

# Modulhandbuch

## Physik (M. Sc.)

Sommersemester 2017

KIT Campus Süd - Fakultät für Physik



## Modulhandbuch für den Masterstudiengang Physik

(Stand: 4. April 2017)

<b>Qualifikationsziele</b> .....	3
<b>Studienplan für den Masterstudiengang Physik</b> .....	6
<b>Übersicht über die einzelnen Module</b> .....	19
<b>Modul: Hauptseminar</b> .....	20
<b>Modul: Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Masterstudenten</b> .....	21
<b>Modul: Halbleiterphysik</b> .....	22
<b>Modul: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern II</b> .....	24
<b>Modul: Oberflächenphysik</b> .....	25
<b>Modul: Elektronenmikroskopie I</b> .....	26
<b>Modul: Elektronenoptik</b> .....	28
<b>Modul: Grundlagen Nanotechnologie II</b> .....	29
<b>Modul: Experimentelle Biophysik II</b> .....	30
<b>Modul: Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen</b> .....	32
<b>Modul: Spintransport in Nanostrukturen</b> .....	33
<b>Modul: Simulation nanoskaliger Systeme</b> .....	34
<b>Modul: Theoretical Optics</b> .....	36
<b>Modul: Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography</b> .....	38
<b>Modul: Quantenoptik auf der Nanoskala</b> .....	40
<b>Modul: Teilchenphysik II - W, Z, Top am Collider</b> .....	41
<b>Modul: Teilchenphysik II - Jet-Physik</b> .....	43
<b>Modul: Teilchenphysik II – Higgs-Physik</b> .....	45
<b>Modul: Moderne Methoden der Datenanalyse</b> .....	47
<b>Modul: Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger</b> .....	48
<b>Modul: Astroteilchenphysik II - Teilchen und Sterne</b> .....	50
<b>Modul: Astroteilchenphysik II – Gammastrahlung</b> .....	52
<b>Modul: Dunkle Materie – Theoretische Aspekte</b> .....	54
<b>Modul: Theoretische Teilchenphysik I</b> .....	56
<b>Modul: QCD und Colliderphysik</b> .....	57
<b>Modul: Effektive Feldtheorien</b> .....	58
<b>Modul: Allgemeine Relativitätstheorie II</b> .....	59
<b>Modul: Theorie der Kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie</b> .....	60
<b>Modul: The ABC of DFT</b> .....	62

# Masterstudiengang Physik

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 Bachelor- und Masterstudiengänge werden daher als Gesamtkonzept mit konsekutivem Curriculum angesehen. Der Masterstudiengang Physik baut somit auf dem Bachelorstudiengang Physik auf.

Das Fach Physik gehört zu den klassischen Naturwissenschaften. Ein Studium der Physik ist zunächst auf eine wissenschaftliche Tätigkeit als Physiker/in 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/innen ist jedoch nicht auf naturwissenschaftliche Forschung beschränkt, sondern Physiker/innen werden in der Gesellschaft breit eingesetzt. Dies ist 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 konsekutive Masterstudiengang 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. Von zentraler Bedeutung ist auch die Masterarbeit, die durch eine Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und eine Spezialisierungsphase vorbereitet wird. Das Masterstudium kann weitgehend nach individuellen Neigungen und Fähigkeiten ausgerichtet werden.

Die Anforderungen des Masterstudienganges Physik setzen eine solide physikalische Grundausbildung voraus, wie sie im Rahmen eines Bachelorstudiums Physik erworben wird. 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 Bachelorstudienganges Physik geeinigt und die KIT-Fakultät für Physik hat eine entsprechende Zugangssatzung für den Masterstudiengang erlassen.

## Qualifikationsziele

### Qualifikationsziele des Studienganges

Die Absolvent/inn/en des Masterstudienganges Physik kennen die wissenschaftlichen Grundlagen der experimentellen und theoretischen Physik und haben im Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Physikalischen Nebenfach ihre Kenntnisse auf den aktuellen wissenschaftlichen Stand vertieft. Sie besitzen weiterführende Kenntnisse in einem aus einem Fächerkanon wählbaren nichtphysikalischen Wahlpflichtfach. Sie verfügen über die Fähigkeit, die vertieften Konzepte der theoretischen bzw. experimentellen Physik auf forschungsnahe Probleme anzuwenden und nach Lösungsstrategien zu suchen. Im experimentellen Bereich haben sie die Fähigkeit, aus gemessenen Daten auf Zusammenhänge zu schließen, Modelle zu formulieren und Vorhersagen abzuleiten. Absolvent/inn/en mit Vertiefung in der theoretischen Physik haben die Kenntnisse komplexe Rechnungen durchzuführen und die Resultate im Rahmen der betrachteten Theorie zu interpretieren. Auf der Grundlage des erworbenen Wissens ordnen sie Sachverhalte und Themengebiete fachgerecht ein. Die Absolvent/inn/en beherrschen außerdem das Zusammenfassen von wissenschaftlichen Ergebnissen und Forschungsergebnissen in Schrift und Wort und deren didaktisch ansprechende Präsentation. Der erfolgreiche Abschluss des Studienganges ermöglicht eine Tätigkeit in verschiedenen beruflichen Bereichen, wie der universitären und industriellen Forschung und Entwicklung, der Datenanalyse und Optimierung von Prozessen sowie der Programmierung und Hardwareanwendung. Außerdem haben die Absolvent/inn/en die Voraussetzungen erworben, um ein Promotionsstudium in Physik zu beginnen.

Am KIT wird besonderer Wert auf eine forschungsnahe Lehre gelegt. Im Masterbereich haben die Studierenden eine große Wahlmöglichkeit, sich nach Ihren Interessen zu spezialisieren und engen Kontakt zur Forschung im Hochschulbereich sowie im Großforschungsbereich zu gelangen.

Die Kombination des Bachelor- und Masterstudienganges ist äquivalent zum früheren Diplomstudiengang. Die Definition der allgemeinen Qualifikationsziele auf Studiengangsebene des Bachelors und 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.

## **Qualifikationsziele der einzelnen Fächer**

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

Die Studierenden entscheiden selbst über die Schwerpunkte in ihrem Masterstudium und vertiefen ihr Wissen in ausgewählten Fächern. Durch die forschungsnahe Ausbildung erhalten sie Kenntnisse, die sie in die Lage versetzt selbstständig aktuelle Forschungsthemen zu bearbeiten. Schwerpunkt-, Ergänzungs- und Nebenfach müssen aus verschiedenen Themenfeldern gewählt werden. Dies ermöglicht es den Studierenden, tiefere Einblicke in dem Gebiet zu erhalten, das im Fokus des Interesses steht, ohne dass die Breite darunter leidet. Die Studierenden lernen, sich mit forschungsnahen Fragestellungen auseinanderzusetzen und die aktuelle Literatur zu verwenden, um nach Lösungsansätzen zu suchen. Sie eignen sich moderne Messmethoden an und lernen Rechentechniken kennen, die zur Bearbeitung der Masterarbeit benötigt werden.

### *Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach*

Das nichtphysikalische Wahlpflichtfach mathematischer, naturwissenschaftlicher oder ingenieurwissenschaftlicher Richtung 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 der Messdaten.

### *Hauptseminar*

Die Studierenden eignen sich Präsentationstechniken anhand eines eigenen Vortrags sowie der Vorträge der anderen Teilnehmer an. Sie erlernen das selbstständige Sammeln von wissenschaftlichem Material, die korrekte Zitationstechnik, die Auswahl des Stoffes unter didaktischen Gesichtspunkten, die Gliederung des Vortrages, die ansprechende Gestaltung mithilfe moderner Präsentationsmedien, die eigentliche Präsentation und die Beantwortung von Fragen aus dem Publikum.

### *Additive überfachliche Qualifikationen*

Die Studierenden erwerben Kompetenzen jenseits der fachlichen Expertise. Module in den Bereichen Wissenschaftliches Englisch, Patentrecht, Projektmanagement, Tutorenprogramme, Wissenschaftliches Schreiben oder Wissenschaft in der Öffentlichkeit werden durch das House of Competence (HoC) und das Sprachenzentrum regelmäßig angeboten.

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

Im Fach „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ erlernen die Studierenden 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 bzw. von der zukünftigen Betreuerin 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 durch Teilnahme an Fachvorträgen zu Spezialthemen, die nicht ihrem Spezialisierungsgebiet angehören, und durch geeignete Fragen an den Vortragenden ihre Kenntnisse zu erweitern.

