UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

AMTLICHE MITTEILUNGEN

VERKÜNDUNGSBLATT DER UNIVERSITÄT PADERBORN AM.UNI.PB

AUSGABE 13.24 VOM 11. APRIL 2024

BESONDERE BESTIMMUNGEN DER PRÜFUNGSORDNUNG FÜR DEN MASTERSTUDIENGANG PHYSIK DER FAKULTÄT FÜR NATURWISSENSCHAFTEN AN DER UNIVERSITÄT PADERBORN

VOM 11. APRIL 2024

HERAUSGEBER: PRÄSIDIUM DER UNIVERSITÄT PADERBORN

Besondere Bestimmungen der Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn

vom 11. April 2024

Aufgrund des § 2 Absatz 4 und des § 64 Absatz 1 des Gesetzes über die Hochschulen des Landes Nordrhein-Westfalen (Hochschulgesetz – HG) vom 16. September 2014 (GV.NRW. S. 547), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 5. Dezember 2023 (GV. NRW. S. 1278), hat die Universität Paderborn folgende Ordnung erlassen:

Inhaltsverzeichnis

§ 31 Allgemeine und Besondere Bestimmungen 3
§ 32 Erwerb von Kompetenzen und Sprachenregelung 3
§ 33 Akademischer Grad 3
§ 34 Studienbeginn 3
§ 35 Zugangsvoraussetzungen 3
§ 36 Gliederung, Studieninhalte, Module 5
§ 37 Teilnahmevoraussetzungen, Zulassung 6
§ 38 Prüfende 6
§ 39 Leistungen in den Modulen 6
§ 40 Masterarbeit 9
§ 41 Gesamtnote 9
§ 42 Zusatzleistungen 9
§ 43 Übergangsbestimmungen 9
§ 44 Inkrafttreten, Außerkrafttreten und Veröffentlichung 9
Anhang 1: Exemplarischer Studienverlaufsplan 11
Anhang 2: Modulbeschreibungen 14

§ 31
Allgemeine und Besondere Bestimmungen

Diese Besonderen Bestimmungen gelten in Verbindung mit den Allgemeinen Bestimmungen für die Prüfungsordnungen der Masterstudiengänge der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn in der jeweils geltenden Fassung (Allgemeine Bestimmungen). Für einen sachgerechten Aufbau des Studiums befindet sich im Anhang ein Studienverlaufsplan. Einzelheiten zu den Modulen können den Modulbeschreibungen im Anhang entnommen werden, die Teil dieser Besonderen Bestimmungen sind.

§ 32
Erwerb von Kompetenzen und Sprachenregelung

(1) Die Masterprüfung bildet einen zweiten berufsqualifizierenden Abschluss des Studiums der Physik. Das Studium vermittelt den Studierenden neben den allgemeinen Studienzielen des § 58 Absatz 1 HG insbesondere vertiefte mathematisch-naturwissenschaftliche Kenntnisse und einen Überblick über innerphysikalische Zusammenhänge sowie ein an die aktuelle, internationale Forschung anschlussfähiges Wissen in einem Spezialgebiet, so dass komplexe physikalische Problem- und Aufgabenstellungen auf wissenschaftlicher Basis analysiert, formuliert und auch weitgehend gelöst werden können. Weiter erwerben Studierende die Fähigkeit, sich in ein beliebiges physikalisches Spezialgebiet einzuarbeiten, hierzu die aktuelle internationale Fachliteratur zu recherchieren, zur Problemlösung Experimente selbstständig zu planen, durchzuführen und zu interpretieren bzw. auf der Grundlage theoretischer Prinzipien selbstständig zu modellieren und zu simulieren. Bezogen auf diese fachbezogenen Fähigkeiten sollen auch soziale Kompetenzen, ein Bewusstsein von der Verantwortung gegenüber der Wissenschaft und den Grundsätzen der guten wissenschaftlichen Praxis sowie die Fähigkeit, komplexe Sachverhalte und eigene Forschungsergebnisse im Kontext aktueller Forschung zu diskutieren und schriftlich wie mündlich darzustellen, erworben werden.

(2) Masterstudium und Masterprüfung finden in deutscher oder englischer Sprache statt. Die jeweilige Sprache ist in den Modulbeschreibungen ausgewiesen.

§ 33
Akademischer Grad

Aufgrund des erfolgreichen Abschlusses des Masterstudiums wird der akademische Grad „Master of Science“ (M.Sc.) verliehen.

§ 34
Studienbeginn

Das Studium kann zum Wintersemester oder zum Sommersemester aufgenommen werden.

§ 35
Zugangsvoraussetzungen

(1) Das Studium setzt in Umsetzung des § 5 der Allgemeinen Bestimmungen einen Studienabschluss voraus, der nachfolgend beschriebene Kompetenzen beinhaltet, wie sie z. B. im Bachelorstudiengang Physik an der Universität Paderborn vermittelt werden:

a. Experimentelle Physik: Beherrschung der grundlegenden Konzepte der klassischen Physik (Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik) sowie der Quanten-, Atom- und Festkörperphysik.
b. Theoretische Physik: Beherrschung der theoretischen Grundlagen und Methoden der klassischen Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik und Thermodynamik, verbunden mit der Fähigkeit zur Modellbildung und abstrakten mathematischen Formulierung physikalischer Sachverhalte.
c. Physikalische Praktika: Erkennen und Extrahieren wesentlicher physikalischer Zusammenhänge anhand selbst durchgeführter Experimente, Protokollierung und kritische Auswertung der Versuchsergebnisse.
d. Mathematik: Beherrschung der grundlegenden mathematischen Konzepte und Methoden, die zum Verständnis und zur Lösung von Problemen im Masterstudiengang Physik benötigt werden. Hierbei handelt es sich um fundierte Kenntnisse in den Bereichen Lineare Algebra, Analysis, Differentialgleichungen, Vektoranalysis.

Die Feststellung über die Voraussetzungen trifft der Prüfungsausschuss.

(2) Der Studienabschluss muss mit einer Gesamtnote von mindestens 3,0 (oder einer äquivalenten ausländischen Abschlussnote) erfolgt sein oder das Modul „Bachelorarbeit“ muss mit einer Note von mindestens 2,0 absolviert worden sein.

(3) Fehlen Anforderungen, so kann die Einschreibung mit der Auflage erfolgen, die Anforderungen durch angemessene Studien nachzuholen und durch das Bestehen zugehöriger Prüfungen bis zur Meldung zu den Modulen der Forschungsphase nachzuweisen. Die Entscheidung hierüber sowie über Art und Umfang der Studien und Prüfungen trifft der Prüfungsausschuss auf der Grundlage des vorangegangenen Studienabschlusses. Dabei können auch außerhalb des Studienabschlusses erfolgreich erbrachte Prüfungsleistungen Berücksichtigung finden. Die fehlenden und nachzuholenden Studien dürfen 30 Leistungspunkte nicht überschreiten. Die Studien und Prüfungen sollten im ersten Semester des Masterstudiengangs erbracht werden.

