaus auch in die entsprechenden experimentellen Messmethoden. Insbesondere sollen sie die Lage versetzt werden, das erworbene Wissen auf konkrete Probleme im Bereich der experimentellen Festkörper-Optik anzuwenden.

**Inhalt:**

Maxwell's equations, refractive index, dispersion, dielectric function, extinction, absorption, reflection, continuity conditions at interfaces, anisotropic media and layered systems, Drude–Lorentz model, reststrahlen bands, Bloch states and band structure, perturbation theory of light–matter interaction, band to band transitions, joint density of states, van Hove singularities, phonon and exciton polaritons, plasmons, metals, semiconductor heterostructures, low-dimensional systems, group theory and selection rules, nonlinear optics, high-excitation effects in semiconductors, measurement of optical functions: Fourier spectroscopy, ellipsometry, modulation spectroscopy, photoluminescence, reflectometry, absorptivity.

**Literatur:**

C. Klingshirm: Semiconductor Optics (Springer). F. Wooten: Optical Properties of Solids (Academic Press), H. Ibach and H. Lüth, Solid-State Physics.

**Leistungsnachweis:**

Mündliche Prüfung

**Notenbildung:**

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

# Modul: Nano-Optics

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020021

**Modulverantwortliche:** Naber, Andreas

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Optik und Photonik, 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 (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:** 4020021 Vorlesung 3 SWS; 4020022 Übung 1 SWS

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in Optik

**Qualifikationsziele:** The students

- improve their understanding of general principles in electrodynamics and optics
- have a deeper understanding of the theoretical background in optical imaging and its relation to phenomena on a nanoscale
- are familiar with conventional techniques in optical microscopy and make use of their knowledge for the understanding of nano-optical methods
- realize the necessity of completely new experimental concepts to overcome the constraints of classical microscopy in the exploration of optical phenomena beyond the diffraction limit
- understand the basics of different experimental approaches for optical imaging on a nanoscale
- are able to discuss pros and cons of these techniques for applications in different fields of physics and biology
- are aware of the importance of nano-optical methods for the elucidation of long-standing interdisciplinary issues

**Inhalt:** The lecture gives an introduction to theory and instrumentation of advanced methods in optical microscopy. Emphasis is laid on far- and near-field optical techniques with an optical resolution capability on a 10- to 100-nm-scale which is well below the principal limit of classical microscopy. Applications from different scientific disciplines are discussed (e.g., nano-antennas, single-molecule detection, plasmon-polariton propagation on metal surfaces, imaging of biological cell compartments including membranes).

**Literatur:** Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:** Vorrechnen von Übungsaufgaben; Referate

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

# Modul: Advanced Optical Materials

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020041

**Modulverantwortliche:** W. Pernice, M. Wegener

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

Kondensierte Materie, 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. (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020041 Vorlesung 3 SWS; W. Pernice, M. Wegener

4020042 Übung 1 SWS; W. Pernice

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe künstlich hergestellter photonischer Materialien und deren Anwendungen eingeführt werden, die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen lernen, sowie relevante Fertigungs- und Messmethoden kennen lernen. In der Übung soll der Studierende konkrete Problemstellungen der Nanophotonik lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

In der Vorlesung werden angewandte Konzepte der Nanophotonik und deren Umsetzung in nicht in der Natur vorkommende optische Materialien vermittelt. Die Vorlesung konzentriert sich dazu auf die Themen photonische Kristalle, Metamaterialien und Plasmonik. Diese Themen werden anhand von aktuellen Forschungsergebnissen dargestellt und sollen einen Einblick in den Stand der Technik, sowie deren Umsetzung und Anwendung bieten. Darüber hinaus werden einführende Themenstellungen der integrierten Optik in Zusammenhang mit Wellenleitung und Diffraktionsphänomenen vermittelt.

Inhalt:

- Einführung (Maxwell's Gleichungen, phenomenologische Materialmodelle, Prinzipien der optischen Wellenleitung)
- Photonische Kristalle (photonische Bandstrukturen, 1D-, 2D-, 3D- photonische Kristalle, Defekte, Numerische Methoden, Photonische Kristallfasern)
- Plasmonik (Oberflächenplasmonen, metallische Nanopartikel, optische Antennen, plasmonische Wellenleiter)
- Metamaterialien (negativer Brechungsindex, Transformationsoptik Mikrowellen und photonische Metamaterialien, 3D Metamaterialien)

Integriert optische Schaltkreise (optische Wellenleiter, nicht lineare optische Materialien, durchstimmbare optische Bauteile).

**Literatur:**

Photonic Crystals, Molding the Flow of Light, J.D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade, Princeton University Press (2008)

Optical Properties of Photonic Crystals, K. Sakoda, Springer (2001)

Principles of Nano-Optics, L. Novotny, B. Hecht, Cambridge University Press (2006)

Plasmonics: Fundamentals and Applications", S. Maier, Springer (2007)

**Leistungsnachweis:**

Klausur nach Ende der Lehrveranstaltung.

**Notenbildung:**

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

# Modul: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021011

**Modulverantwortliche:** Hilbert v. Löhneysen Frank Weber

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5

**Arbeitsaufwand:** 300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (225)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021011 Vorlesung 4 SWS; Hilbert v. Löhneysen, Frank Weber

4021012 Übung 1 SWS; Hilbert v. Löhneysen, Frank Weber

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen die Konzepte zur Beschreibung von magnetischen Wechselwirkungen und magnetischen Strukturen kennen lernen, sowie die wichtigsten experimentellen Methoden, auf deren Basis diese Konzepte erstellt bzw. verifiziert wurden

**Inhalt:**

1. Grundbegriffe des Magnetismus
2. Magnetische Wechselwirkungen
3. Phasenübergänge
4. Magnetische Strukturen
5. Stark korrelierte Elektronensysteme

**Literatur:**

- N. W. Ashcroft, N. D. Mermin: Festkörperphysik
- H. Ibach, H. Lüth: Festkörperphysik
- C. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik
- S. Blundell, Magnetism in Condensed Matter
- J. M. D. Coey, Magnetism and magnetic materials
- P. M. Chaikin, T. C. Lubensky, Principles of condensed matter physics
- Bergmann-Schäfer: Festkörperphysik, 2005, Kap. 5 Magnetismus
- J. Crangle, The Magnetic Properties of Solids
- W. Gebhardt, U. Krey, Phasenübergänge und kritische Phänomene

**Leistungsnachweis:**

Anwesenheit in den Übungen und Vorrechnen.