Im Fach „Spezialisierungsphase“ bearbeitet der bzw. die Studierende selbstständig eine konkrete Aufgabenstellung, die im Zusammenhang mit der zukünftigen Masterarbeit steht. Dies kann z.B. die

Durchführung von Messungen, 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 bzw. von der zukünftigen Betreuerin 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 Ergänzung- 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 die wesentlichen Resultate mittels einer Niederschrift entsprechend darzustellen. Außerdem werden überfachliche Qualifikationen wie geplantes, zielführendes Arbeiten, Messtechnik, Protokollführung, Teamarbeit und Teamverantwortung erworben. Die Masterarbeit wird durch die Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und die Spezialisierungsphase vorbereitet.

### **Leistungspunkte-System**

Die Leistungspunkte werden auf Modulebene einzeln definiert. Dabei entspricht einem ECTS<sup>1</sup>- oder Leistungspunkt ca. 30 Stunden (à 45 Minuten) Zeitaufwand. Der Zeitaufwand ist im einzelnen aufgeschlüsselt nach reiner Präsenz-, Vor- und Nachbereitungszeit für Vorlesungen, Übungen und Tutorien sowie die Vorbereitung auf eventuell dazugehörige Prüfungen.

---

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

# Studienplan für den Masterstudiengang Physik

## 1. Einleitung

Die Studien- und Prüfungsordnung des Masterstudienganges Physik (SPO MA Physik) sieht zum erfolgreichen Abschluss des Studiums den Erwerb von 120 ECTS-Punkten 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. Mit bestandener Masterprüfung wird der akademische Grad „Master of Science (M. Sc.)“ durch das Karlsruher Institut für Technologie verliehen.

Im Folgenden wird ein Überblick über den Ablauf des Masterstudienganges Physik gegeben. Die expliziten Durchführungsregelungen des Studienganges und der Prüfungen finden sich in der Studien- und Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Physik vom 1. Oktober 2008 und der Änderungssatzung vom 21. April 2011 (siehe Amtliche Bekanntmachungen der Universität Karlsruhe (TH) vom 10. September 2008 und des KIT vom 21. April 2011 sowie der Studien- und Prüfungsordnung vom 6. August 2015; 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 Abschnitt „Übersicht über die einzelnen Module“.

## 2. Lehrveranstaltungen

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

Im Zentrum des Masterstudiums stehen eine Vertiefung und Spezialisierung der in einem Bachelorstudium erworbenen Grundkenntnisse und Methoden bei gleichzeitiger Wahrung der fachlichen Breite. Das Masterstudium 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), 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. Diese erstreckt sich über 20 ECTS-Punkte, falls das Hauptseminar nicht Teil des Schwerpunktfachs ist, ansonsten über 16 ECTS-Punkte. Im Fall des Ergänzungsfachs kann die Note mit Hilfe von Erfolgskontrollen wie beispielsweise mündlichen Prüfungen (Einzel- oder Gruppenprüfungen), kurzen Vorträgen (vorlesungsbegleitend oder blockartig am Ende des Semesters), kurzen schriftlichen Ausarbeitungen begrenzter Themen oder Klausuren ermittelt werden. Bei dem physikalischen Nebenfach erfolgt keine Benotung. Als Erfolgskontrollen sind neben den bereits aufgeführten auch die erfolgreiche Beteiligung an vorlesungsbegleitenden Übungen geeignet.

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

### b) Hauptseminar

Seit der SPO 2015 ist ein Hauptseminar im Umfang von 4 ECTS-Punkten in einem der drei Fächer Schwerpunkt-, Ergänzungs-, oder Nebenfach zu wählen. Im Hauptseminar wird in einem der Themenfelder Fachwissen vertieft und insbesondere wissenschaftliche Präsentationstechniken erlernt. Das Hauptseminar ist unbenotet.

### c) 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.

### d) Additive überfachliche Qualifikationen

Neben den integrativen überfachlichen Qualifikationen müssen additive überfachliche Qualifikationen im Umfang von 4 ECTS-Punkten erworben werden. Derzeit werden alle vom HoC und vom Sprachenzentrum angebotenen Veranstaltungen als additive überfachliche Qualifikationen genehmigt. Hiervon abweichende Module müssen vom Prüfungsausschuss explizit genehmigt werden.

### e) Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten, Spezialisierungsphase und Masterarbeit

Die Masterarbeit, die im vierten Semester des Masterstudiums stattfindet, wird im dritten Semester durch eine Spezialisierungsphase und eine Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet. In beiden Fächern werden fundierte Grundlagen und (in integrativer Form) überfachliche Qualifikationen des „Wie treibt man Forschung“ vermittelt.

Die Anmeldung zu den Modulen „Spezialisierungsphase“ und „Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten“ kann erst erfolgen nachdem die Modulprüfungen in folgenden Fächern erfolgreich abgelegt sind: Physikalisches Schwerpunktfach, Physikalisches Ergänzungsfach, Physikalisches Nebenfach, physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum, Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach. Die Anmeldung zur Spezialisierungsphase, zur Einführung in das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten und zur Masterarbeit erfolgt im Prüfungssekretariat der KIT-Fakultät für Physik (Physikhochhaus, Zimmer 9/13).

## 3. Anmeldung zu Leistungsüberprüfungen und Fachprüfungen

Zentrale online-Anmeldungen sind derzeit nicht möglich. Prüfungsanmeldungen erfolgen im Prüfungssekretariat der KIT-Fakultät für Physik.

Die erfolgreiche Teilnahme an Lehrveranstaltungen wird bei Bedarf über Bescheinigungen bestätigt, die der Dozent ausstellt.

## 4. Notenbildung

Die Gesamtnote der Masterprüfung errechnet sich aus einem mit Leistungspunkten gewichteten Notendurchschnitt des Schwerpunktfaches (20 ECTS-Punkte), des physikalischen Ergänzungsfaches (14 ECTS-Punkte), des nichtphysikalischen Wahlpflichtfachs (8 ECTS-Punkte) und der Masterarbeit (30 ECTS-Punkte).

## 5. Organisation der Fächer

Schwerpunktfach (SF)	20 ECTS-Punkte
Ergänzungsfach (EF)	14 ECTS-Punkte
Nebenfach (NF)	8 ECTS-Punkte
Nichtphysikalisches Wahlpflichtfach (WPF)	8 ECTS-Punkte

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:**

- Die Prüfenden im SF, EF, NF und WPF 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.
- 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 Bachelorstudium als Teil des nichtphysikalischen Wahlpflichtfaches erbracht worden sind, können nicht ein weiteres Mal im Masterstudium verwendet werden.
- Für das nichtphysikalische Wahlpflichtfach (WPF) wird eine Positivliste erarbeitet und alle anderen Veranstaltungen sind zustimmungspflichtig.
- Die Note im WPF wird in der Regel in einer mündlichen Prüfung ermittelt.
- Die Regeln für die vorgeschriebenen Veranstaltungen der einzelnen Themenfelder müssen für das EF und SF individuell erfüllt sein.



## 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	v2u2/v2u0	8/4
Halbleiterphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Semiconductors (with/without exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Elektronenmikroskopie I (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy I (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Solid State Surfaces (with/without exercises)</i>		v4u1/v4u0	10/8
Solid-State Optics (mit/ohne Übungen) [ab WS16/17 nur v4u0]	WS	v4u1/v4u0	10/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Quantum Information Processing with Solid-State Devices (with/without ext. exercises) [ab WS16/17 nur v2u1]		v2u2/v2u1	8/6
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
Experimentelle Methoden der Halbleiterphysik <i>Experimental methods in Semiconductor Physics</i>		v3	6
Supraleiter-Nanostrukturen <i>Superconducting nanostructures</i>		v2u1	6
Magnetische Resonanz <i>Magnetic resonance</i>		v2	4
Elektronenmikroskopie II (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy II (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
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 I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation	WS	v2u2	8
Phasenübergänge – Konzepte und Experimente <i>Phase Transitions – Concepts and Experiments</i>		v2	4
Spintransport in Nanostrukturen <i>Spin Transport in Nanostructures</i>		v2u1	6
Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices		v2u2	8

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

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I  
ODER
- Halbleiterphysik

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:

- Eine der Veranstaltungen: Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I oder II, Halbleiterphysik, Oberflächenphysik, Solid-State Optics

## Nanophysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	*	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Grundlagen der Nanotechnologie I <i>Basics of Nanotechnology I</i>	WS	v2	4
Grundlagen der Nanotechnologie II <i>Basics of 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	v2u2/v2u0	8/4
Halbleiterphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Semiconductors (with/without exercises)</i>	SS	v4u1/v4u0	10/8
Oberflächenphysik (mit/ohne Übungen) <i>Physics of Solid State Surfaces (with/without exercises)</i>		v4u1/v4u0	10/8
Elektronenmikroskopie I (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy I (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Advanced Optical Materials	WS	v3u1	8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Experimentelle Biophysik I (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics I (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Experimentelle Biophysik II (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics II (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Elektronenmikroskopie II (mit/ohne Übungen) <i>Electron microscopy II (with/without exercises)</i>		v2u2/v2u0	8/4
Elektronenoptik (mit/ohne Übungen) <i>Electron optics (with/without exercises)</i>		v2u1/v2u0	6/4
Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics II: Condensed Matter Physics with Synchrotron Radiation	WS	v2u2	8
Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen <i>Electronic properties of nanostructures</i>	SS	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 (ohne/mit Seminar) <i>Simulation of Nanoscale Systems (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8T
Theoretische molekulare Biophysik (ohne/mit Seminar) <i>Theoretical molecular Biophysics (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8T
Theoretical Optics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Theoretical Nanooptics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Spintransport in Nanostrukturen <i>Spin Transport in Nanostructures</i>		v2u1	6
Quantum Information Processing with Solid-State Devices (without/with ext. exercises) [ab WS16/17 nur v2u1]		v2u1/v2u2	6/8
Computational Photonics (without/with ext. exercises)		v2u1/v2u2	6/8T
Quantum Optics		v2u1	6T
Quantum Machines: Design and Implementation in solid state devices		v2u2	8
Quantenoptik auf der Nanoskala <i>Quantum optics at the nano scale</i>		v2u0	4

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

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Grundlagen der 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:

- Grundlagen der 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 (mit/ohne Übungen) [ab WS 16/17 nur v4u0]	WS	v4u1/v4u0	10/8
Advanced Optical Materials		v3u1	8
Nano-Optics	WS	v3u1	8
Theoretical Optics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Theoretical Nanooptics (Theorie)	SS	v2u1	6T
Molekülspektroskopie (extern) <i>Molecular Spectroscopy (extern)</i>	WS	v2u1	6
Nonlinear Optics (extern)	SS	v2u1	6
Photovoltaik (extern) <i>Photovoltaics (extern)</i>	WS+SS	v3	6
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Modern X-ray Physics I: Coherent X-ray Imaging and Scattering (with/without ext. exercises)	WS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Modern X-ray Physics III: Optical Coherence, Imaging, and Computed Tomography (with/without ext. exercises)	SS	v2u2p2/ v2u2	10/8
Experimentelle Biophysik I (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics I (without/with seminar)</i>		v4u2/ v4u2s2	12/14
Experimentelle Biophysik II (ohne/mit Seminar) <i>Experimental Biophysics II (without/with seminar)</i>		V4u2/ v4u2s2	12/14
Lichtoptische Mikroskopie und Nanoskopie <i>Light Optical Microscopy and Nanoscopy</i>		v2	4
Quantum Optics		v2u1	6T
Computational Photonics (without/with ext. exercises)		v2u1/ v2u2	6/8T
Introduction into Quantum Optics and Quantum Communication		v3u1	8T
Quantenoptik auf der Nanoskala <i>Quantum optics at the nano scale</i>		v2u0	4

\*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>		v2u1/v2u2	6/8
Moderne Methoden der Datenanalyse (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Modern Methods of Data Analysis (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2p2/v2p4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	10
Elektronik für Physiker: Analogelektronik <i>Electronics for Physicists: Analog Electronics</i>	WS	v2p2	6
Elektronik für Physiker: Digitalelektronik <i>Electronics for Physicists: Digital Electronics</i>	WS	v2p2	6
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2p2/v2p4	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Teilchenphysik II – Supersymmetrie (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Supersymmetry (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Flavour-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Flavour Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – W, Z, Top am Collider (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – W, Z, Top at Colliders (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Jet-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Jet Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Teilchenphysik II – Higgs-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Particle Physics II – Higgs Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Experimente der Neutrino-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Experiments of Neutrino Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8

\*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

Es kann entweder Elektronik für Physiker oder eine der Veranstaltungen Analogelektronik bzw. Digitalelektronik als Bestandteil des SF, EF oder NF gewählt werden.

## Experimentelle Astroteilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Astroteilchenphysik I <i>Astroparticle Physics I</i>	WS	v3u1/v3p2	8
Astroteilchenphysik II – (s.u.) <i>Astroparticle Physics II</i>		v2u1/v2u2	6/8
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/v2p4	6/8
Elektronik für Physiker <i>Electronics for Physicists</i>	WS	v4p4	10
Elektronik für Physiker: Analogelektronik <i>Electronics for Physicists: Analog Electronics</i>	WS	v2p2	6
Elektronik für Physiker: Digitalelektronik <i>Electronics for Physicists: Digital Electronics</i>	WS	v2p2	6
Messmethoden und Techniken der Experimentalphysik <i>Measurement methods and Techniques in Experimental Physics</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Accelerator Physics I: Particle Accelerators (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/ v2u1p2	6/8
Detektoren für Teilchen- und Astroteilchenphysik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Detectors for Particle and Astroparticle Physics (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2p2/v2p4	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Cosmic Rays (without/with ext. exercises)</i>	WS	v2u1/v2u2	6/8
Astroteilchenphysik II: Gamma-Strahlung (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Gamma Rays (without/with ext. exercises)</i>	SS	v2u1/v2u2	6/8
Astroteilchenphysik II: Teilchen und Sterne (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Astroparticle Physics II: Particles and Stars (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Experimente der Neutrino-Physik (ohne/mit erweit. Übungen) <i>Experiments of Neutrino Physics (without/with ext. exercises)</i>		v2u1/v2u2	6/8
Neutrino-Physik - theoretische Aspekte <i>Neutrino physics - theoretical aspects</i>		v2u2	8T
Dunkle Materie – theoretische Aspekte Dark matter – theoretical issues		v2u1	6T
Allgemeine Relativitätstheorie <i>General Relativity</i>		v3u2	10T

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

Vorgeschriebene Veranstaltungen für das SF:

- Astroteilchenphysik I oder Einführung in die Kosmologie kombiniert mit einer der Veranstaltungen zur
- Astroteilchenphysik II

Vorgeschriebene Veranstaltung für das EF:

- Astroteilchenphysik I oder Einführung in die Kosmologie

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

Es kann entweder Elektronik für Physiker oder eine der Veranstaltungen Analogelektronik bzw. Digitalelektronik als Bestandteil des SF, EF oder NF gewählt werden.

## B Bereich Theoretische Physik

### Theoretische Teilchenphysik

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
Einführung in die Theoretische Teilchenphysik (mit/ohne erweit. Übungen) <i>Introduction in Theoretical Particle Physics (with/without ext. exercises)</i>	WS	v3u2/v3u1	10/8
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen und Vertiefungen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals and Advanced Topics (with/without exercises)</i>	SS	v4u2/v4u0	12/8
Theoretische Teilchenphysik I, Grundlagen (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics I, Fundamentals (with/without exercises)</i>	SS	v3u1/v3u0	8/6
Theoretische Teilchenphysik II (mit/ohne Übungen) <i>Theoretical Particle Physics II (with/without exercises)</i>	WS	v4u2/v4u0	12/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Einführung in die Flavourphysik, Grundlagen und Vertiefungen <i>Introduction to Flavor Physics, Fundamentals and Advanced Topics</i>		v4u2	12
Einführung in die Flavourphysik, Grundlagen <i>Introduction to Flavor Physics, Fundamentals</i>		v3u2	10
Physik jenseits des Standardmodells <i>Physics beyond the Standard Model</i>		v4u2	12
QCD und Colliderphysik (mit/ohne Übungen) <i>QCD and Collider Physics (with/without exercises)</i>		v3u1/v2u2	8
Supersymmetrie an Collidern <i>Supersymmetry at Colliders</i>		v2u0	4
Computational Physics		v2u2	8
Symmetrien, Gruppen und erweiterte Eichtheorien <i>Symmetries, Groups and extended Gauge Theories</i>		v4u2	12
Symmetrien und Gruppen <i>Symmetries and Groups</i>		v3u1	8
Pfadintegrale, Renormierungsgruppen und vereinheitlichte Theorien <i>Path Integrals, Renormalization Group and Unified Theories</i>		v3u2	10
Higgs-Phänomenologie <i>Higgs Phenomenology</i>		v3u1	8
Allgemeine Relativitätstheorie <i>General Relativity</i>		v3u2	10
Allgemeine Relativitätstheorie II <i>General Relativity II</i>		v3u2	10
Gravitation und Kosmologie 1 <i>Gravitation and Cosmology 1</i>		v3u2	10
Gravitation und Kosmologie 2 <i>Gravitation and Cosmology 2</i>		v3u2	10
Advanced Topics in Quantum Field Theory		v2u2	8
Physics of Strong Interactions		v2u2	8
Neutrino-Physik – Theoretische Aspekte <i>Neutrino Physics – Theoretical issues</i>		v2u2	8
Dunkle Materie – Theoretische Aspekte <i>Dark matter – Theoretical issues</i>		v2u1	6
Effektive Feldtheorien <i>Effective field theories</i>		v2u2	8