(4) Über die in § 5 der Allgemeinen Bestimmungen genannten Voraussetzungen hinaus besteht folgende weitere Zugangsvoraussetzung:

Fremdsprachenkenntnisse in Englisch auf dem Niveau B2 des gemeinsamen europäischen Referenzrahmens für Sprachen (GER) sind erforderlich. Die Englischkenntnisse sind wie folgt nachzuweisen:

a. Bachelorabschluss im englischsprachigen Ausland oder in einem als englischsprachig akkreditierten, inländischen Studiengang oder
b. Test of English as Foreign Language (TOEFL) „internet-based" Test (iBT, inklusive Home Edition und Paper Edition) mit einem Ergebnis von mindestens 80 Punkten oder
c. IELTS-Test mit einem Ergebnis von mindestens 6.0 oder
d. Cambridge Test – First Certificate in English (FCE) oder
e. durch im Niveau gleichwertige Tests oder
f. entsprechende schulische Vorbildung.

(5) Deutsche Sprachkenntnisse sind abweichend von § 5 Absatz 1 Nr.3 der Allgemeinen Bestimmungen nicht erforderlich.

(6) Für den Fall, dass die Studienbewerberin bzw. der Studienbewerber in dem bisherigen Studiengang an einer Hochschule im Geltungsbereich des Grundgesetzes eine nach der Prüfungsordnung erforderliche Prüfung endgültig nicht bestanden hat und der bisherige Studiengang eine erhebliche inhaltliche Nähe zu dem Masterstudiengang Physik aufweist, wird die Einschreibung unter den Voraussetzungen des § 5 Absatz 3 der Allgemeinen Bestimmungen versagt.

§ 36
Gliederung, Studieninhalte, Module

(1) Im Masterstudiengang Physik können folgende Studienschwerpunkte gewählt werden:
- General Physics,
- Photonic Quantum Technologies,
- Optoelectronics, Materials, Devices

(2) Wird keine Wahl getroffen, wird der/die Studierende dem Studienschwerpunkt „General Physics“ zugeordnet. Ein Wechsel des Schwerpunkts ist jederzeit auf Antrag beim Zentralen Prüfungssekretariat möglich.

(3) Im Rahmen des Masterstudiengangs sind folgende Module zu absolvieren:
- zwei Wahlpflichtmodule aus der Modulgruppe „Experimentalphysik“ mit jeweils 6 LP
- Modul Quantenmechanik:
  Pflichtmodul mit 8 LP,
- drei Wahlpflichtmodule aus der Modulgruppe „Spezialisierung“ mit je 6 LP.
- Modul Hauptseminar:
  Pflichtmodul mit 4 LP.
- Modul Technisches Englisch II:
  Pflichtmodul mit 6 LP.
- zwei Wahlpflichtmodule aus der Modulgruppe „Theoretische Physik“ mit je 6 LP,
- Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie mit 15 LP
- Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik mit 15 LP.
- Modul Masterarbeit:
  Pflichtmodul mit 30 LP.

(4) Wird der Studienschwerpunkt „General Physics“ gewählt, können die in Absatz (3) genannten Wahlpflichtmodule innerhalb der jeweiligen Modulgruppe beliebig gewählt werden.

(5) Wird die Studienvariante „Photonic Quantum Technologies“ gewählt, sind die in Absatz (3) genannten Wahlmöglichkeiten wie folgt eingeschränkt:
- Eins der zwei Wahlpflichtmodule aus der Modulgruppe „Experimentalphysik“ muss das Modul „Quantenoptik“ sein.
- In der Modulgruppe „Spezialisierung“ muss darüber hinaus entweder das Modul „Quantenelektronik“ oder „Integrierte Optik und Photonik“ oder „Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung“ absolviert werden.
- Eins der drei Wahlpflichtmodule aus der Modulgruppe „Spezialisierung“ muss das Modul „Einführung in das Quantencomputing“ sein. In der Modulgruppe „Theoretische Physik“ muss das Modul „Quanteninformationstheorie“ absolviert werden

(6) Wird die Studienvariante „Optoelectronics, Materials, Devices“ gewählt, sind die in Absatz (3) genannten Wahlmöglichkeiten wie folgt eingeschränkt:
- In der Modulgruppe „Experimentalphysik“ muss entweder das Modul „Physik und Technologie von Nanomaterialien“ oder das Modul „Halbleiterheterostrukturen: Grundlagen und Anwendungen“ absolviert werden.
- In der Modulgruppe „Experimentalphysik“ muss entweder das Modul „Nichtlineare Optik“ oder das Modul „Projektpraktikum“ gewählt werden.
- Aus der Modulgruppe „Spezialisierung“ muss das Modul „Optoelektronische Halbleiterbauelemente“ gewählt werden.
- Aus der Modulgruppe „Spezialisierung“ muss entweder das Modul „Computational Optoelectronics and Photonics 1“ oder das Modul „Integrierte Optik und Photonik“ gewählt werden.

§ 37
Teilnahmevoraussetzungen, Zulassung

(1) Teilnahmevoraussetzungen für ein Modul gemäß § 7 Absatz 2 der Allgemeinen Bestimmungen regeln die Modulbeschreibungen.

(2) Zur Forschungsphase kann nur zugelassen werden, wer mindestens 48 LP erreicht. und im Falle der Einschreibung unter Auflagen gemäß § 4 das Bestehen der zugehörigen Prüfungen nachgewiesen hat.

(3) Zur Masterarbeit kann nur zugelassen werden, wer zum Zeitpunkt des Antrags auf Zulassung die Module „Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie“ und „Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik“ der Forschungsphase erfolgreich abgeschlossen hat.

(4) Weitere Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen gemäß § 12 Absatz 2 der Allgemeinen Bestimmungen werden in den Modulbeschreibungen geregelt.

§ 38 Prüfende

Der Kreis der Prüfenden kann im Rahmen des § 65 HG erweitert werden.

§ 39
Leistungen in den Modulen

(1) In den Modulen sind Leistungen nach Maßgabe der Modulbeschreibungen zu erbringen.

(2) Prüfungsleistungen werden gemäß § 15 der Allgemeinen Bestimmungen in Form von Klausuren, mündlichen Prüfungen, schriftlichen Hausarbeiten oder in anderen Formen erbracht. Folgende andere Formen sind insbesondere vorgesehen:

1. Referat:

   Referate sind mündliche Präsentation über ein selbstständig erarbeitetes Thema im thematischen Umfeld einer Lehrveranstaltung. Dabei sollen die Studierenden nachweisen, dass sie zur Recherche und wissenschaftlichen Ausarbeitung eines vorgegebenen Themas in der Lage sind und die Ergebnisse vermitteln können. Das Thema wird mit der bzw. dem Lehrenden abgesprochen.