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

## **Modul:** Quantum information processing with solid-state devices

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021021

**Modulverantwortliche:** Ustinov, Alexey; Lisenfeld, Jürgen

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

Kondensierte Materie, Nanotechnologie, Quanteninformationsverarbeitung

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen. (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021021 Vorlesung 2 SWS; J. Lisenfeld; A.V. Ustinov

4021022 Übungen 2 SWS; J. Lisenfeld; A.V. Ustinov

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Quantenmechanik

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende erwirbt ein grundlegendes Verständnis der Prinzipien der Quanteninformationsverarbeitung und der Funktionsweise von Computern auf Basis von Quantenbits (Qubits). Dies umfasst das Erlernen der theoretischen Grundlagen zur mathematischen Behandlung von Qubit-Zuständen, wie beispielsweise deren Transformation im Sinne logischer Rechenoperationen, aber auch die Funktionsweise von Quanten-Algorithmen als Software eines Quantencomputers. Dieser Teil wird in den begleitenden Übungen vertieft, indem von den Studierenden selbständig gelöste einfache Beispielprobleme diskutiert werden. Da der Hauptteil der Vorlesung auf der Diskussion verschiedenster experimenteller Realisierungsansätzen von Quantenrechnern liegt, erwirbt der Studierende einen breiten Einblick in modernste experimentelle Grundlagenforschung, u.a. aus den Gebieten Quantenoptik, magnetische Kernresonanz und Supraleitung. Speziell zum Thema supraleitender Quantenbits wird der Studierende seine Kenntnisse vertiefen, zum Beispiel bei der Analyse elektromagnetischer Quantenschaltkreise oder dem Studium von Josephson-Kontakten.

**Inhalt:**

Diese Vorlesung behandelt das Konzept des Quantencomputers aus vorrangig experimenteller Sicht. Nach einer Einführung in die theoretischen Grundlagen von Quantenbits und Quanten-Algorithmen werden verschiedene Ansätze zur Realisierung von Quantencomputern vorgestellt. In je einer Vorlesungsstunde werden u.a. behandelt: Kernspin-Magnetresonanz, Photonen, Ionenfallen und Atomchips, auf Helium schwimmende Elektronen, Spin- und Ladungsqubits, Quantenpunkte und die Familie der supraleitenden Quantenbits. Weiterhin werden Experimente zur Quantenkryptographie und Quanten-Teleportation vorgestellt.

**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: Supraleiter-Nanostrukturen

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021031

**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. (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021031 Vorlesung 2 SWS; D. Beckmann

4021032 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 der Supraleitung 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 die Grundlagen der Supraleitung besprochen (BCS-Theorie). Diese werden angewandt auf elektronische Transporteigenschaften von Nanostrukturen, deren Abmessungen mit der Kohärenzlänge der Supraleitung vergleichbar sind. Dabei werden die wesentlichen Transportprozesse (Tunneln, Andreevreflexion, Josephson-Effekt) behandelt, die Konkurrenz von Supraleitung mit anderen Grundzuständen (normales Metall, Ferromagnet) diskutiert (Proximity-Effekt), und deren Wechselspiel in komplexen Nanostrukturen beleuchtet. Die Grundlagen werden durch zahlreiche Beispiele aus der aktuellen Forschung illustriert.

**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 I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021041

**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. (90)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021041 Vorlesung 2 SWS; G Goll

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende vertieft sein Wissen in einem Gebiet der Nano-Physik, beherrscht die relevanten theoretischen Konzepte und ist mit grundlegenden Techniken und Messmethoden der Nano-Analytik und der Lithographie vertraut.

**Inhalt:**

Einführung in zentrale Gebiete der Nanotechnologie;

Vermittlung der konzeptionellen, theoretischen und insbesondere methodischen Grundlagen:

- **Methoden der Abbildung und Charakterisierung (Nanoanalytik)**  
Grundlegende Konzepte der Elektronenmikroskopie und der damit verbundenen analytischen Möglichkeiten werden einführend behandelt. Rastersondenverfahren wie die Tunnel- und die Kraftmikroskopie zur Untersuchung und Abbildung leitfähiger bzw. isolierender Probenoberflächen werden diskutiert. Spektroskopische Möglichkeiten der Rastersondenverfahren werden ergänzend erläutert.
- **Methoden der Herstellung von Nanostrukturen (Nanolithographie und Selbstorganisation)**  
Entlang der einzelnen Prozessschritte von der Belackung über die Belichtung bis hin zur Strukturübertragung durch Ätzen und Bedampfen werden die eingesetzten Methoden erläutert, deren Einsatzgrenzen diskutiert und aktuelle Entwicklungen aufgezeigt.

Die Vorlesung „Nanotechnologie II“ behandelt im Sommersemester Anwendungsgebiete und aktuelle Forschungsthemen.

**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:**

Je nach Teilnehmerzahl in Form einer Klausur, eines Referates oder einer mündlichen Einzelprüfung.

**Notenbildung:**

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

# Modul: Astroteilchenphysik I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022011

**Modulverantwortliche:** Guido Drexlin, Kathrin Valerius

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022011 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

4022012 Übung 2 SWS; G. Drexlin, K. Valerius

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse aus Vorlesung „Kerne und Teilchen“

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden sollen eingeführt werden in die Grundbegriffe der Astroteilchen-physik. Die Vorlesung vermittelt sowohl die theoretischen Konzepte wie auch die experimentellen Methoden dieses neuen dynamischen Arbeitsfeldes an der Schnitt-stelle von Elementarteilchenphysik, Kosmologie und Astrophysik. Die Studierenden lernen anhand konkreter Fallbeispiele aus der aktuellen Forschung die Konzepte zu verstehen und werden befähigt, die erlernten Methoden eigenständig anwenden zu können.