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

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

- Theoretische Teilchenphysik I mit 8 oder 12 ECTS-Punkten

## Theorie der Kondensierten Materie

<b>regelmäßige Veranstaltungen</b>	<b>*</b>	<b>SWS</b>	<b>ECTS</b>
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: Vielteilchentheorie, Grundlagen und Vertiefungen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, Fundamentals and Advanced Topics</i>	SS	v4u2	12
Theorie der kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie, Grundlagen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, Fundamentals</i>	SS	v3u1	8
Theorie der Kondensierten Materie II: Vielteilchentheorie, ausgewählte Themen <i>Condensed Matter Theory II: Many-Body Theory, selected topics</i>		v1u0	2
Theorie der Kondensierten Materie IIa: (s.u.) <i>Condensed matter theory IIa:</i>		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
<i>Computational Condensed Matter Theory (without/with exercises)</i> [nur WS15/16]		v3u0/v3u1	6/8
<b>weitere Veranstaltungen</b>			
Feldtheorien der kondensierten Materie <i>Field theories of condensed matter</i>		v4u0/v3u1	8
Theoretische molekulare Biophysik (ohne/mit Seminar) <i>Theoretical molecular biophysics (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8
Quantum Physics in One Dimension		v2	4
Simulation nanoskaliger Systeme (ohne/mit Seminar) <i>Simulation of Nanoscale Systems (without/with seminar)</i>		v2u1/ v2u1s2	6/8
Theoretical Nanooptics	SS	v2u1	6
Field Theories of Disordered Systems [nur WS15/16]		v4	8
The ABC of DFT		v2u1	6
Quantum Optics		v2u1	6

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

Vorgeschriebene Veranstaltung für das SF:

Theorie der Kondensierten Materie I mit 8 oder 12 ECTS-Punkten

## 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
Theorie seismischer Wellen <i>Theory of seismic waves</i>	SS	v2u1	6
<i>Seismic Full Waveform Inversion</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>
Naturgefahren und Risiken <i>Geological Hazards and Risks</i>		v2u1	6
Simulation seismischer Wellen <i>Simulation of seismic waves</i>		v2u1	6
Physik der Lithosphäre <i>Physics of the Lithosphere</i>			3
Geodynamische Modellierung 1 <i>Geodynamic Modeling 1</i>			2
Geodynamische Modellierung 2 <i>Geodynamic Modeling 2</i>			2
Einführung in die Vulkanologie <i>Introduction to Volcanology</i>			4
Geophysikalische Tiefenerkundung an Vulkanen am Beispiel des Vogelsbergs* <i>Geophysical Deep Sounding at Volcanoes and the Example of the Vogelsberg</i>			4
Geophysikalische Bewertung und Gefährdungspotential mediterraner Vulkane* <i>Hazard and Risk Assessment of Mediterranean Volcanoes</i>			6
Geophysikalische Erkundung von Vulkanfeldern* <i>Geophysical Investigation of Volcanic Fields</i>			4
Induzierte Seismizität <i>Induced Seismicity</i>			5

\* Voraussetzung für dieses Modul ist die erfolgreiche Teilnahme an "Einführung in die Vulkanologie"



## Meteorologie

"Theoretische Meteorologie I (TM I)" kann Teil des nicht-physikalischen Wahlpflichtfachs (WPF) im Bachelorstudiengang Physik sein. Falls das der Fall ist, kann die Veranstaltung nicht Teil des NF oder EF im Masterstudiengang sein.

Im Masterstudiengang Meteorologie sind die meteorologischen Veranstaltungen in den 4 Modulen

- Komponenten des Klimasystems
- Atmosphärische Prozesse
- Experimentelle Meteorologie
- Angewandte Meteorologie

zusammengefasst. Als Teil des NF oder EF (nach den unten spezifizierten Regeln) sind alle bis auf folgende Veranstaltungen erlaubt:

- Experimentelle Meteorologie: Fortgeschrittenenpraktikum
- Experimentelle Meteorologie: Exkursion
- Angewandte Meteorologie: Methoden der Datenanalyse

Meteorologie als Nebenfach:

- TM I ist nicht Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:  
TM I (6 LP) + 1 Mastervorlesung (2 LP)
- TM I ist Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:  
TM II (3 LP) + Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 5 LP

Meteorologie als Ergänzungsfach:

- TM I ist nicht Teil des WPF im Studiengang Bachelor Physik:
  - TM I+II (6 + 3 LP) + 2 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 2 LP + 1 LP Prüfung
  - TM I (6 LP) + 1 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 6 LP + 1 LP Prüfung
- TM I ist Teil des WPF im Bachelor Physik:
  - TM II+III+IV (3+6+3 LP) + 2 LP (Prüfung)
  - TM II (3 LP) + 1 LP (Prüfung)  
+ Mastervorlesungen im Umfang von mindestens 9 LP + 1 LP Prüfung  
Diese Veranstaltungen dürfen aus maximal 2 der oben aufgeführten 4 Modulen sein.
- Synoptik I + II + Fortgeschrittene Numerische Wettervorhersage  
(6+4+2 LP) + 2 LP (Prüfung)

## Graphische Darstellung des Studienplans

Sem							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	Überfachliche Qualifikationen* 4	30
3	Spezialisierungsphase (3 Monate) Einführung in das wiss. Arbeiten (3 Monate) 15 15						30
4	Masterarbeit (6 Monate) 30						30
	<b>Summe</b>						<b>120</b>

\* Das Physikalisches Nebenfach, Fortgeschrittenenpraktikum, das Nichtphysikalische Wahlpflichtfach sowie die Überfachlichen Qualifikationen 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**

**Sommersemester 2017**

**Modul:** Hauptseminar**Lehrveranstaltungsnummer:** Die Nummer des individuell ausgewählten Seminars**Modulverantwortliche:** Dozenten der Physik**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er je nach Veranstaltung**Level:** Master (4)**Leistungspunkte:** 4**Semesterwochenstunden:** 2**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden), Nachbereitung (30 Stunden) sowie Vorbereitung des eigenen Vortrags inkl. Probevortrag (60 Stunden)

**Modulturnus:** jedes Semester**Moduldauer:** ein Semester**Lehr- und Lernformen:** Seminar**Voraussetzungen:** keine**Bedingungen:** keine**Empfehlungen:** keine**Qualifikationsziele:**

Es werden wissenschaftliche Präsentationstechniken anhand eines eigenen Vortrags sowie den Vorträgen der anderen Teilnehmer erlernt. Dies beinhaltet die selbständige Sammlung an wissenschaftlichen Materials, die korrekte Zitationstechnik, die Auswahl des Stoffes unter didaktischen Gesichtspunkten, die Gliederung des Vortrages, die Foliengestaltung, die eigentliche Präsentation und die Beantwortung von Fragen aus dem Publikum.

**Inhalt:**

Nebst den Präsentatoinstechniken werden je nach Themenwahl spezielle wissenschaftliche Themen bis hin zum aktuellen Forschungsstand vermittelt.

**Literatur:**

Neben Lehrbüchern zu den Spezialthemen werden insbesondere wissenschaftliche Fachartikel verwendet.

**Leistungsnachweis:**

Der Leistungsnachweis besteht aus regelmäßiger Anwesenheit sowie dem eigenen Vortrag.

**Notenbildung:**

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

**Modul:** Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum  
für Masterstudenten

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4011333

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

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Moderne experimentelle Physik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 4

**Arbeitsaufwand:**

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

**Modulturnus:** jedes Semester

**Moduldauer:** ein Semester

**Lehr- und Lernformen:** Praktikum

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:**

Verpflichtende Teilnahme an Vorbesprechung mit Sicherheitsunterweisung und Strahlenschutzbelehrung.

**Empfehlungen:** keine

**Qualifikationsziele:**

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

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

**Literatur:**

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

**Leistungsnachweis:**

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

**Notenbildung:** Unbenotete Veranstaltung

# **Modul: Halbleiterphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020111

**Modulverantwortliche:** H. Kalt

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 5 (v4u1) oder 4 (v4u0)

**Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und ggf. Bearbeitung der Übungen (225 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4020111 Vorlesung 4 SWS; H. Kalt

4020112 Übung 1 SWS; H. Kalt

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden

- kennen charakteristische Details der Halbleiter-Bandstruktur und können diese theoretisch begründen.
- beherrschen die Beschreibung von Gleichgewichts- sowie Nichtgleichgewichtsprozessen.
- können mit Hilfe der Differentialgleichungen der inneren Elektronik Transportphänomene und dynamische Probleme berechnen und verstehen die Bedeutung von zeitlicher bzw. räumlicher Inhomogenität als Antrieb für diese Prozesse.
- verstehen die Bandverläufe und physikalischen Eigenschaften von Halbleiter-Übergängen.
- können an Hand der gelernten Grundlagen das phänomenologische Verhalten und typische Anwendungen von Halbleiterbauelementen beschreiben und theoretisch begründen.