2. Gesamtheit der Versuche

   Die Prüfung besteht aus einer vorgegebenen Anzahl von Versuchen aus einem inhaltlich gegliederten Katalog von Versuchen. Ein Versuch umfasst die Vorbereitung (inklusive Literaturrecherchen), die Durchführung (inklusive Reflexionen zu Kommentaren der Betreuer), die schriftliche Ausarbeitung (Praktikumsbericht inklusive Literaturrecherchen), die Präsentation und ein Gespräch über die schriftliche Ausarbeitung. Es wird eine Note für die Gesamtheit der schriftlichen Ausarbeitungen (einschließlich der Präsentationen und Gespräche) der Versuche vergeben.

   In den Praktika sollen die Kandidatinnen und Kandidaten nachweisen, dass sie eine experimentelle Aufgabe angemessen vorbereiten, unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten durchführen, auswerten und dokumentieren können. Um die Zusammenarbeit zu üben und aus Sicherheitsaspekten, werden die Versuche in der Regel in Kleingruppen von zwei bis vier Studierenden gemeinsam durchgeführt. Es besteht eine verpflichtende Teilnahme an den Praktikumstagen.

Vor Beginn des jeweiligen Versuches überzeugt sich die bzw. der Betreuende, ob die Vorbereitung der Studierenden ausreicht, um den Versuch erfolgreich und sicher durchführen zu können. Ist dies nicht der Fall, so kann der Versuch erst zu einem späteren Termin durchgeführt werden.

3. Portfolio
   Das Abschlussportfolio umfasst auf Grundlage der durchgeführten Versuche übergreifende schriftliche Ausarbeitungen zu individuell vorgegebenen Themen sowie ein Abschlussgespräch. Ein Versuch umfasst die Vorbereitung (inklusive Literaturrecherchen), die Durchführung (inklusive Reflexionen zu Kommentaren der Betreuer), die schriftliche Ausarbeitung (Praktikumsbericht von ca. 10 Seiten ohne Anhänge, inklusive Literaturrecherchen), die Präsentation und ein Gespräch über die schriftliche Ausarbeitung von ca. 15 Minuten. Es wird eine Note für die Gesamtheit der schriftlichen Ausarbeitungen (einschließlich der Präsentationen und Gespräche) der vier Versuche vergeben. Die schriftlichen Ausarbeitungen (einschließlich der Präsentationen und Gespräche) der Versuche werden im gleichen Verhältnis bei der Bewertung der Prüfung berücksichtigt.
4. Schriftliche Aufgabe
   Eine schriftliche Aufgabe ist eine Prüfungsform, bei der der Prüfling seine Kenntnisse und Fähigkeiten durch das Verfassen eines schriftlichen Textes zu einem bestimmten Themenbereich demonstriert. Sie ermöglicht die Bewertung des Verständnisses und der Fähigkeiten des Prüflings in Bezug auf die Anwendung und Integration von Wissen, die Analyse komplexer Konzepte sowie die Fähigkeit zur schriftlichen Kommunikation.
   Die Durchführung einer schriftlichen Aufgabe erfolgt in der Regel individuell. Der Prüfling erhält eine spezifische Fragestellung oder ein spezifisches Thema, zu dem er einen Text verfassen muss. Dieser Text soll in der Regel etwa 500 Wörter umfassen, kann jedoch je nach Komplexität und Anforderungen des Themas variieren.
   Die schriftliche Aufgabe ermöglicht es dem Prüfling, sein Wissen und seine Fähigkeiten auf eine Weise zu demonstrieren, die eine tiefergehende und detailliertere Analyse erfordert als in einem mündlichen Prüfungsformat. Darüber hinaus ermöglicht sie es dem Prüfling, seine Fähigkeiten im Bereich der schriftlichen Kommunikation und Argumentation zu demonstrieren.
   Die Bewertung der schriftlichen Aufgabe erfolgt auf der Grundlage der Qualität und Tiefe der Analyse, der Relevanz und Genauigkeit des verwendeten Wissens, der Struktur und Kohärenz des Textes sowie der Effektivität der schriftlichen Kommunikation.
5. Schriftliche Hausarbeit mit anschließender Präsentation
   Eine „schriftliche Hausarbeit mit anschließender Präsentation“ ist eine Prüfungsform, bei der der Prüfling sein Wissen und seine Fähigkeiten in einer Kombination aus schriftlicher und mündlicher Präsentation demonstriert.
   Die schriftliche Hausarbeit ermöglicht es dem Prüfling, ein bestimmtes Thema tiefgehend zu erforschen und zu analysieren. Diese Arbeit soll in der Regel etwa 10 Seiten umfassen, kann aber je nach Komplexität des Themas und den Anforderungen des Prüfers variieren. Die Hausarbeit erfordert vom Prüfling, eine gründliche Literaturrecherche durchzuführen, seine Gedanken klar und strukturiert zu formulieren, und seine Argumente und Schlussfolgerungen auf der Grundlage von Beweisen und Belegen zu untermauern.
   Nach Fertigstellung der schriftlichen Arbeit präsentiert der Prüfling seine Ergebnisse und Erkenntnisse in einer mündlichen Präsentation, die in der Regel 25 Minuten dauert. Diese Präsentation bietet dem Prüfling die Möglichkeit, seine Fähigkeiten in der mündlichen Kommunikation und Präsentation zu demonstrieren und seinen Ansatz, seine Ergebnisse und seine Schlussfolgerungen zu diskutieren und zu verteidigen.
   Im Vergleich zur Prüfungsform „Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag“ liegt der Schwerpunkt bei der „Schriftlichen Hausarbeit mit anschließender Präsentation“ stärker auf der Integration von schriftlichen und mündlichen Kommunikationsfähigkeiten. Während bei beiden

Prüfungsformen eine schriftliche Arbeit erstellt und präsentiert wird, geht es bei der "Schriftlichen Hausarbeit mit anschließender Präsentation" vor allem darum, die Ergebnisse der Hausarbeit in einem mündlichen Format zu präsentieren und zu diskutieren, und weniger um einen formellen Abschlussvortrag, der auf der Arbeit basiert.

6. Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag
   Die Prüfungsform "Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag" besteht aus zwei miteinander verbundenen Komponenten: einer umfangreichen schriftlichen Hausarbeit und einem darauf aufbauenden Abschlussvortrag.
   Die schriftliche Hausarbeit erfordert von den Studierenden, ein spezifisches Thema in einem bestimmten Fachgebiet zu recherchieren, zu analysieren und darüber in einer ausführlichen, formal strukturierten Arbeit zu berichten. Die Hausarbeit sollte in der Regel etwa 30 Seiten umfassen, abhängig von der spezifischen Anforderung und Komplexität des Themas. Sie bietet den Studierenden die Möglichkeit, tiefergehende Recherchen durchzuführen und ihre Fähigkeit zu demonstrieren, komplexe wissenschaftliche Konzepte zu analysieren und schriftlich darzulegen.
   Nach der Fertigstellung der schriftlichen Hausarbeit erstellen die Studierenden einen Abschlussvortrag, der die wichtigsten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus der schriftlichen Arbeit präsentiert. Der Abschlussvortrag dauert in der Regel 30 Minuten und bietet den Studierenden die Gelegenheit, ihre mündlichen Präsentationsfähigkeiten zu demonstrieren und das Verständnis ihres Themas zu vertiefen. Zudem dient der Abschlussvortrag dazu, das Feedback und die Fragen der Prüfer und möglicherweise auch anderer Studierender zu beantworten.
   Die Prüfungsform "Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag" unterscheidet sich von der "Schriftlichen Hausarbeit mit anschließender Präsentation" hauptsächlich in Bezug auf den Umfang der Arbeit und die Art der Präsentation. Während bei der "Schriftlichen Hausarbeit mit anschließender Präsentation" eine kürzere Arbeit (ca. 10 Seiten) gefordert ist und die Präsentation oft direkt im Anschluss an die Fertigstellung der Arbeit erfolgt, verlangt die "Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag" eine umfangreichere Arbeit (ca. 30 Seiten) und einen formelleren, strukturierten Abschlussvortrag. Der Abschlussvortrag ist oft öffentlich und erfordert eine intensivere Vorbereitung und ein tieferes Verständnis des Themas.

(3) Die Dauer einer Klausur beträgt 60 bis 180 Minuten.

- Die Dauer einer mündlichen Prüfung beträgt 30 bis 45 Minuten.
- Die Dauer eins Referats beträgt ca. 30 Minuten.
- Der Umfang einer schriftlichen Hausarbeit beträgt 30.000-40.000 Zeichen.
- Eine schriftliche Aufgabe hat den Umfang von ca. 500 Wörtern.
- Schriftliche Hausarbeit mit anschließender Präsentation hat einen Umfang von ca. 10 Seiten (Hausarbeit) und ca. 25 Min. (Präsentation)
- Eine Schriftliche Hausarbeit mit Abschlussvortrag hat einen Umfang von ca. 30 Seiten (Hausarbeit) und von ca. 30 Min. (Abschlussvortrag).

Näheres regeln die Modulbeschreibungen.

(4) Im Rahmen qualifizierter Teilnahme kommen insbesondere in Betracht:

- Übungsaufgaben, die in der Regel wöchentlich als Hausaufgaben und/oder Präsenzaufgaben gestellt werden,
- Projektarbeit,
- schriftliche Vortragsausarbeitung,
- Testat.

Näheres regeln die Modulbeschreibungen. Sofern in den Modulbeschreibungen Rahmenvorgaben enthalten sind, setzt die bzw. der jeweilige Lehrende fest, was im Rahmen qualifizierter Teilnahme

konkret zu erbringen ist. Dies wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit von der bzw. dem jeweiligen Lehrenden und im Campus Management System der Universität Paderborn oder in sonstiger geeigneter Weise bekannt gegeben.

(5) Sofern in den Modulbeschreibungen Rahmenvorgaben zu Form, Dauer oder Umfang von Prüfungsleistungen enthalten sind, setzt der Prüfungsausschuss im Benehmen mit der bzw. dem Prüfenden fest, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist. Dies wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit von der bzw. dem jeweiligen Lehrenden und im Campus Management System der Universität Paderborn oder in sonstiger geeigneter Weise bekannt gegeben.

§ 40
Masterarbeit

(1) Die Masterarbeit soll einen Umfang von 40 bis 80 Seiten (150.000 bis 200.000 Zeichen, ohne Anhänge) haben. Die Bearbeitungszeit für die Masterarbeit beträgt 20 Wochen. Die Masterarbeit soll spätestens sechs Wochen nach Abschluss der Vorbereitungsmodule der Forschungsphase begonnen werden.

(2) Eine mündliche Verteidigung gemäß § 19 der Allgemeinen Bestimmungen ist erforderlich. Die mündliche Verteidigung besteht aus einem Vortrag über die wesentlichen Ergebnisse und thematischen Schwerpunkte der Arbeit von ca. 25 Minuten Dauer. Im Anschluss an den Vortrag wird den Prüfenden Gelegenheit zu Nachfragen gegeben. Die Gesamtdauer der mündlichen Verteidigung soll 60 Minuten nicht überschreiten. Masterarbeit und mündliche Verteidigung haben eine Gewichtung von 5:1 bei der Bildung der Note für das Abschlussmodul.

§ 41
Gesamtnote

Die Gesamtnote wird gemäß § 21 der Allgemeinen Bestimmungen gebildet.

§ 42
Zusatzleistungen

Studierende können Zusatzleistungen gemäß § 20 der Allgemeinen Bestimmungen in nicht teilnehmerbegrenzten Modulen des Studiengangs erbringen.

§ 43
Wiederholung von Prüfungsleistungen

Die Anzahl der Prüfungsversuche gemäße § 22 Absatz 1 der Allgemeinen Bestimmungen ist auf vier begrenzt.

§ 44
Übergangsbestimmungen

(1) Diese Besonderen Bestimmungen gelten für alle Studierenden, die ab dem Wintersemester 2024/2025 erstmalig für den Masterstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn eingeschrieben werden.

(2) Studierende, die vor dem Wintersemester 2024/2025 an der Universität Paderborn für den Masterstudiengang Physik eingeschrieben worden sind, legen ihre Masterprüfung einschließlich Wiederholungsprüfungen letztmalig im Wintersemester 2026/2027 nach der Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn vom 16. Juni 2017 (AM.Uni.Pb. 48.17) ab. Danach wird die Masterprüfung einschließlich Wiederholungsprüfungen nach diesen Besonderen Bestimmungen abgelegt. Auf Antrag beim Prüfungsausschuss kann bereits vorher in diese Besonderen Bestimmungen gewechselt werden. Der Antrag ist unwiderruflich.

§ 45
Inkrafttreten, Außerkrafttreten und Veröffentlichung

(1) Die Besonderen Bestimmungen treten am 01.10.2024 in Kraft. Gleichzeitig tritt die Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn vom 16. Juni 2017 (AM.Uni.Pb. 48.17) außer Kraft. § 44 bleibt unberührt.

(2) Die Besonderen Bestimmungen werden in den Amtlichen Mitteilungen der Universität Paderborn (AM.Uni.Pb.) veröffentlicht.