*Methodenkompetenzerwerb:*

- Verständnis der Grundlagen der experimentellen Astroteilchenphysik
- Erkenntnis von methodischen Querverbindungen zur Elementarteilchen-physik, Astrophysik und Kosmologie
- Erwerb der Fähigkeit, ein aktuelles Forschungsthema eigenständig sowie im Team darzustellen
- Erwerb der Fähigkeit, die Konzepte und experimentellen Methoden in der Masterarbeit umzusetzen

**Inhalt:**

Die behandelten Themengebiete umfassen eine allgemeine Einführung in das Arbeitsgebiet mit seinen fundamentalen Fragestellungen, theoretischen Konzepten und experimentellen Methoden. Entsprechend den sehr unterschiedlichen Energie-skalen (meV –  $10^{20}$  eV) der Astroteilchenphysik gliedert sich die Vorlesung in eine Diskussion der Prozesse im thermischen (niedrige Energien) und nichtthermischen (hohe Energien) Universum. Einen besonderen Schwerpunkt der Vorlesung bildet eine umfassende Darstellung von modernen experimentelle Techniken, z.B. bei der Suche nach sehr seltenen Prozessen. Darauf aufbauend wird im zweiten Teil der Vorlesung eine umfassende Einführung in das „dunkle Universum“ und die Suche nach Dunkler Materie gegeben. Die Vorlesung ist Grundlage von weiteren Vorlesungen zu diesem Thema (Astro-teilchenphysik II).

**Literatur:**

- Donald Perkins, Particle Astrophysics (Oxford University Press, 2. Auflage, 2009)
- Claus Grupen, Astroparticle Physics (Springer, 2005)
- Lars Bergström & Ariel Goobar, Cosmology and Particle Astrophysics (Wiley, 2. Auflage, 2006)
- Malcolm Longair, High Energy Astrophysics (Cambridge University Press, 3. Auflage, 2011)

**Leistungsnachweis:**

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

Erfolgreiche Teilnahme am Blockpraktikum

**Notenbildung:**

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

# Modul: Einführung in die Kosmologie

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022021

**Modulverantwortliche:** Guido Drexlin

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfelder: Experimentelle Astroteilchenphysik/  
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 (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022021 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin

4022022 Übung 1 SWS; G. Drexlin, S. Mertens

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse aus Vorlesung „Kerne und Teilchen“ **Lernziele:**

Die Studierenden sollen eingeführt werden in die Grundbegriffe der Kosmologie. Die Vorlesung vermittelt hierbei sowohl die theoretischen Konzepte wie auch einen Überblick über moderne experimentelle Methoden und Beobachtungstechniken. Die Studierenden werden anhand von konkreten Fallbeispielen aus der modernen Kosmologie in die Lage versetzt, die Konzepte zu verstehen und werden befähigt, die erlernten Methoden im Rahmen späterer eigenständiger Forschung anzuwenden.

*Methodenkompetenzerwerb:*

Verständnis der Grundlagen der Kosmologie

Erkenntnis von methodischen Querverbindungen zur Elementarteilchen-physik und Astroteilchenphysik

Erwerb der Fähigkeit, sich in aktuelle Forschungsthemen eigenständig einzuarbeiten als Vorbereitung zur Masterarbeit

**Inhalt:**

Die Vorlesung bietet eine Einführung in die moderne Kosmologie, die in den letzten Jahren durch den Einsatz modernster Technologien (Planck-Satellit, Galaxiendurchmusterungen 2dF und SDSS) und begleitender rechenintensiver Simulationen (Millennium) einen enormen Aufschwung genommen hat. Die Vielzahl an Beobachtungen hat zur Aufstellung eines sog.  $\Lambda$ CDM-Konkordanz-Modells geführt, in dem die Beiträge der Dunklen Energie und der Dunklen Materie die Entwicklung von großräumigen Strukturen im Universum dominiert.

Ausgehend von einer Beschreibung des frühen Universums mit den Stützpfeilern der Big Bang Theorie (Hubble-Expansion, Nukleosynthese, kosmische Hintergrundstrahlung) wird die Entstehung und Evolution von großräumigen Strukturen im Universum bis zum heutigen „dunklen Universum“ diskutiert. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer eingehenden Darstellung modernster experimenteller Techniken und Analysemethoden, die breiten Eingang in weite Bereiche der Physik gefunden haben. Die Vorlesung vermittelt damit ein kohärentes Abbild der modernen Kosmologie und diskutiert grundlegende Fragen auch auf Nachbardisziplinen wie Teilchenphysik und Astrophysik und kann daher mit anderen Vorlesungen aus dem Bereich der Experimentellen Astroteilchenphysik und Experimentellen Teilchenphysik ergänzt werden.

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

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

**Notenbildung:**

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

# Modul: Teilchenphysik I

**Lehrveranstaltungsnummer:** 2202031

**Modulverantwortlicher:** Prof. Dr. Müller, Thomas

**Einordnung in Studiengang:** Physik (Master), Teil eines Schwerpunkts- oder Ergänzungsfachs oder Nebenfach im Bereich Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** ca. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

2202031 Vorlesung Teilchenphysik I (3 SWS): Th. Müller

2202032 Praktische Übungen zur Teilchenphysik I (1 SWS): Th.Müller, T. Chwalek, R. Eber, M. Mozer

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundkenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang Physik.

**Qualifikationsziele:**

Einführung in die aktuellen Erkenntnisse und Messmethoden der experimentellen Elementarteilchenphysik. Die Studierenden werden befähigt, aktuelle Daten und Abbildungen aus der wissenschaftlichen Literatur zu interpretieren und den aktuellen Stand der Forschung sowie wichtige „offene Fragen“ darzustellen. Die Studierenden können Techniken der statistischen Datenanalyse und Monte-Carlo-Simulation auf einfache Probleme der Teilchenphysik anwenden und eine grundlegende Charakterisierung von Silizium-Spurdetektoren im Labor durchführen.

**Inhalt:**

Vorlesung:

- Grundbegriffe der Elementarteilchenphysik, Beschleuniger und Detektoren
- Grundlagen des Standardmodells, Flavour-Physik, QCD, high-Pt Physik, Physik des Higgs-Bosons, Neutrino-Physik
- Physik jenseits des Standardmodells

Praktische Übungen:

- Aktuelle Methoden der Monte-Carlo-Simulation und Datenanalyse
- Messungen an modernen Silizium-Spurdetektoren.

**Literatur:**

- D. Griffith: Introduction to Elementary Particles, Wiley (2008),
- A. Bettini: Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge (2008),
- D. Perkins: Introduction to High Energy Physics, Cambridge (2000),
- K. Kleinknecht: Detektoren für Teilchenstrahlung, Teubner (2005).

Weitere Literaturhinweise werden in der Vorlesung gegeben.