**Inhalt:**

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

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

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

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

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

**Literatur:**

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

M. Grundmann: The Physics of Semiconductors

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

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte (8 LP) durch die zugehörige mündliche Prüfung erworben. Ein Übungsschein ist in diesem Fall nicht notwendig. Falls dieses Modul als physikalisches Nebenfach gewählt wird, sowie für den Erwerb von insgesamt 10 LP ist zusätzlich eine erfolgreiche Teilnahme an den Übungen erforderlich.

**Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021111

**Modulverantwortliche:** W. Wernsdorfer

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 4

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 2 (v2u0)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (bei 8 LP).

**Moduldauer:** Ein Semester

**Modulturnus:** Sommersemester

## **Lehr- und Lernformen:**

4021111 Vorlesung 2 SWS; W. Wernsdorfer

4021112 Übung 2 SWS; W. Wernsdorfer, I. Pop

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

**Qualifikationsziele:** Die Studierenden sollen die physikalischen Eigenschaften der Supraleitung, ein thermodynamischer Zustand des elektronischen Systems von Festkörpern, kennen lernen. Hierbei werden ausführlich klassische und moderne experimentelle Befunde sowie grundlegende theoretische Modelle behandelt, wie z.B. das auch außerhalb der Supraleitung gebräuchliche Konzept der Energielücke oder des Quasiteilchens. In den Übungen werden die vermittelten Kenntnisse vertieft und auf spezielle Probleme angewandt. Die Studierenden sollten nach dem Besuch der Veranstaltung in der Lage sein, sich in aktuelle Literatur zum Thema Supraleitung einzuarbeiten zu können.

**Inhalt:** Grundlagen der Supraleitung: Thermodynamik, Elektrodynamik, Flußquantisierung, Ginzburg-Landau Theorie, BCS Theorie, Vortices, Tunnelkontakte, Josephson-Kontakte, SQUIDs, supraleitende Schaltkreise, supraleitende Qubits.

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

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

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

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

## **Notenbildung:**

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



## **Modul: Oberflächenphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021121

**Modulverantwortliche:** W. Wulfhekel

### **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 5 (v4u1) oder 4 (v4u0)

### **Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (75 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (225 bzw. 180 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

### **Lehr- und Lernformen:**

4021121 Vorlesung 4 SWS; W. Wulfhekel

4021122 Übung 1 SWS; W. Wulfhekel

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

### **Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

### **Qualifikationsziele:**

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

### **Inhalt:**

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

### **Literatur:**

H. Ibach, Physics of Surfaces and Interfaces, Springer

### **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

### **Notenbildung:**

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

# **Modul: Elektronenmikroskopie I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027021

**Modulverantwortliche:** D. Gerthsen

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Kondensierte Materie, Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 4

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 2 (v2u0)

## **Arbeitsaufwand:**

240 oder 120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten:

Insgesamt 52 Stunden, davon 28 Stunden für Vorlesung (14 Wochen \* 2 SWS) und gegebenenfalls 24 Stunden für die Praktikumsversuche. Die restlichen Stunden dienen der Vorbereitung auf die Versuche, Anfertigung von Praktikumsprotokollen, Nachbereitung des Vorlesungstoffes und Vorbereitung auf die Prüfung.

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4027021 Vorlesung 2 SWS; D. Gerthsen

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

**Voraussetzungen:** keine

**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 die Bildentstehung im Transmissionselektronenmikroskop verstehen. Die Studierenden können die 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 sollen TEM Abbildungen interpretiert werden (Welche Kontraste entstehen für perfekte Festkörper und Defekte in Festkörpern?). Durch Anwendungsbeispiele aus der Festkörperphysik und Materialforschung sollen die Studierenden die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der TEM kennenlernen und verstehen.

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

## **Literatur:**

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

L. Reimer, H. Kohl, Transmission Electron Microscopy, Springer Verlag

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Elektronenoptik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4027131

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

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6 oder 4

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1) oder 2 (v2u0)

## **Arbeitsaufwand:**

180 bzw. 120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 bzw. 30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 bzw. 90 Stunden).

**Modulturnus:** SS und WS

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4027131 Vorlesung, 2 SWS; M. Haider, R. Janzen

4027132 Übung, 1 SWS; R. Janzen

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

Die Studierenden kennen die Grundbegriffe der Elektronenoptik und können die relevanten theoretischen Konzepte formulieren und anwenden. Sie verstehen die Funktionsweise von Elektronenmikroskopen und Aberrations-Korrektoren. In der Übung lösen die Studierenden konkrete Probleme der Elektronenoptik eigenverantwortlich unter Anwendung des in der Vorlesung vermittelten Faktenwissens. Auf dieser Basis werden die Studierenden befähigt, publizierte Ergebnisse aus dem Bereich der Elektronenoptik zu verstehen und sich selbständig in eventuell zum Verständnis noch fehlende Details einzuarbeiten.

## **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 bekannt gegeben.

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

## **Notenbildung:**

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

# **Modul: Grundlagen Nanotechnologie II**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021151

**Modulverantwortliche:** G. Goll

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2 (v2u0)

**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung (90 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021151 Vorlesung 2 SWS; G. Goll

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik und der Quantenmechanik werden erwartet.

**Qualifikationsziele:**

Der Studierende vertieft sein Wissen auf dem Gebiet der Nanophysik, beherrscht die relevanten theoretischen Konzepte und ist mit den grundlegenden Anwendungsbereichen der Nanophysik vertraut. Der Studierende ist befähigt, aktuelle Daten und Abbildungen aus der wissenschaftlichen Literatur zu interpretieren und den aktuellen Stand der Forschung sowie wichtige „offene Fragen“ darzustellen.

**Inhalt:**

Einführung in zentrale Gebiete der Nanotechnologie; Vermittlung der konzeptionellen, theoretischen und insbesondere methodischen Grundlagen;

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

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

**Literatur:**

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

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

## **Modul: Experimentelle Biophysik II**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4020121

**Modulverantwortliche:** G. U. Nienhaus

### **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik, Optik und Photonik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 14 oder 12

**Semesterwochenstunden:** 8 (v4u2s2) oder 6 (v4u2s0)

### **Arbeitsaufwand:**

420 bzw. 360 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (120 bzw. 90 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (300 bzw. 270 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

### **Lehr- und Lernformen:**

4020121 Vorlesung 4 SWS; G. U. Nienhaus

4020122 Übung 2 SWS; G. U. Nienhaus

4020124 Seminar 2 SWS; G. U. Nienhaus

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

### **Empfehlungen:**

Grundlagen der Quantenmechanik, Thermodynamik und der Festkörperphysik werden vorausgesetzt.

### **Qualifikationsziele:**

Die Studierenden

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

### **Inhalt:**

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

**Literatur:**

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

E. Sackmann & R. Merkel: Lehrbuch der Biophysik

C. Cantor & P. Schimmel: Biophysical Chemistry

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

**Leistungsnachweis:**

Abgabe von Übungsblättern

Vorrechnen in der Übung

Vortrag im Seminar

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

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021131

**Modulverantwortliche:** R. Hoffmann-Vogel

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

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4

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

**Moduldauer:** Ein Semester

**Modulturnus:** SS

**Lehr- und Lernformen:**

4021131 Vorlesung 3 SWS; R. Hoffmann-Vogel

4021132 Übung 1 SWS; R. Hoffmann-Vogel

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** Die Vorlesung wird in deutscher Sprache gehalten.

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

**Qualifikationsziele:** Vertiefung in einem Gebiet der Nano-Physik.

**Inhalt:**

Kann gut mit EE I und II kombiniert werden.

Voraussetzung: Festkörperphysik

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

**Literatur:**

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

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

**Leistungsnachweis:**

voraussichtlich Einzelprüfung

**Notenbildung:**

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



# **Modul: Spintransport in Nanostrukturen**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021141

**Modulverantwortliche:** D. 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 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (135 Stunden)

**Moduldauer:** Ein Semester

**Modulturnus:** Sommersemester

## **Lehr- und Lernformen:**

4021141 Vorlesung 2 SWS; D. Beckmann

4021142 Übung 1 SWS; D. Beckmann

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörperphysik, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

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

## **Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

## **Notenbildung:**

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

# **Modul: Simulation nanoskaliger Systeme**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023141

**Modulverantwortlicher:** W. Wenzel

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik, Theorie der Kondensierten Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u1s2) oder 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden); Abschlussarbeit mit Referat (60 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4023141 Vorlesung 2 SWS; W. Wenzel, A. Schug

4023142 Übung 1 SWS; W. Wenzel, A. Schug

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

Kenntnisse der Quantenmechanik und Festkörpertheorie.