(3) Gemäß § 12 Abs. 5 HG kann nach Ablauf eines Jahres seit der Bekanntmachung dieser Ordnung gegen diese Ordnung die Verletzung von Verfahrens- oder Formvorschriften des Hochschulgesetzes oder des Ordnungs- oder des sonstigen autonomen Rechts der Hochschule nicht mehr geltend gemacht werden, es sei denn,

1. die Ordnung ist nicht ordnungsgemäß bekannt gemacht worden,
2. das Präsidium hat den Beschluss des die Ordnung beschließenden Gremiums vorher beanstandet,
3. der Form- oder Verfahrensmangel ist gegenüber der Hochschule vorher gerügt und dabei die verletzte Rechtsvorschrift und die Tatsache bezeichnet worden, die den Mangel ergibt, oder
4. bei der öffentlichen Bekanntmachung der Ordnung ist auf die Rechtsfolge des Rügeausschlusses nicht hingewiesen worden.

Ausgefertigt aufgrund des Beschlusses des Fakultätsrates der Fakultät für Naturwissenschaften vom 3. Mai 2023 sowie nach Prüfung der Rechtmäßigkeit durch das Präsidium der Universität Paderborn vom 28. Juni 2023.

Paderborn, den 11. April 2024

Die Präsidentin
der Universität Paderborn

Professorin Dr. Birgitt Riegraf

Anhang 1:
Studienverlaufsplan: Studienvariante „General Physics“

Semester	Modul	LP	Workload (h)
1.	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Experimentalphysik	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Spezialisierung	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Spezialisierung	6	180
	Quantenmechanik II	8	180
	Hauptseminar		60
	Technisches Englisch II		90
Summe		**31**	**930**
2.	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Theoretische Physik	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Spezialisierung	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Experimentalphysik	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Theoretische Physik	6	180
	Hauptseminar		60
	Technisches Englisch II		90
Summe		**29**	**870**
3.	Vorbereitungsmodul: Theorie	15	450
	Vorbereitungsmodul: Methodik	15	450
Summe		**30**	**900**
4.	Masterarbeit	30	900
Summe		**30**	**900**

Der dargestellte Studienverlaufsplan gilt als Empfehlung und Orientierung und kann individuell anders zusammengestellt werden. Zu beachten sind dabei die Voraussetzungen zur Belegung bestimmter Module nach den Modulbeschreibungen. Module, die spezifisch für diese Studienvariante sind, sind zur Hervorhebung in kursiver Schrift dargestellt.

Studienverlaufsplan: Studienvariante Photonic Quantum Technologies

Semester	Modul	LP	Workload (h)
1.	*Quantenoptik*	6	180
	Einführung in das Quantencomputing	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Spezialisierung	6	180
	Quantenmechanik II	8	240
	Hauptseminar		60
	Technisches Englisch II		90
Summe		**31**	**930**
2.	*Quanteninformationstheorie*	6	180
	Wahlpflichtmodul *- Quantenelektronik oder* *- Integrierte Optik und Photonik oder* *- Quantenkommunikations und Quanteninformationsverarbeitung*	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Experimentalphysik	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Theoretische Physik	6	180
	Hauptseminar	2	60
	Technisches Englisch II	3	90
Summe		**29**	**870**
3.	Vorbereitungsmodul: Theorie	15	450
	Vorbereitungsmodul: Methodik	15	450
Summe		**30**	**900**
4.	Masterarbeit	30	900
Summe		**30**	**900**

Der dargestellte Studienverlaufsplan gilt als Empfehlung und Orientierung und kann individuell anders zusammengestellt werden. Zu beachten sind dabei die Voraussetzungen zur Belegung bestimmter Module nach den Modulbeschreibungen. Module, die spezifisch für diese Studienvariante sind, sind zur Hervorhebung in kursiver Schrift dargestellt.

Studienverlaufsplan: „Studienvariante Optoelectronics, Materials, Devices“

Semester	Modul	LP	Workload (h)
1.	*Wahlpflichtmodul* *- Physik und Technologie von Nanomaterialien oder* *- Halbleiterheterostrukturen.: Grundlagen und. Anwendungen.*	6	180
	Optoelektronische Halbleiterbauelemente	6	180
	Wahlpflichtmodul *- Computational Optoelectronics & Photonics 1oder* *- Integrierte Optik und Photonik*	6	180
	Quantenmechanik II	8	240
	Hauptseminar LV a), b) oder c)		60
	Technisches Englisch II LV a)		90
Summe		**31**	**930**
2.	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Theoretische Physik	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der Modulgruppe Spezialisierung	6	180
	Wahlpflichtmodul *- Nichtlineare Optik oder* *- Projektpraktikum*	6	180
	Ein Wahlpflichtmodul aus der ModulgruppeTheoretische Physik	6	180
	Hauptseminar LV a), b) oder c)		60
	Technisches Englisch II LV b)		90
Summe		**29**	**870**
3.	Vorbereitungsmodul: Theorie	15	450
	Vorbereitungsmodul: Methodik	15	450
Summe		**30**	
4.	Masterarbeit	30	
Summe		**30**	

Der dargestellte Studienverlaufsplan gilt als Empfehlung und Orientierung und kann individuell anders zusammengestellt werden. Zu beachten sind dabei die Voraussetzungen zur Belegung bestimmter Module nach den Modulbeschreibungen. Module, die spezifisch für diese Studienvariante sind, sind zur Hervorhebung in kursiver Schrift dargestellt.

Anhang 2:
Modulbeschreibungen

Modulgruppe Experimentalphysik

Nichtlineare Optik

Nonlinear Optics

Modul-Nr.	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
1a	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Nichtlineare Optik	V	30	60	WP	30
b)	Nichtlineare Optik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Nichtlineare optische Suszeptibilität (Beschreibung nichtlinear-optischer Prozesse, formale Definition und Eigenschaften der nichtlinearen Suszeptibilität)
- Wellenoptische Beschreibung nichtlinearer Wechselwirkungen (Wellengleichung für nichtlinear-optische Medien, Phasenanpassung, Manley-Rowe-Beziehung, SHG und SFG, nichtlineare Optik an Grenzflächen)
- Intensitätsabhängiger Brechungsindex (Halbleiter-Nichtlinearitäten, Pulsausbreitung und Solitonen, optische Phasenkonjugation, optische Bistabilität)
- Elektrooptischer und photorefraktiver Effekt (elektrooptischer Effekt, elektrooptische Modulatoren, photorefraktiver Effekt)

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, die grundlegenden Konzepte der nichtlinearen Optik korrekt und fundiert auf Problemstellungen der Physik anzuwenden und selbständig zu bearbeiten.