**Leistungsnachweis:**

- Testate von Übungsprojekten
- Kurzvorträgen im Rahmen der Übung

**Notenbildung:**

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

## **Modul: Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022041

**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 (135)

**Modulturnus:** SS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022041 Vorlesung 2 SWS; J. Blümer, R. Engel

4022042 Übung 1 SWS; R. Engel, D. Veberic

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine, die Vorlesung ist komplementär zum Modul Astroteilchenphysik I angelegt und kann dazu parallel gehört werden

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll die Grundbegriffe und Konzepte der Astrophysik hochenergetischer Teilchen verstehen und für die Diskussion moderner Beobachtungsergebnisse anwenden können. Typische Näherungen und Betrachtungen der Astrophysik sollen für den Teilnehmenden nachvollziehbar werden. In der Übung soll der Studierende ausgewählte Probleme der Astroteilchenphysik lösen und in der Gruppe diskutieren.

**Inhalt:**

Die Vorlesung wird als Tafelanschrieb und mit vorher ausgehändigtem Bildmaterial gehalten. Besonderer Wert wird auf die explizite Ableitung der wesentlichen Zusammenhänge gelegt. Die Themen umfassen astrophysikalische Energie- und Größenskalen; Eigenschaften kosmischer Strahlung; direkte und indirekte Messung kosmischer Strahlung; Beschleunigung geladener Teilchen; Galaxien und galaktische Magnetfelder; galaktische und extragalaktische Ausbreitung kosmischer Strahlung; Quellen kosmischer Strahlung; Teilchenphysik und Suche nach exotischen Phänomenen mit kosmischer Strahlung; hochenergetische Neutrinos. Zusammen mit „Astroteilchenphysik II: Gamma-Strahlung“ im folgenden Semester ergeben die beiden Vorlesungen ein abgeschlossenes Bild hochenergetischer Teilchen mit ihren zugrundeliegenden Erzeugungs- und Transportprozessen im Universum. Die Themenspektren beider Vorlesungen sind so angelegt, dass sie auch einzeln gehört werden können.

**Literatur:**

T.K. Gaisser: Cosmic Rays and Particle Physics

T. Stanev: High Energy Cosmic Rays

P. Schneider: Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie

M. Longair: High Energy Astrophysics

**Leistungsnachweis:**

Nach Absprache, 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: Elektronik für Physiker

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022061

**Modulverantwortliche:** Marc Weber, Klaus Rabbertz

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 4+4

**Arbeitsaufwand:** 300 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten Vorlesung (60), Praktikum (40),  
Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung des Praktikums und gegebenenfalls  
Prüfungsvorbereitung (200)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

## Lehr- und Lernformen:

4022061 Vorlesung Elektronik für Physiker; Marc Weber

4022062 Praktische Übungen zur Elektronik für Physiker; M. Weber, K. Rabbertz

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Interesse an Elektronik

## Qualifikationsziele:

Vertiefung in einem Gebiet der experimentellen Astroteilchenphysik oder Teilchenphysik. Vermittlung eines Grundverständnisses der analogen und digitalen Elektronik und ihrer Anwendung in der experimentellen Physik.

## Inhalt:

Einführung in die analoge und digitale Elektronik:

- Grundlagen, lineare Netze, passive Bauelemente, elementare Schaltkreisanalyse, Filter, Schwingkreise
- Aktive Bauelemente: Diode und Transistor
- Grundsaltungen mit einem und zwei Transistoren, Operationsverstärker
- Zahlensysteme, Schaltalgebra, Logikbausteine, Flip-Flops, Speicher
- Analog-Digital-Wandler
- Programmierbare Elektronik: CPLDs, FPGAs
- Aufbau- und Verbindungstechnik

## Literatur:

Literatur wird in der Vorlesung genannt. Außerdem wird ein Skript bereitgestellt.

## Leistungsnachweis:

Durch erfolgreiche Teilnahme am Praktikum.

## Notenbildung:

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

# Modul: Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022071

**Modulverantwortliche:** Quast, Günter; Ulrich, Ralf

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

Experimentelle Astroteilchenphysik, Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 3 bzw. 4

**Arbeitsaufwand:** 180 bzw. 240 h bestehend aus Präsenzzeiten (45 bzw. 60 h), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022071 Vorlesung 2 SWS; G. Quast, R. Ulrich

4022072 Übung+Praktikum 1+1 SWS; G. Quast, R. Ulrich

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Teilchenphysik. Hilfreich sind auch Grundlagen der Elektronik.

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der Experimentellen Teilchen- und Astroteilchenphysik. Die Studierenden lernen experimentelle Aspekte der Messung von Teilcheneigenschaften. Damit erlernen sie die Grundlagen für eine detaillierte Analyse experimenteller Daten, die Simulation von komplexen Experimenten sowie die Arbeit mit modernen Teilchen-Detektoren.

**Inhalt:**

Wechselwirkung von Elektronen, Photonen, Myonen, geladenen und neutralen Hadronen mit Materie; elektronischer Nachweis von Teilchenstrahlung und Messung der deponierten Energie sowie Teilchenidentifikation; Gasdetektoren, Szintillatoren, Photomultiplier, Silizium-Detektoren, elektromagnetische und hadronische Kalorimeter, Detektorsysteme, Trigger und Datenerfassung, Rekonstruktion von physikalischen Objekten in Detektorsystemen, Anwendungen außerhalb der Grundlagenforschung.

**Literatur:**

K. Kleinknecht, "Detektoren für Teilchenstrahlung", Teubner

W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", Springer

C. Grupen, "Teilchendetektoren", Spektrum Akademischer Verlag

G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", Wiley

Review of Particle Physics, [Particle Data Group](#)

**Leistungsnachweis:**

In Form von Übungsblättern, Computer-Übungen und Praktikum

**Notenbildung:**

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

# Modul: Teilchenphysik II: Experimentelle Flavour-Physik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022081

**Modulverantwortliche:** Michael Feindt, Thomas Kuhr

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
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 (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4022081 Vorlesung 2 SWS; M. Feindt, T. Kuhr

4022082 Übung 1 SWS; M. Feindt, P. Goldenzweig

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Kenntnisse der experimentellen Teilchenphysik aus der Vorlesung Moderne Experimentalphysik III im Bachelorstudiengang werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Wir wollen den Teilnehmern des Kurses mit der Flavour-Physik den Schlüssel zu einem besseren Verständnis der fundamentalen Naturgesetze an der Präzisionsfront nahebringen. Dabei soll es sowohl um die zugrunde liegenden Konzepte, als auch um praktische Erfahrungen gehen, die zu einem gelungenen Einstand in die eigene Forschung beitragen.