## **Qualifikationsziele:**

Entwicklung und Erlangung von Wissen zur materialspezifischen Simulation nanoskaliger Systeme wie zB Nanoteilchen oder aus organischen Molekülen aufgebaute Festkörper, Entwicklung von Fähigkeiten zur Auswahl problemspezifischer Simulations- und Analysemethoden auf Fragestellungen der Nanotechnologie und Entwicklung von Nanomaterialien. Erwerb von Schlüsselfähigkeiten in der Nutzung von open-source Software zur Lösung von Simulationsproblemen in der Nanotechnologie, Entwicklung von Fähigkeiten der Autonomie, Problemlösung. Erlangung von Fähigkeiten in der Synthese der Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren zur ganzheitlichen Beschreibung in der Simulation von Materialeigenschaften nanoskaliger Systeme.

## **Inhalt:**

- Quantenmechanik von Vielteilchensystemen
- Methoden der Quantenchemie (LCAO, Hartree Fock, Dichtefunktionaltheorie, Elektronenkorrelationen)
- Anwendungen auf Moleküle
- Simulationsverfahren für klassische Vielteilchensysteme (Monte Carlo, Molekulardynamik)
- Anwendungen auf nanoskalige Systeme
- Einführung in Multiskalensimulationen (QM/MM, Mehrstufenverfahren)
- Modellierung des elektronischen Transports durch nanoskalige Systeme

## **Literatur:**

- Szabo: Modern Quantum Chemistry
- Leach: Molecular Modeling

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Theoretical Optics**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023111

**Modulverantwortlicher:** C. Rockstuhl

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Optik und Photonik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4023111 Vorlesung 2 SWS; C. Rockstuhl

4023112 Übung 1 SWS; C. Rockstuhl, C. Lee

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

- Review of Electromagnetism (Maxwell's Equations, Stress Tensor, Material Properties, Kramers-Kronig Relation, Wave Propagation, Poynting's Theorem)
- Diffraction Theory (The Principles of Huygens and Fresnel, Scalar Diffraction Theory: Green's Function, Helmholtz-Kirchhoff Theorem, Kirchhoff Formulation of Diffraction, Fresnel-Kirchhoff Diffraction Formula, Rayleigh-Sommerfeld Formulation of Diffraction, Angular Spectrum Method, Fresnel and Fraunhofer Diffraction, Method of Stationary Phases, Basics of Holography)
- Crystal Optics (Polarization, Anisotropic Media, Fresnel Equation, Applications)
- Classical Coherence Theory (Elementary Coherence Phenomena, Theory of Stochastic Processes, Correlation Functions)
- Quantum Optics and Quantum Optical Coherence Theory (Review of Quantum Mechanics, Quantization of the EM Field, Quantum Coherence Functions)

## **Literatur:**

- "Classical Electrodynamics" John David Jackson
- "Theoretical Optics: An Introduction" Hartmann Römer
- "Introduction to Fourier Optics" Joseph W. Goodman
- "Introduction to the Theory of Coherence and Polarization of Light" Emil Wolf
- "The Quantum Theory of Light" Rodney Loudon

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028131

**Modulverantwortliche:** T. Baumbach; R. Hofmann

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Optics und Photonics

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10 oder 8

**Semesterwochenstunden:** 5 (v2u2p2) oder 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

300 bzw. 240 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (180 Stunden) und Praktikum (60 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4028131 Vorlesung 2 SWS; T. Baumbach; R. Hofmann

4028132 Übung 2 SWS; T. Baumbach; R. Hofmann

4028133 Praktikum 2 SWS; T. Baumbach; R. Hofmann

**Vorraussetzungen:**

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

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagen der klassischen Elektrodynamik, Optik und Basiswissen zur Festkörperphysik

**Qualifikationsziele:**

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

**Inhalt:**

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

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

**Literatur:**

- Jens Als-Nielsen, Des 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)
- D. M. Paganin, Coherent X-ray Optics, Oxford Science Publications
- U. Pietsch, V. Holy, T. Baumbach, High-resolution X-ray scattering, Springer NY (2004)

**Leistungsnachweis:**

- Durchführung von Experimenten
- Abgabe von Übungsblättern
- Vorrechnen in der Übung

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Quantenoptik auf der Nanoskala**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4021161

**Modulverantwortliche:** D. Hunger

**Einordnung in Studiengang:** Master Physik, Themenfeld/er: Nanophysik, Optik & Photonik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 4

**Semesterwochenstunden:** 2 (v2u0)

**Arbeitsaufwand:**

120 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (30 Stunden) und Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung (90 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4021161 Vorlesung 2 SWS; D. Hunger

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlegende Kenntnisse in klassischem Elektromagnetismus, Quantenmechanik, Atomphysik

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden erarbeiten Wissen auf dem Gebiet der Quanten- und Nanooptik, lernen grundlegende Konzepte zur Beschreibung von Lichtfeldern und Licht-Materie wechselwirkung kennen, und erlangen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung.

**Inhalt:**

- 1) Grundlagen der Licht-Materie Wechselwirkung
- 2) Mikro- und nanooptische Elemente
- 3) Dipolemission in strukturierten Umgebungen
- 4) Quantenkohärente Licht-Materiewechselwirkung
- 5) Quantenemitter im Festkörper
- 6) Optische Auslese und Manipulation einzelner Spins

**Literatur:**

- i) Principles of Nano-Optics, Novotny, Hecht, Cambridge University Press
- ii) Quantum Optics, M. Scully, M. Suhail Zubairy, Cambridge University Press
- iii) Fundamentals of Photonics, Saleh, Teich

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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



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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022161

**Modulverantwortliche:** M. Mozer; M. Aldaya

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik.

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022161 Vorlesung 2 SWS; M. Mozer

4022162 Übung 2 bzw. 1 SWS; M. Mozer; M. Aldaya

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

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

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

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

## **Literatur:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022171

**Modulverantwortlicher:** S. Gieseke; K. Rabbertz

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) bzw. 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022171 Vorlesung 2 SWS; S. Gieseke; K. Rabbertz

4022172 Übung 2 bzw. 1 SWS; S. Gieseke; K. Rabbertz

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

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

## **Literatur:**

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

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

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

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

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

sowie aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen und Reviews.

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022181

**Modulverantwortlicher:** U. Husemann; M. Schröder

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) bzw. 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022181 Vorlesung 2 SWS; U. Husemann; M. Schröder

4022182 Übung 2 oder 1 SWS; U. Husemann; M. Schröder

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

Die Studierenden können die theoretischen und experimentellen Grundlagen der Physik des Higgs-Bosons sowie die wichtigsten dazugehörigen Messungen an Collidern darstellen. Sie vertiefen somit ihre Kenntnisse in der experimentellen Teilchenphysik in einem Spezialgebiet und sind mit dem aktuellen Stand der Forschung vertraut. Die Studierenden können Originalveröffentlichungen der Teilchenphysik auffinden und analysieren. Sie verstehen moderne computerbasierte Techniken der Simulation teilchenphysikalischer Prozesse und der statistischen Datenanalyse und können sie auf einfache Problemstellungen der Higgs-Physik anwenden. Die Studierenden lösen physikalische Problemstellungen in Teamarbeit und verbessern ihre Präsentationstechniken.

## **Inhalt:**

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

## **Literatur:**

i) R. Wolf: The Higgs Boson Discovery at the Large Hadron Collider, Springer 2015

ii) J. Ellis: Higgs Physics, arXiv:1312.567 [hep-ph]

iii) A. Djouadi: The anatomy of electroweak symmetry breaking I, Phys. Rep. 457 (2008) 1

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art)

erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Moderne Methoden der Datenanalyse**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022141

**Modulverantwortliche:** A. Meyer

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik. Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik, Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2p4) bzw. 3 (v2p2)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90 bzw. 60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen.