Die Studierenden

- können Fragestellungen aus dem Bereich der nichtlinearen Optik erkennen, analysieren und gegenüber der linearen Optik abgrenzen,
- können zur Lösung von nichtlinearen Wellengleichungen Näherungen anwenden,
- können eigenständig Problemstellungen der nichtlinearen Optik erkennen und entsprechend angebrachte Lösungsstrategien bei Standardproblemen, die nichtlineare Effekte beinhalten, entwickeln,
- sind in der Lage, einfache Abstraktionen von komplexeren Problemstellungen beim Umgang mit der nichtlinearen Optik anzuwenden und diese auf Näherungen zur Lösung der Problemstellung zu übertragen,
- besitzen die Fähigkeit, komplexere physikalische Zusammenhänge aus dem Bereich der nichtlinearen Optik selbständig zu beurteilen und unter Anwendung des erworbenen Wissens numerische oder analytische

<table>
<tr><td></td><td>Lösungsansätze in Bezug auf ihre Näherungen zu bewerten,
▪ können sich selbstständig mit aktueller englischsprachiger Fachliteratur zur Thematik der nichtlinearen Optik beschäftigen.</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Thomas Zentgraf, Prof. Dr. Christine Silberhorn</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Physik und Technologie von Nanomaterialien

Physics and Technology of Nanomaterials

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
1b	180	6	1.	Jedes WS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Physik und Technologie von Nanomaterialien	V	45	90	WP	30
b)	Physik und Technologie von Nanomaterialien	Ü	15	30	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Thermodynamische und kristallographische Grundlagen und Eigenschaften von Nanomaterialien
- Herstellung dünner Schichten aus der flüssigen Phase und dem Vakuum, Epitaxie, Be- und Entnetzung
- Strukturierung und Modifikation dünner Schichten mittels thermischer, nasschemischer, ionenstrahlgestützter und plasmabasierter Verfahren
- Laterale Strukturierung dünner Schichten und Oberflächen mittels konventioneller und moderner Lithographieverfahren
- Herstellung, Prozessierung und Anwendung ein-, zwei- und dreidimensionaler Nanoobjekte (Nanodrähte und -röhrchen, Graphen und andere 2D-Materialien, Nanocluster, Quantum Dots, Core-Shell-Strukturen)

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, technologische Konzepte zur Herstellung nanostrukturierter Materialien und Oberflächen zu erarbeiten und deren Erfolgsaussichten abzuschätzen.

Die Studierenden

- verstehen die besonderen Eigenschaften, die Materialien durch Nanostrukturierung bekommen,
- kennen unterschiedliche grundlegende Konzepte und Verfahren zur Herstellung von Strukturen, die in einer, zwei oder drei Dimensionen nanoskalige Abmessungen haben,
- verstehen die physikalischen Hintergründe dieser Verfahren auf atomistischer oder molekularer Basis,
- können die qualitativen bzw. quantitativen Modelle, die solche Verfahren beschreiben, anwenden,
- haben die Fähigkeit, die erlernten Methoden auf neue Fragestellungen und Materialsysteme disziplinübergreifend anzuwenden und in unterschiedlichen Weisen miteinander zu kombinieren,
- sind in der Lage, sich zusätzliche Technologien der Nanostrukturherstellung durch Studium der Fachliteratur und aus Internetquellen selbstständig zu erarbeiten und reflektiert zu präsentieren.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics sowie im Masterstudiengang Materials Science verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Jörg Lindner, NN

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Quantenoptik

Quantum Optics

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
1c	180	6	1.	WS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Quantenoptik	V	30	60	WP	30
b)	Quantenoptik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

In dem Modul werden die grundlegenden Konzepte behandelt, die zum Verständnis der Quantenoptik mit Licht benötigt werden. Im Detail werden folgende Themen diskutiert:

- Photonenstatistiken und Photodetektion von Quantenlicht
- Grundlegende Ideen der Feldquantisierung, Fock-Zustände und ein- bzw. mehrmodige Quantenzustände
- Kohärente Zustände und Phasenraumdarstellungen des Lichts
- Strahlteiler und Interferometer in der Quantenoptik, Hong-Ou Mandel Interferenz
- Nicht-klassisches Licht, Einphotonen-Zustände, gequetschte Zustände, Homodyn-Detektion
- Korrelationsfunktionen und Quantenkohärenz, Hanbury-Brown Twiss Experimente

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Beherrschung der grundlegenden Konzepte der Quantenoptik, inklusive der Kenntnis spezifischer Phänomene, die quantenoptische Beobachtung von klassischen Experimenten abgrenzen.

Die Studierenden

- sind mit den Konzepten der Quantenoptik vertraut und können diese mit experimentellen Aufbauten verknüpfen,
- sind befähigt, Rechenmethoden aus der Quantenmechanik für die Berechnung praktischer Probleme der experimentellen Quantenoptik einzusetzen,
- können quantenoptische Beobachtungen von rein klassischen optischen Experimenten abgrenzen,
- verstehen das Prinzip der Feldquantisierung und deren Implikationen für die Definition eines Photons und der formal korrekten Beschreibung des Welle-Teilchen Dualismus,
- verstehen die Modellierung „klassischen“ Laserlichts und die Bedeutung von Photonenstatistiken,
- beherrschen die Berechnung von Quanteninterferenzen in verschiedenen Aufbauten,
- können die Anwendbarkeit nicht-klassischer Lichtzustände in der Praxis beurteilen.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Christine Silberhorn, Prof. Dr. Tim Bartley</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Physikalisches Projektpraktikum

Laboratory Course

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
1d	180	6	1.–2.	Jedes Semester	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Physikalisches Projektpraktikum	P	60	120	WP	4 (zwei Gruppen parallel betreut)

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Das Praktikum umfasst Versuche aus dem Bereich der Optoelektronik und Photonik sowie der Materialwissenschaften. Die Studierenden wählen vier Versuche aus einem Themenkatalog aus, der über das Campus Management System bekanntgegeben wird. Versuche zu folgenden Themen sind möglich: Ellipsometrie und winkelaufgelöste optische Analytik, Wellenleiter-Charakterisierung, parametrische Photonenpaar-Quellen, diodengepumpter Festkörperlaser mit Frequenzverdopplung, optische Längenmessung, Charakterisierung optoelektronischer Bauelemente: LED-Laser, nichtlineare Optik auf dem Computer, Photodetektoren, optische Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik, elektromagnetische Feldsimulationen, moderne Leuchtmittel, korrellierte Mikroskopie, etc.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Hinführung zum selbstständigen Handeln und Experimentieren durch die Bearbeitung von kleinen forschungsnahen Projekten mit klar umrissener Aufgabenstellung. Die durchzuführenden Versuche sind so gestaltet, dass wesentliche Anteile an selbstständigem Experimentieren und Aufbauen der Versuche enthalten sind. Damit wird eine Brücke hergestellt zwischen dem Anspruch typischer Versuche aus dem Fortgeschrittenenpraktikum aus dem Bachelorstudiengang Physik, die noch weitgehend unter sehr detaillierter Anleitung mit fertigen Apparaturen durchgeführt werden, und dem wissenschaftlichen Arbeiten, wie es in den Modulen der Forschungsphase und der Masterarbeit erforderlich ist. Die angebotenen Versuche sind so ausgelegt, dass sie deutlich über typische Lehrbuchthemen und -effekte hinausgehen und anwendungsbezogene Aspekte mit einbeziehen, die für die spätere Arbeit in einem forschungsnahen beruflichen Umfeld im Bereich der Physik als berufsqualifizierend angesehen werden.