**Inhalt:**

Teilchenbeschleuniger erlauben, die fundamentalen Bausteine und Kräfte der Natur zu studieren. Neben der Verwendung immer höherer Energien kann das Wissen auf diesem Gebiet auch durch Messungen mit immer höherer Präzision erweitert werden. Solche Präzisionsmessungen werden sowohl am CERN und am Tevatron an Vielweckexperimenten, wie auch in speziellen Flavour-Fabriken am SLAC oder am KEKB-Beschleuniger in Japan, erfolgreich durchgeführt.

Während der Vorlesung wollen wir experimentelle Methoden und bestimmte Schlüsselprozesse – Mesonenmischung, CP-Verletzung, seltene Zerfälle – vorstellen. In der Übung soll zusätzlich noch auf Handwerkszeug für den Alltag, wie etwa Winkelverteilungen und Quantenzahlen und Informationssysteme im Internet eingegangen werden.

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern, mündliche Kleingruppen- oder Einzelprüfung

**Notenbildung:**

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

# Modul: Ausgewählte Probleme der Quantenmechanik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023011

**Modulverantwortliche:** Gerd Schön, Michael Marthaler

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik

Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 3V+1Ü

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Ausarbeitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** unregelmäßig angeboten

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023011 Vorlesung 3 SWS; G. Schön

4023012 Übung 1 SWS; G. Schön, M. Marthaler

**Vorraussetzungen:** Erfolgreiche Teilnahme an den Kursen des Bachelor-Studienganges Physik.

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die weiterführende Konzepte der Quantenphysik, die in der Quantenoptik und Quanteninformation benötigt werden, eingeführt werden, die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen und anwenden lernen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme der Quantenphysik in Gruppen lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:**

I. Harmonischer Oszillator (Fock Zustände, kohärente Zustände, squeezed states, Dichtematrix, Wigner Funktion, Quantisierung des Strahlungsfelds)

II. Interferenzexperimente (Michelson, Hanbury-Brown-Twiss, bunching und antibunching)

III Spin  $\frac{1}{2}$  und 2-Niveau Atome (Spindynamik, Quantencomputer, Dekohärenz und Relaxation, Lindblad-Form der Liouville-Gleichung)

IV. Atom im quantenmechanischen Strahlungsfeld (Quantenelektrodynamik, Jaynes-Cummings-Modell, Vakuum Rabi Splitting, Theorie des Lasers, Dark States und STIRAP)

V. Dämpfung in der Quantenmechanik (Bloch-Redfield-Theorie für Relaxation, Dephasierung)

VI. Verschiedenes (Bell'sche Ungleichungen, Berry-Phase)

**Literatur:**

M.O. Scully and M.S. Zubairy, Quantum Optics

**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: Computational Photonics**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023021

**Modulverantwortliche:** Carsten Rockstuhl

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

Optik und Photonik, Nano-Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 90 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (45)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023021 Vorlesung 2 SWS; C. Rockstuhl, G. Toscano

4023022 Übung 1 SWS; G. Toscano

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse der Optik, numerischen Physik und der höheren Mathematik werden vorausgesetzt, die Vorlesung wird in Englisch angeboten, ausreichend Sprachkenntnisse sind daher notwendig.

**Qualifikationsziele:**

Die Simulation der Wechselwirkung von Licht mit Materie ist für das Verständnis vieler optischer Effekte und Systeme heutzutage eine unabdingbare Voraussetzung. Diese numerischen Experimente erlauben Einblicke in die Systeme, welche mit experimentellen Methoden häufig nicht mehr zugänglich sind und erlauben die Analyse von Systemen, welche mit experimentellen Methoden heutzutage noch nicht zu realisieren lassen.

Die numerische Lösung der Maxwell'schen Gleichungen, gemeinhin das Fundament der Optik und Photonik, ist dabei besonders kompliziert und herausfordernd, wenn Näherungen nicht möglich sind und man die Gleichungen rigoros im Sinne einer exakten Lösung berechnen muss. Dieser Aspekt ist besonders wichtig im Kontext der Mikro- und Nanooptik.

In dieser Vorlesung sollen die wichtigsten Strategien zur numerischen Lösung der Maxwell'schen Gleichungen vorgestellt werden. Dies betrifft die Darstellung der theoretischen Grundlagen der zu Grunde liegenden Idee, spezielle Aspekte die auftreten bei der Portierung des Problems in eine numerisch diskrete Basis, aber auch Beispiele für modern Anwendungen aus dem Gebiet der Mikro- und Nanooptik.

**Inhalt:**

In der Vorlesung werden systematisch verschiedene numerische Methoden zur Lösung der Maxwell'schen Gleichungen besprochen. Dabei unterscheiden wir allgemein Verfahren, welche die Maxwell'schen Gleichungen direkt lösen, wollen aber besonders auch Verfahren besprechen, welche anwendbar sind für eine bestimmte Geometrie, z.B. für eine strikt periodische Anordnungen von Materie oder auch für die Beschreibung des Problems der Wechselwirkung von Licht mit hochsymmetrischen Strukturen wie Kugeln.

Die Vorlesung wird komplettiert mit einer Übung, in welcher am Computer einige ausgewählte Verfahren in Matlab selbst implementiert werden sollen.

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Vorführung und Diskussion eigener Programmiersuche mit MatLab.

**Notenbildung:**

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

# Modul: Theoretische molekulare Biophysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 2203031

**Modulverantwortliche:** Wenzel, Wolfgang; Schug, Alexander

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Biophysik, Modellierung Nanoskaliger Systeme

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeit (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

2203031 **Theoretische molekulare Biophysik**

2203032 **Übungen zu Theoretische molekulare Biophysik**

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Kenntnisse der Thermodynamik

**Qualifikationsziele:** Aufbau von Biopolymeren, Modelle und Simulation der Strukturbildung und Funktion von Biopolymeren, insbesondere Proteine und DNA. Kenntnis von Verfahren zur Rechnergestützten Medikamentenentwicklung

**Inhalt:**

Fragestellungen aus dem Grenzgebiet zwischen Biologie, Chemie und Physik gewinnen zunehmend Bedeutung in der interdisziplinären Forschung. Theoretische Methoden der Biophysik und Biochemie können wesentlich dazu beitragen, biochemische Prozesse zu verstehen und zunehmend auch quantitativ zu beschreiben. Überlappend mit dem sich entwickelnden Gebiet der Bioinformatik erlauben physikalische Modelle die Analyse und zunehmend auch die Vorhersage fundamentaler biologischer Abläufe.