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022141 Vorlesung 2 SWS; A. Meyer

4022142 Computerpraktikum 2 bzw. 4 SWS; A. Meyer; T. Chwalek

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

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

## **Literatur:**

G. Cowan: Statistical Data Analysis, Oxford University Press; G. Bohm, G. Zech: Einführung in Statistik und Messwertanalyse für Physiker, DESY eBook; V. Blobel, E. Lohrmann: Statistische und numerische Methoden der Datenanalyse, DESY eBook; R. J. Barlow: Statistics: A Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences, Wiley; S. Brandt: Datenanalyse, Spektrum; W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Fannery: Numerical Recipes, Cambridge University Press; T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman: The Elements of Statistical Learning, Springer

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

## **Notenbildung:**

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

# **Modul: Beschleunigerphysik I: Teilchenbeschleuniger**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4028111

**Modulverantwortliche:** A.-S. Müller

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Teilchenphysik, Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u1p1) oder 3 (v2u1p0)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung, Vorbereitung der Übungen und praktischen Übungen (120 Stunden), Auswertungen und Erstellung von Messprotokollen (60 Stunden)

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4028111 Vorlesung 2 SWS; A.-S. Müller

4028112 Übung 1 SWS; A.-S. Müller; M. Brosi

4028113 Praktische Übung an ANKA 1 oder 0 SWS; A.-S. Müller; E. Blomley

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

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

## **Qualifikationsziele:**

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

## **Inhalt:**

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

- Grundtypen von Beschleunigern (u.a. elektrostatische Beschleuniger, Linacs, Kreisbeschleuniger, Speicherringe & Collider)
- Grundlagen der Synchrotronstrahlung
- Strahloptik und Strahldynamik (z.B. Magnetische Linsen, Strahleigenschaften, transversale & longitudinale Schwingung und Dämpfung)
- Messung & Kontrolle von Strahlparametern
- Performance-Grenzen von Beschleunigern (z.B. Ultra-kurze Elektronenpulse, hochintensive Protonenstrahlen, Strahl-Strahl-Wechselwirkungen bei Collidern)
- Neue Technologien, aktuelle & zukünftige Projekte

## **Literatur:**

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

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

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



**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022111

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

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:** 240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

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

4022112 Übung 2 bzw. 1 SWS; G. Drexlin

**Vorraussetzungen:** keine

## **Bedingungen:**

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

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

- Methodenkompetenzerwerb: Vertiefung in zwei Schlüsselgebieten der experimentellen Astroteilchenphysik: stellare Astrophysik und Neutrinophysik, dabei insbesondere Erkenntnis der Querverbindungen zur Elementarteilchenphysik und Kosmologie
- Fähigkeit zur Synthese wissenschaftlicher Resultate, eigenständige Einarbeitung in aktuelle Forschungsergebnisse, Fähigkeit zur eigenständigen Problemlösung

## **Inhalt:**

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

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

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

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

**Literatur:**

Donald Perkins, Particle Astrophysics (Oxford University Press)

Kai Zuber, Neutrino physics (Routledge Chapman & Hall), 2nd Edition

H.V. Klapdor-Kleingrothaus & Kai Zuber, Teilchenastrophysik (Teubner)

Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekannt gegeben.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Astroteilchenphysik II – Gammastrahlung**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022131

**Modulverantwortliche:** G. Drexlin; R. Engel

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2) oder 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung der Übungen (180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022131 Vorlesung 2 SWS; G. Drexlin, R. Engel

4022132 Übung 2 oder 1 SWS; G. Drexlin, D. Veberic

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

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

## **Qualifikationsziele:**

Nach erfolgreicher Teilnahme an diesem Modul verfügt der/die Studierende über ein vertieftes Fach- und Überblickswissen auf dem Feld der hochenergetischen Astroteilchenphysik mit Schwerpunkt Gamma-Astronomie und beherrscht die Methoden des Erkenntnisgewinns der modernen Astrophysik und deren exemplarische Anwendung.

## **Inhalt:**

Es werden die Grundlagen der Astroteilchenphysik mit hochenergetischen Teilchen besprochen, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung der Gamma-Astronomie zur Untersuchung astrophysikalischer Objekte liegt. Ausgehend von der Beschleunigung geladener Teilchen werden in der ersten Hälfte der Vorlesungsreihe die wichtigsten Entstehungsprozesse von Gamma-Strahlung eingeführt, die Ausbreitung hochenergetischer Gamma-Strahlung diskutiert und Methoden zum Nachweis der Gamma-Strahlung auf der Erde und im Weltall vorgestellt. In der zweiten Hälfte der Vorlesungsreihe werden die folgenden astrophysikalischen Objekte und deren Abbild in Gamma-Strahlen besprochen: Supernova-Explosionen und -überreste, Neutronensterne und Pulsare, Schwarze Löcher und Aktive Galaktische Kerne, und Gamma-Blitze. Der Kurs wird abgerundet durch eine Diskussion der Suche nach zusätzlichen Dimensionen, Verletzung der Lorentz-Invarianz und exotischen Phänomenen mit Gamma-Strahlung.

Zusammen mit dem Kurs „Astroteilchenphysik II: Kosmische Strahlung“, welcher im WS angeboten wird, ergibt sich ein abgeschlossenes Bild hochenergetischer Teilchen mit ihren zugrundeliegenden Erzeugungs- und Transportprozessen in unserem Universum. Die Themenspektren beider Vorlesungen sind komplementär angelegt und können unabhängig gehört werden, ergänzen sich aber in geeigneter Weise.

Die Vorlesung ATP II – Gamma-Strahlung ist komplementär zu weiteren vertiefenden Vorlesungen (Astroteilchenphysik II – Kosmische Strahlung bzw. Teilchen und Sterne).

## **Literatur:**

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

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

F. Melia: High-Energy Astrophysics (Princeton)

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

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

Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekannt gegeben.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Dunkle Materie – Theoretische Aspekte**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4022191

**Modulverantwortlicher:** T. Schwetz-Mangold

## **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Experimentelle Astroteilchenphysik, Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

## **Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

## **Lehr- und Lernformen:**

4022191 Vorlesung 2 SWS; T. Schwetz-Mangold

4022192 Übung 1 SWS; T. Schwetz-Mangold, J. Enander

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

## **Empfehlungen:**

Grundkenntnisse in theoretischer Teilchenphysik sind empfehlenswert. Elementare Kenntnisse von Gravitation und Kosmologie sind hilfreich aber nicht notwendig.

## **Qualifikationsziele:**

Die Studierenden werden mit dem fächerübergreifenden Problem der Dunklen Materie vertraut gemacht. Der erlernte Stoff beinhaltet verschiedenste Aspekte der Teilchenphysik, Kosmologie, Gravitation und Astrophysik, sowie Phänomenologie von astroteilchenphysikalischen Experimenten. Studierende verstehen die kosmologischen Beobachtungen, die auf die Existenz der dunklen Materie hindeuten. Sie können die verschiedenen möglichen Teilchenkandidaten für dunkle Materie beschreiben und verstehen die wesentlichen Aspekte der zugrundeliegenden teilchenphysikalischen Modelle.

## **Inhalt:**

Die Vorlesung bietet eine Einführung in das Problem der Dunklen Materie (DM). Die astrophysikalischen and kosmologischen Beobachtungen, die auf die Existenz von DM hindeuten werden diskutiert, wie z.B. Strukturbildung im Universum. Die Phänomenologie für die verschiedenen Methoden nach DM zu suchen (direkte Suche, indirekte Suche, Suche an Beschleunigerexperimenten) wird behandelt. Teilchenphysikalische Modelle der verschiedenen Kandidaten für DM werden eingeführt, darunter WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles), warme DM (sterile Neutrinos) oder Axionen. In den verschiedenen Fällen wird das Problem behandelt, wie die korrekte Dichte an Teilchen im frühen Universum produziert werden kann.

## **Literatur:**

Wird in der Vorlesung bekannt gegeben.

## **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

# **Modul: Theoretische Teilchenphysik I**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026111

**Modulverantwortliche:** D. Zeppenfeld

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 12, 8 oder 6

**Semesterwochenstunden:** 6 (v4u2), 4 (v4u0,v3u1) oder 3 (v3u0)

**Arbeitsaufwand:**

360, 240 bzw. 180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90, 60 bzw. 45 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (270, 180 bzw. 135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4026111 Vorlesung 4 bzw. 3 SWS; D. Zeppenfeld

4026112 Übung 2, 1 bzw. 0 SWS; D. Zeppenfeld; M. Rauch

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Elektrodynamik, Quantenmechanik und Relativitätstheorie

**Qualifikationsziele:**

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

**Inhalt:**

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

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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



# **Modul: QCD und Colliderphysik**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4025121

**Modulverantwortliche:** K. Melnikov

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2)

**Arbeitsaufwand:**

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

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4025121 Vorlesung 2 SWS; K. Melnikov

4025122 Übung 2 SWS; K. Melnikov; R. Rietkerk; L. Tancredi

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Working knowledge of Quantum Field Theory, at least at the level of TTP I.

**Qualifikationsziele:**

Interesting physics at the LHC (e.g. the Higgs boson discovery) requires good understanding and control of strong interactions. The goal of these lectures is to provide a comprehensive introduction to the use of Quantum Chromodynamic for the description of hadron collisions.

**Inhalt:**

- 1) QCD perturbation theory for hadron collisions.
- 2) Infrared and collinear divergences (physical meaning, parton splitting, cancellation and non-cancellation, jets);
- 3) Parton distribution functions (DGLAP evolution, parametrization, determination);
- 4) Theory of parton showers (multiple emissions, Sudakov form factors, ordered emissions);
- 5) Multi-jet events, matching and merging.