Die Studierenden

- lernen das selbstständige Handeln und Experimentieren durch die Bearbeitung von kleinen forschungsnahen Projekten mit klar umrissener Aufgabenstellung,
- erlernen den Umgang mit modernen komplexen physikalischen Experimentiermethoden in einem realen Forschungsumfeld einer Arbeitsgruppe,
- erlernen den Umgang mit wissenschaftlicher englischsprachiger Spezialliteratur sowohl zur Vorbereitung auf die verschiedenen Versuche als auch durch Dokumentation der erzielten Ergebnisse im Stile einer wissenschaftlichen Veröffentlichung,
- können gewonnene wissenschaftliche Ergebnisse im Kontext aktueller Forschung erläutern.

6 **Prüfungsleistung:**

[x] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)	Portfolio	4 Versuche	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

Teilnahmevoraussetzung ist die Anwesenheit an den Versuchstagen.

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics sowie im Masterstudiengang Materials Science verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Christine Silberhorn, Prof. Dr. Jörg Lindner

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Halbleiterheterostrukturen: Grundlagen und Anwendungen

Semiconductor Heterostructures: Fundamentals and Applications

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
01e	180	6	1.	WS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Physik und Anwendung von Halbleiterheterostrukturen	V	30	60	WP	bis zu 30
b)	Physik und Anwendung von Halbleiterheterostrukturen	Ü	30	60	WP	bis zu 30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Grundlagen niedrigdimensionaler HL-System (Quantisierungsenergie, Zustandsdichten, Fermi-Energien, Wellenfunktionen, …)
- Elektronische Eigenschaften von Halbleiterheterostrukturen
- Optische Eigenschaften von Halbleiterheterostrukturen
- Materialsysteme, Herstellungsmethoden, Bauelemente

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Beherrschung der grundlegenden Konzepte im Bereich der Halbleiterheterostrukturen mit den Aspekten Herstellung und elektrische und optische Eigenschaften.

Die Studierenden

- besitzen ein umfassendes qualitatives Verständnis von Halbleiterheterostrukturen,
- besitzen Kenntnisse der Grundlagen der quantitativen Beschreibung der relevanten Phänomene,
- haben die Fähigkeit, das Gelernte auf Probleme aus dem Bereich der Halbleiterheterostrukturen anzuwenden, die Ergebnisse zu diskutieren und mit Bezug auf das Fachgebiet einzuordnen.

6 Prüfungsleistung:

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** Das Modul wird auch im Masterstudiengang Materials Science verwendet.
12	**Modulbeauftragte/r:** Prof. Dr. Dirk Reuter, Prof. Dr. Donat As
13	**Sonstige Hinweise:** Kenntnisse in Festköper- und Halbleiterphysik sind wünschenswert

Quantenmechanik II

Quantum Mechanics II

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
2	240	8	1.	Jedes WS	1	de/en	P

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Quantenmechanik II	V	60	75	P	30
b)	Quantenmechanik II	Ü	30	75	P	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- CGS-Einheitensystem, Axiomatik der Quantenmechanik
- Stationäre und zeitabhängige Störungstheorie
- Elektromagnetische Felder in der Quantenmechanik
- Elektronenspin
- Elemente der relativistischen Quantenmechanik
- Wegintegralformulierung der Quantenmechanik und Green'sche Funktionen
- Vielteilchensysteme und Grundlagen der Quantenfeldtheorie

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Vertrautheit mit fortgeschrittenen Konzepten der Quantenmechanik, Beherrschung der dafür relevanten Rechenmethoden und vertieftes Verständnis der Querverbindungen zu den anderen Teilgebieten der Theoretischen Physik.

Die Studierenden

- besitzen ein anwendungsbereites Verständnis der stationären und zeitabhängigen Störungsrechnung,
- sind fähig, quantenmechanische Teilchen in elektromagnetischen Feldern zu modellieren,
- beherrschen den praktischen Umgang mit Spinoren und Spinoperatoren,
- kennen verschiedene quantenmechanische Bewegungsgleichungen (Schrödinger, Pauli, Klein-Gordon, Dirac) und verstehen deren Anwendungsbereiche und Grenzfälle,
- besitzen ein physikalisches Verständnis wichtiger relativistischer Phänomene und Effekte wie Klein-Paradox, Rashba-Effekt und Zitterbewegung,
- haben die Fähigkeit, quantenmechanische Systeme mittels Propagatoren bzw. Greenscher Funktionen zu beschreiben,
- verstehen die Beschreibung quantenmechanischer Vielteilchensysteme im Besetzungszahlformalismus und mittels Feldoperatoren, sie können diese Konzepte auf einfache Beispielsysteme anwenden.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

zu	Form	Dauer bzw. Umfang	SL / QT
b)	Übungsaufgaben		QT

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

Voraussetzung für die Teilnahme an der Modulabschlussprüfung ist die qualifizierte Teilnahme an der Übung.

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt, Prof. Dr. Arno Schindlmayr

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Modulgruppe Spezialisierung

Atomistic Materials Modeling

Atomistic Materials Modeling

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3a	180	6	1.	Jedes WS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Atomistic Materials Modeling	V	30	60	WP	30
b)	Atomistic Materials Modeling	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Empirische Potentiale und Kraftfelder
- Elektronische Austausch- und Korrelationswechselwirkung
- Dichtefunktionaltheorie
- Wellenfunktionsbasierte Methoden
- Basissätze und Pseudopotentiale
- Berechnung struktureller und vibrationeller Eigenschaften und thermodynamischer Größen

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Befähigung zur selbständigen atomarskaligen Materialsimulation mit Standardmethoden der Theoretischen Materialphysik:

Die Studierenden

- verstehen die grundlegenden Methoden der atomistischen Materialsimulation und deren Anwendungsbereiche und Limitierungen, sie kennen die relevante Nomenklatur,
- sind fähig, geeignete Methoden zur Strukturaufklärung von Molekülen, Festkörper und Nanostrukturen zu identifizieren,
- beherrschen gängige Programmpakete der atomistischen Strukturaufklärung wie z.B. Gaussian und Quantum Espresso einschließlich der Bestimmung sinnvoller numerischer Parameter und Basisätze,
- besitzen die Fähigkeit, die berechneten Ergebnisse im Vergleich mit Daten aus der Originalliteratur zu diskutieren und auszuwerten.