In dieser Vorlesung sollen die biophysikalischen Grundlagen und biochemischen Modelle für die Proteinstrukturvorhersage, eine der zentralen Fragestellungen der theoretischen Biophysik, erarbeitet werden: Proteine sind die Grundbausteine der Zelle, die für alle wesentlichen Prozesse von Pflanzen, Tieren und Menschen von Bedeutung sind. Sie werden im Gen kodiert und als chemisch lineare Moleküle synthetisiert. In dieser Vorlesung sollen die wichtigen biophysikalischen Grundlagen für die Modellierung von Proteinen vorgestellt und diskutiert werden. Darüber hinaus wird eine wichtige Anwendung dieser Verfahren, die rechnergestützte Medikamentenentwicklung, im Detail vorgestellt.

**Literatur:**

Daume, Molecular Biophysics, Brandon & Tooze: Introduction to Protein Structure Weitere Titel werden in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

50% der in den Übungsblättern erreichbaren Punkte, alternativ

Kurzvorträge im Rahmen der Vorlesung/Übung

**Notenbildung:**

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

## **Modul: Theorie der Kondensierten Materie I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024011

**Modulverantwortliche:** Alexander Mirlin

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Theorie der kondensierter Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12

**Semesterwochenstunden:** 6

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (270).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4024011 Vorlesung 4 SWS; A. Mirlin

4024012 Übung 2 SWS; A. Mirlin, I. Gornyi

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:** Einführung in die Theorie der kondensierten Materie sowie weitere Vertiefung in dem Gebiet; Erlangen von Wissen über wichtigste Phänomene und Konzepte.

**Inhalt:**

Vorlesungen und Übungen vermitteln bzw. vertiefen die grundlegenden Konzepte der Theorie der kondensierter Materie, wobei kristallinen Festkörpern besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Vorlesung sind:

- Kristallgitter, Elektronen im periodischen Potential, Dynamik von Bloch-Elektronen;
- Elektronische Transporteigenschaften von Festkörpern, Boltzmann-Gleichung;
- Festkörper im äußeren Magnetfeld: Pauli-Paramagnetismus, Landau-Diamagnetismus, de Haas-van Alphen-Effekt
- Elektron-Elektron-Wechselwirkung, Stoner-Theorie des Ferromagnetismus; Landau-Theorie von Fermi-Flüssigkeiten;
- Phononen und Elektron-Phonon-Wechselwirkung;
- Supraleitung: BCS-Theorie, Elektrodynamik von Supraleitern, Ginzburg-Landau-Theorie

**Literatur:**

C. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik (Oldenburg, 1980) / Introduction to Solid State Physics.

C. Kittel, Quantum Theory of Solids.

N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, Solid State Physics (Holt, Rinehart & Winston, N.Y 1976).

J.H. Ziman, Principles of the Theory of Solids (Cambridge, Univ. Press, 1972).

A. A. Abrikosov, Fundamentals of the Theory of Metals

G. Czycholl, Theoretische Festkörperphysik (Springer, 2008)

J.C. Schrieffer, Theory of Superconductivity, Chapters 1-4.

M. Tinkham, Introduction to Superconductivity.

**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: Mikroskopische Theorie der Supraleitung

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024051

**Modulverantwortliche:** Jörg Schmalian

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er:  
Theorie der Kondensierten Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4024051 Vorlesung 2 SWS; Schmalian

4024052 Übung 2 SWS; Schmalian, Orth

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** *Besuch der Vorlesung TKM-I wird empfohlen*

**Qualifikationsziele:**

Erlangen von Wissen über die Grundlagen der Mikroskopischen Theorie der Supraleitung. Beherrschung unterschiedlicher Methoden zur Beschreibung supraleitender Systeme und der zugrundeliegenden physikalischen Konzepte. Lösen der zugehörigen Vielteilchengleichungen, Anwendung dieser Methoden auf komplexe Vielteilchensysteme mit supraleitenden Instabilitäten. Erlangen des physikalischen Verständnisses der unkonventionellen Supraleitung, der zugehörigen elektromagnetischen Eigenschaften von Supraleitern.

**Inhalt:**

*Ausserdiagonale Langreichweitige Ordnung, Symmetriebrechung und Supraleitung, Cooper-Instabilität, BCS-Theorie und Eliashberg Theorie, Unconventionelle Supraleitung, Topologische Supraleitung, Supraleitung in ungeordneten Systemen, Kollektive Anregungen von Supraleitern,*

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

In Form von:

Abgabe von Übungsblättern bzw. Vorrechnen in der Übung

Kurzvorträgen im Rahmen der Vorlesung/Übung

**Notenbildung:**

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

# Modul: Theoretische Teilchenphysik II

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026011

**Modulverantwortliche:** Kirill Melnikov

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12

**Semesterwochenstunden:** 4 + 2

**Arbeitsaufwand:** 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (270)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026011 Vorlesung 4 SWS; K. Melnikov

4026012 Übung 2 SWS; K. Melnikov, L. Tancredi

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Theoretische Teilchenphysik I

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe von nicht-abelische Eichtheorien eingeführt werden und die relevanten theoretischen Konzepte beherrschen lernen. In der Übung soll der Studierende konkrete Probleme der Theoretische Teilchenphysik lösen unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens.

**Inhalt:** Im Hauptteil der Vorlesung werden über nicht-abelische Eichtheorien und ihre Anwendungen in der Elementarteilchenphysik besprochen. Das Themenfeld enthält die Lagrangedichten von QCD und des Standardmodels, die

Feynmanregeln und störungstheoretische Rechnungen von Prozessen mit Quarks und Gluonen, die Regularisierung von ultravioletten Divergenzen, die Renormierung und Anwendungen der Renormierungsgruppe, QCD Beta-funktion und die Asymptotische Freiheit, die Renormierung von zusammengesetzten Operatoren und QCD-Effekte in der schwachen Wechselwirkung und Anomalien in Eichtheorien.

**Literatur:**

M. Peskin and Y. Schroeder, Introduction to Quantum Field Theory

**Leistungsnachweis:**

Bearbeitender Übungsblätter

**Notenbildung:**

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

## **Modul:** QCD und Kolliderphysik

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026021

**Modulverantwortliche:** Dieter Zeppenfeld, Stefan Gieseke

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung der Übungen (180).

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026021 Vorlesung 3 SWS; D. Zeppenfeld, S. Gieseke

4026022 Übung 1 SWS; D. Zeppenfeld, S. Gieseke

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in Theoretischer Physik, insbesondere Theoretischer Teilchenphysik.