**Literatur:**

- i) R.K. Ellis, J. Stirling, B. Webber, QCD and Collider Physics, Cambridge University Press, 1996.
- ii) G. Dissertori, I. G. Knowles, and M. Schmelling, QCD: High Energy Experiments and Theory, Oxford, UK: Clarendon (2003).
- iii) T. Plehn, Lectures on LHC Physics, Lecture Notes in Physics, Vol 844, Springer 2012, ISBN 978-3-642-24039-3.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

## **Modul: Effektive Feldtheorien**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4025131

**Modulverantwortliche:** K. Melnikov

### **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 8

**Semesterwochenstunden:** 4 (v2u2)

### **Arbeitsaufwand:**

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

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

### **Lehr- und Lernformen:**

4025131 Vorlesung 2 SWS; K. Melnikov

4025132 Übung 2 SWS; K. Melnikov; R. Rietkerk; L. Tancredi

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

### **Empfehlungen:**

Working knowledge of Quantum Field Theory, at least at the level of TTP I.

### **Qualifikationsziele:**

These lectures will provide an introduction to effective field theories, an important framework for understanding physical systems that depend on widely different energy scales. After developing the basic concepts, we will use this framework to analyze electromagnetic, weak and strong interactions at low energies.

### **Inhalt:**

- 1) Basic concepts of effective field theories (matching calculations, power counting, classification of operators, renormalization group improved perturbation theory);
- 2) Standard Model at low energies (Euler-Heisenberg Lagrangian, Fermi theory, the Standard Model as an effective field theory, chiral Lagrangian and low-energy hadron physics);
- 3) Non-relativistic and high-energy effective theories (HQEFT, NRQED/QCD, SCET).

**Literatur:** Literature will be described at the first lecture.

### **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

### **Notenbildung:**

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

## **Modul: Allgemeine Relativitätstheorie II**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4026131

**Modulverantwortlicher:** F. Klinkhamer

### **Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theoretische Teilchenphysik

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 10

**Semesterwochenstunden:** 5 (v3u2)

### **Arbeitsaufwand:**

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

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

### **Lehr- und Lernformen:**

4026131 Vorlesung 3 SWS; F. Klinkhamer

4026132 Übung 2 SWS; F. Klinkhamer; S. Emelyanov

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:** Allgemeine Relativitätstheorie I

**Qualifikationsziele:** The main goal is to broaden the student's intellectual horizon.

**Inhalt:** Follow-up of GR I (ART I).

### **Literatur:**

- i) R.M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press, 1984.
- ii) S.W. Hawking and G.F.R. Ellis, The Large Scale Structure of Space-Time, Cambridge UP, 1973.
- iii) V. Mukhanov, Physical Foundations of Cosmology, Cambridge UP, 2005.

### **Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

### **Notenbildung:**

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

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

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4024111

**Modulverantwortliche:** B. Narozhny

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theorie der Kondensierten Materie

**Leistungspunkte:** 12 (Grundlagen und Vertiefungen), 8 (Grundlagen, ca. 2/3 des Kurses) oder 2 (Inhaltspunkte 1-3 und keine Übung)

**Semesterwochenstunden:** 6 (v4u2), 4 (v3u1) oder 1 (v1u0)

**Arbeitsaufwand:**

360, 240 bzw. 60 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (90, 60 bzw. 15 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Vorbereitung der Übungen (270, 180 bzw. 45 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4024111 Vorlesung 4 SWS; B. Narozhny

4024112 Übung 2 SWS; B. Narozhny

**Vorraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

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

**Qualifikationsziele:**

Die Studierenden kennen und beherrschen die Grundlagen der feldtheoretischen Methoden der Untersuchung von Vielteilchensystemen. Sie erlernen die Modellbildung für Probleme im Bereich der Kondensierten Materie und können den Formalismus der Green'schen Funktionen auf diese Modelle anwenden. Ausserdem haben die Studierenden die Kompetenz, das Erlernete auf kompliziertere Systeme anzuwenden.

**Inhalt:**

Voraussichtliche Struktur der Vorlesung:

1. Green'sche Funktionen für nichtwechselwirkende Teilchen,
2. Vielteilchen-Green-Funktionen,
3. Feynman-Diagrammatik (wechselwirkende Fermionen, Fermi-Flüssigkeit, Kollektive Anregungen),
4. Green'sche Funktionen und Diagramm-Technik bei endlichen Temperaturen (Matsubara-Diagrammatik).
5. Funktionale Formulierung der Vielteilchentheorie,
6. Supraleitende Systeme,
7. Nichtgleichgewicht-Systeme und Keldysh-Diagrammatik,
8. Vielteilchensysteme in einer Dimension,
9. Kondo-Effekt.
10. Stark korrelierte Elektronen: Hubbard-Modell und Mott-Metall-Isolator-Übergang.
11. Einführung in die mesoskopische Physik

**Literatur:**

- i) A.A. Abrikosov, L.P. Gorkov, I.E. Dzyaloshinskii, Methods of QFT in statistical physics.
- ii) LL.D. Landau, E.M. Lifschitz, Statistische Physik, Teil II (Lehrbuch der theoretischen Physik, Bd IX).
- iii) G.D. Mahan, Many-particle physics.
- iv) A.L. Fetter, J.D. Valecka, Quantum theory of many-particle systems.

- v) J.W. Negele, H. Orland, Quantum many-particle systems.
- vi) J.R. Schrieffer, Theory of superconductivity.
- vii) A. Altland, B. Simons, Condensed matter field theory.
- viii) T. Giamarchi, Quantum physics in one dimension.
- ix) A. Kamenev, Field theory of non-equilibrium systems.
- x) G. Giuliani, G. Vignale, Quantum Theory of the Electron Liquid.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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

## **Modul: The ABC of DFT**

**Lehrveranstaltungsnummer:** 4023151

**Modulverantwortlicher:** W. Wenzel, V. Meded

**Einordnung in Studiengang:**

Master Physik, Themenfeld/er: Theorie der Kondensierten Materie

**Level:** Master (4)

**Leistungspunkte:** 6

**Semesterwochenstunden:** 3 (v2u1)

**Arbeitsaufwand:**

180 Stunden bestehend aus Präsenzzeiten (60 Stunden), Nachbereitung der Vorlesung inkl. Prüfungsvorbereitung und Bearbeitung der Übungen (135 Stunden).

**Modulturnus:** Sommersemester

**Moduldauer:** Ein Semester

**Lehr- und Lernformen:**

4023151 Vorlesung 2 SWS; W. Wenzel; V. Meded

4023152 Übung 1 SWS; W. Wenzel; V. Meded

**Voraussetzungen:** keine

**Bedingungen:** keine

**Empfehlungen:**

Grundlagenkenntnisse der Festkörpertheorie, Quantenmechanik und der Thermodynamik werden vorausgesetzt.

**Qualifikationsziele:**

Verständnis grundlegender numerischer Verfahren in der Dichtefunktionaltheorie und die Fähigkeit zu ihrer Anwendung zur Lösung physikalischer Probleme der Festkörperphysik wie die Beschreibung von Ladungstransport oder Magnetismus. Schwerpunkte liegen im Erlangen der Fähigkeiten zur selbstständigen Simulationsdurchführung, darauffolgender Datenanalyse, physikalischer Interpretation und, falls möglich, Verknüpfung mit experimentellen Untersuchungen.

**Inhalt:**

With ever advancing computational power, it becomes possible to determine the electronic structure of increasingly complex systems relevant to solid state physics and materials science. Here we introduce Density Functional Theory (DFT) by explaining the basic underlying concepts, present examples of its application and its shortcomings and outline the most promising improvement paths. DFT will be applied to charge transport and magnetism related problems. As DFT makes it possible to treat fairly large systems (up to a few thousand of electrons) it enables direct comparison to experiment for many important applications. Both periodic, crystalline systems and localized single molecule in vacuum will be addressed with a special focus on systems with reduced dimensionality, such as surfaces and interfaces. Where applicable, comparisons to experiment and possible deployments will be presented. Some of the topics that will be addressed are:

- Basic concepts underpinning the DFT
- Calculations of band structure and density of states (DOS) of (hybrid) graphene materials.
- Treatment of magnetism within DFT, with examples of both bulk and molecular magnetism.
- Charge transport, with examples of both ballistic and disordered hopping transport.
- Beyond ground state DFT: Time Dependent DFT, GW, ...

**Literatur:**

Wird in der Vorlesung genannt.

**Leistungsnachweis:**

Falls dieses Modul Teil des Schwerpunkt- oder Ergänzungsfachs ist, werden die Leistungspunkte durch die zugehörige Prüfung (mündlich, schriftlich oder anderer Art) erworben. Ansonsten müssen die Übungen, Computerübungen, Praktika oder ggf. Abschlussvorträge erfolgreich absolviert werden.

**Notenbildung:**

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