**Qualifikationsziele:**

Die Teilnehmer erwerben Fertigkeiten zur Berechnung von Wirkungsquerschnitten und Zerfallsraten am LHC. Der Umgang mit kinematischen Variablen und Phasenraumschnitten für typische Signal- und Untergrundprozesse wird an Beispielen geübt. Die Studenten werden in die Lage versetzt, theoretische Unsicherheiten von Vorhersagen aus der perturbativen und nichtperturbativen Berechnung von Observablen zu bewerten.

**Inhalt:**

Partondichten und Berechnung von Wirkungsquerschnitten für Hadronkollider, Kinematik für Hadronkollider, Einführung in die QCD, Pfadintegralformulierung von Quantenfeldtheorien, Anwendung auf nichtabelsche Eichtheorien, Fadeev-Popov Geistfelder, Quantisierung der QCD, Berechnung von Wirkungsquerschnitten, kollinearer und weicher Limes der QCD, DGLAP Gleichung und Partonschauer, Renormierung, Faktorisierung.

**Literatur:**

wird in der Vorlesung bekannt gegeben.

**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: Physik jenseits des Standardmodells**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026031

**Modulverantwortliche:** Prof. Dr. Mühlleitner, Margarete

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

Theoretische Teilchenphysik, Erweiterungen jenseits des Standardmodells

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026031 Vorlesung 2 SWS; Prof. Dr. Mühlleitner, Margarete

4026032 Übungen 2 SWS; Prof. Dr. Mühlleitner, Margarete und Dr. Rauch, Michael

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Vorkenntnisse aus Theoretische Teilchenphysik I (idealerweise auch II)

**Qualifikationsziele:**

Vertiefung in einem Gebiet der Theoretischen Teilchenphysik, insbesondere in Modellen jenseits des Standardmodells.

**Inhalt:**

Singulett- und 2-Higgs-Dublett Erweiterungen des Standardmodells (SM), Supersymmetrie (MSSM, NMSSM), Composite Higgsmodelle, Portal Higgs

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

In Form von: Abgabe von Übungsblättern, Vorrechnen in der Übung

**Notenbildung:**

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

## **Modul: Elektronenmikroskopie I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027021

**Modulverantwortliche:** Gerthsen, Dagmar

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

Kondensierte Materie, Nano-Physik, Elektronenmikroskopie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 2 pro Woche für die Vorlesung und insgesamt 24 Stunden pro Semester für die Praktikumsversuche

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten: insgesamt 54 Stunden Präsenzzeiten, davon 30 Stunden für Vorlesung (15 Wochen · 2 SWS) und 24 Stunden für die Praktikumsversuche. Die restlichen Stunden dienen der Vorbereitung auf die Versuche, Anfertigung von Praktikumsprotokollen, Nachbereitung des Vorlesungsstoffes und Vorbereitung auf die Prüfung.

**Modulturnus:** in der Regel WS

**Moduldauer:** 1 Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4027021 Elektronenmikroskopie I 2 SWS; D. Gerthsen

4027022 Praktische Übungen zu Elektronenmikroskopie I, 2SWS; D. Gerthsen und Mitarbeiter

**Voraussetzungen:** keine, die Vorlesungen Elektronenmikroskopie I und II sind unabhängig voneinander

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundkenntnisse Optik, Festkörperphysik, Materialphysik oder Werkstoffkunde, Quantenmechanik

**Qualifikationsziele:**

Aus Analogien zur Lichtmikroskopie sollen die Studierenden Parallelen und Unterschiede zwischen Lichtmikroskopie und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) sowie Bildentstehung im Transmissionselektronenmikroskop verstehen. Die Studierenden können Wechselwirkung zwischen hochenergetischen Elektronen und Festkörpern beschreiben und erklären (kinematische Beugungstheorie und deren Grenzen bei der Wechselwirkung zwischen Elektronen und Festkörper, dynamische Beugungstheorie). Anhand theoretischer Konzepte für die dynamische Elektronenbeugung und den Abbildungsprozess soll ein Verständnis der TEM Bildinterpretation erreicht werden. Durch Anwendungsbeispiele aus der Festkörperphysik und Materialforschung sollen die Studierenden die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der TEM kennenlernen.

In den Praktischen Übungen werden die theoretischen Konzepte aus der Vorlesung sowie TEM Abbildungsmodi durch Arbeit in kleinen Gruppen visualisiert, geübt und vertieft.

**Inhalt:**

Transmissionselektronenmikroskopie, hochauflösende Transmissionselektronenmikroskopie, Raster-Transmissionselektronenmikroskopie, kinematische und dynamische Elektronenbeugung im Festkörper, TEM Kontrastentstehung mit Anwendungsbeispielen aus der Material- und Festkörperphysik, Elektronenholographie

**Literatur:**

D.B. Williams, C.B Carter, Transmission Electron Microscopy, 2<sup>nd</sup> edition, Springer

**Leistungsnachweis:**

Praktische Übungen: Abgabe von Protokollen, mündliche Prüfung des Vorlesungsstoffes

**Notenbildung:**

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

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (135)

**Modulturnus:** 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 II: Synchrotronstrahlungsquellen**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028011

**Modulverantwortliche:** Axel Bernhard; Anke-Susanne Müller

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

Kondensierte Materie

**Level:** Master

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (2V+1Ü)

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028011 Vorlesung 2 SWS; Bernhard, Axel; Müller, Anke-Susanne

4028012 Übung zu 4028011, 1 SWS; Bernhard, Widmann, Hillenbrand

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagenkenntnisse in der Elektrodynamik werden vorausgesetzt; Vorkenntnisse aus der Beschleunigerphysik 1 sind nützlich.

**Qualifikationsziele:**

Nach Besuch der Veranstaltung können Sie die wesentlichen Eigenschaften der Synchrotronstrahlung darstellen und die physikalischen Grundlagen sowie die wichtigsten technischen Konzepte zu ihrer Erzeugung beschreiben. Sie sind in der Lage, die wichtigsten Kenngrößen der Strahlungscharakteristik einer gegebenen Synchrotronstrahlungsquelle zu berechnen. Sie können Konzepte zur Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Teilchenensembles und der von ihnen erzeugten Strahlung im Beschleuniger darstellen. Auf dieser Grundlage sind Sie in der Lage, Kriterien für die Optimierung von Beschleunigern für die Strahlungserzeugung aufzustellen sowie die Funktionsweise des Freie-Elektronen-Lasers zu beschreiben.

**Inhalt:**

- Physik der Synchrotronstrahlung (Elektrodynamik bewegter Punktladungen, Eigenschaften der normalen Synchrotronstrahlung)
- Wiggler und Undulatoren (Physik und Eigenschaften der Undulatorstrahlung, magnetotechnologische und strahldynamische Aspekte)
- Strahldynamik unter Einfluss von Synchrotronstrahlung (Hamiltonsche Formulierung der Strahldynamik, Hamilton-Vielteilchensysteme, Vlasov- und Fokker-Planck-Gleichung, Strahlungsdämpfung und -anregung)
- Freie-Elektronen-Laser

**Literatur (Auswahl):**

H. Wiedemann: Particle Accelerator Physics 1&2, Springer, 3. Aufl., 2003

A. Hofmann: The Physics of Synchrotron Radiation, Cambridge Univ. Press, 2004

P. Schmüser, M. Dohlus, J. Rossbach, Ultraviolet and Soft X-Ray Free Electron Lasers, Springer, 2010

**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: Kristallographische Grundlagen der Festkörperphysik ("Kristallographie")**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028031

**Modulverantwortlicher:** Eichhorn, Klaus

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld: Kondensierte Materie

**Level:** Master

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus 45 Stunden Präsenzzeit sowie Zeit zur Nachbereitung der Vorlesung und zum Anfertigen der Übungen (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** 1 Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028031 Vorlesung 2 SWS; K.Eichhorn

4028032 Übung 1 SWS; K.Eichhorn

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Grundlagen der linearen Algebra (Vektoren, Matrizen) werden vorausgesetzt. Kenntnisse über Fouriertransformation und Faltung wären hilfreich zum Verständnis der Röntgenbeugung an Kristallen, sind aber nicht Bedingung.

**Qualifikationsziele:**

Mathematische Grundlagen der Kristallographie für Physiker, Chemiker und Werkstoffwissenschaftler. Anwendungen in der Festkörperphysik und in der Kristallphysik. Gebrauch der „International Tables Vol. A“.

**Inhalt:**

Die Vorlesung gibt eine mathematisch orientierte Darstellung der geometrischen Kristallographie, der Symmetrie- und Gruppentheorie sowie eine Einführung in die Kristallchemie, Kristallphysik und die Röntgenbeugung an kristallinen Festkörpern.

Die angebotenen Übungen sind integraler Teil der Lehrveranstaltung und als Leistungsnachweis erforderlich.

**Literatur:**

- G.Burns & A.M.Glazer: Space Groups for Solid State Scientists, 1990;
- D.Schwarzenbach: Kristallographie, Springer 2001;
- K.Eichhorn: Vorlesungsskript Kristallographie, 2013.

**Leistungsnachweis:**

Selbständige Bearbeitung von Übungsblättern

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028061

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

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld: Kondensierte Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028061 Vorlesung 2 SWS; Hofmann, Ralf, Baumbach, Tilo

4028062 Übung 2 SWS; Hofmann, Ralf; Köhl, Martin, Philip Schroth

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Röntgenphysik als Vertiefung von Themen der Wellenoptik und der Kondensierten Materie eingeführt werden. Er soll die physikalischen und instrumentellen Grundlagen moderner im Ortsraum und im reziproken Raum abbildender Röntgenmessmethoden verstehen und anwenden lernen.

Die Vorlesung und die Übungen stellen darüber hinaus die Verbindungen zu wichtigen Anwendungsgebieten dieser Methoden her. Die Übungen sollen die Studierenden befähigen, Röntgenexperimente an Großgeräten vorzubereiten und mittels konkreter experimenteller Gruppenarbeit das in der Vorlesung gewonnene Wissen anzuwenden.

**Inhalt:**

Einführung in die moderne Röntgenphysik. Die Vorlesung schlägt eine Brücke von den physikalischen Grundlagen zu modernen Röntgenmethoden für Physiker, 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 (an Synchrotronstichstrahlern, Freien Elektronenlasern).
- Anwendungsbeispiele aus der Kristallographie, den Nanowissenschaften und den Lebenswissenschaften.
- Die Übungen enthalten optional die Möglichkeit der betreuten Durchführung von drei Experimenten an modernsten Röntgengeräten der Nationalen Synchrotronstrahlungsanlage ANKA am KIT CN.

**Literatur:**

- Jens Als-Nielsen, Des McMorro: 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)

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung

Optional Durchführung eines Experiments an der Nationalen Synchrotronstrahlungsanlage ANKA

**Notenbildung:**

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

# **Modul:** Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028071

**Modulverantwortliche:** Tilo Baumbach; Svetoslav Stankov

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:** 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45), Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung der Übungen (135)

**Modulturnus:** WS

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028071 Vorlesung 2 SWS; S. Stankov, T. Baumbach

4028072 Übung 1 SWS; S. Stankov, R. Pradip

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende soll in die Grundbegriffe der Kernresonanz-Streuung mit Synchrotronstrahlung eingeführt werden. Er soll die physikalischen und instrumentellen Grundlagen spektroskopischer Röntgenmessmethoden verstehen und lernen sie auf festkörperphysikalische Fragestellungen der Nanowissenschaften (Magnetismus, Diffusion und Gitterdynamik) anzuwenden.

**Inhalt:**

Die Vorlesung schlägt eine Brücke zwischen der Festkörperphysik und den auf Kernresonanzstreuung basierenden Methoden für die Untersuchung elektronischer und magnetischer Schwingungen, Gitterschwingungen und Diffusionsphänomenen in dünnen Filmen und Nanostrukturen. Die folgenden Themen werden vorgestellt und diskutiert: Eine kurze Einführung in die Theorie der Synchrotronstrahlung, Röntgenoptiken, Detektoren und Elektronik; Kernresonanzstreuung der Synchrotronstrahlung; Hyperfeinwechselwirkungen, Gitterschwingungen und atomare Diffusion untersucht mittels in-situ Kernresonanzstreuung.

**Literatur:**

D. Attwood "Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation: Principles and Applications", Cambridge University Press 1999

R. Röhlberger "Nuclear Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation" Springer Tracts in Modern Physics, Vol. 208, Springer, Berlin 2004

S. Stankov et al. "In-situ Mössbauer spectroscopy with synchrotron radiation on thin films", a book chapter in "Mössbauer Spectroscopy: Applications in Chemistry, Biology, Industry, and Nanotechnology", ed. V. K. Sharma, G. Klingelhofer and T. Nishida, John Wiley & Sons 2013

**Leistungsnachweis:**

Vorrechnen der Übungsblätter in der Übung.

**Notenbildung:**

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