6 Prüfungsleistung:

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** Das Modul wird auch im Masterstudiengang Materials Science verwendet.
12	**Modulbeauftragte/r:** Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt, Prof. Dr. Arno Schindlmayr
13	**Sonstige Hinweise:** keine

Computational Optoelectronics and Photonics I

Computational Optoelectronics and Photonics I

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3b	180	6	1.	Jedes WS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Computational Optoelectronics and Photonics I	V	30	60	WP	30
b)	Computational Optoelectronics and Photonics I	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Anwendungsbezogene Einführung in die praxisorientierte numerische Umsetzung mathematischer Probleme und die grafische Aufbereitung berechneter Daten
- Lichtpropagation in nanostrukturierten Festkörpern
- Quantenmechanischer Oszillator im optischen Resonator
- Exzitonen in niederdimensionalen Halbleitersystemen gekoppelt an propagierende Lichtfelder
- Lokalisierte elektronische Zustände und deren Eigenschaften in Nanostrukturen
- Einfache Modelle zur Quantenoptik und Quanteninformation

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- erwerben anhand konkreter Beispiele ein grundlegendes Verständnis für nanostrukturierte Festkörper und ihren Einsatz in photonischen Strukturen,
- können, ausgehend von der mathematischen Beschreibung physikalischer Systeme, die relevanten Gleichungen numerisch abstrakt umsetzen,
- sind in der Lage, unter Anleitung Programmcodes zu entwickeln sowie Softwarepakete zu verwenden, um die in der Vorlesung behandelten Fragestellungen numerisch zu analysieren,
- sind in der Lage, nichtlineare Bewegungsgleichungssysteme unter Anleitung numerisch umzusetzen und zu analysieren,
- können komplexe physikalische Sachverhalte graphisch aufbereiten und die Ergebnisse sinnvoll darstellen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Stefan Schumacher, Dr. Matthias Reichelt

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Computational Optoelectronics and Photonics II

Computational Optoelectronics and Photonics II

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3c	180	6	2.	SS	1	de / en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Computational Optoelectronics and Photonics II	V	30	60	WP	30
b)	Computational Optoelectronics and Photonics II	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Anwendung von Vielteilchenmethoden auf nanostrukturierte photonische Systeme
- Numerische Analyse elektronischer Zustände in niederdimensionalen Strukturen
- Numerische Analyse optischer Nichtlinearitäten in niederdimensionalen Strukturen
- Lichtpropagation unter Kopplung an die nichtlinearen optischen Anregungen im Medium
- Anwendungen nichtlinearer optischer Propagationseffekte wie Bistabilität und Solitonen

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- vertiefen, aufbauend auf dem Modul Computational Optoelectronics I, anhand konkreter Beispiele ihr Verständnis für nanostrukturierte Festkörper und ihren Einsatz in photonischen Strukturen,
- besitzen die Fähigkeit, Vielteilchenmethoden auf nanostrukturierte Festkörpersystem anzuwenden und die resultierenden Gleichungen numerisch auszuwerten,
- besitzen die Fähigkeit, das nichtlineare optische Anregungsverhalten von nanostrukturierten Festkörpersystemen numerisch zu berechnen,
- können mathematische Formulierungen physikalischer Modellsysteme selbstständig numerisch umsetzen,
- können selbstständig Programmcodes entwickeln, um die behandelten Inhalte numerisch zu analysieren.

6 Prüfungsleistung:

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.
12	**Modulbeauftragte/r:** Prof. Dr. Stefan Schumacher, Dr. Matthias Reichelt
13	**Sonstige Hinweise:** keine

Integrierte Optik und Photonik

Integrated Optics and Photonics

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3d	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Integrierte Optik und Photonik	V	30	60	WP	30
b)	Integrierte Optik und Photonik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in optischen Wellenleitern (Wellengleichung, Grenzbedingungen und Modendispersionsrelationen für planare Wellenleiter)
- Ausgewählte Materialien und Herstellungsverfahren (Ionenaustausch in Gläsern und Kristallen, Diffusionswellenleiter in $LiNbO_3$, epitaktisch hergestellte Wellenleiter in Halbleitermaterialien)
- Theorie gekoppelter Moden (Beschreibung mit Eigenmoden des ungestörten Systems, Beschreibung mit lokalen Normalmoden des Realsystems)
- Elektrooptische Bauelemente (elektrooptischer Effekt in dielektrischen Kristallen, Modulatoren und Schalter)
- Nichtlinear optische Bauelemente

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Den Studierenden sollen die grundlegenden Konzepte der integrierten Optik und Photonik sowie deren Anwendungen vermittelt werden.

Die Studierenden

- haben die Fähigkeit, Fragestellungen aus dem Bereich der integrierten Optik zu erkennen, zu analysieren und gegenüber der konventionellen klassischen Optik abzugrenzen,
- können die Wellenausbreitung in geführten Strukturen quantitativ beschreiben und diese Beschreibung (näherungsweise) auf verschiedenste Wellenleitergeometrien eigenständig anwenden,
- sind fähig, ausgehend von den physikalischen Grundlagen das Funktionsprinzip integrierter optischer Bauelemente zu beschreiben und mit Methoden der Theorie der gekoppelten Moden selbstständig analytische oder numerische Modellierung einfacher Bauelemente durchzuführen,
- können komplexere integrierte optische Strukturen eigenständig analysieren, deren Funktionskomponenten erkennen und deren Funktion beschreiben,
- können sich selbstständig mit aktueller englischsprachiger Fachliteratur zu der Thematik integrierter optischer Bauelemente und photonischer Strukturen beschäftigen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Christine Silberhorn, Prof. Dr. Tim Bartley

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Ionenstrahlanalyse

Ion Beam Analysis

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3e	180	6	1.	WS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Ionenstrahlanalyse	V	15	30	WP	30
b)	Ionenstrahlanalyse	P	30	60	WP	bis zu 5
c)	Ionenstrahlanalyse	S	15	30	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Die in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum am RUBION-Beschleunigerlabor durchgeführte Blockveranstaltung führt in die Grundlagen der nuklearen Festkörperphysik und Anwendungen der Beschleunigerphysik ein.

a) Vorlesung: Grundlagen der Ionen-Festkörper-Wechselwirkung sowie ihrer Anwendung für die Materialanalyse und -modifikation, insbesondere:

- Ionenquellen, Ionenoptik, Beschleunigerprinzipien
- Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit biologischen Organismen, Strahlenschutz
- Festkörper-Dünnfilmanalyse mittels Rutherford-Rückstreuspektroskopie (RBS)
- Spurenelementanalyse mittels Kernreaktionsanalyse (NRA)
- Elementnachweis mittels teilcheninduzierter Röntgenstrahlung (PIXE)
- Ionen-Festkörperwechselwirkung, Ionenreichweiten, Defektbildung
- Dotierung von Halbleitern mittels Ionenimplantation
- Anwendung von Teilchenbeschleunigern in der Astro-, Geo-, Kern- und Medizinphysik
- Nanostrukturierung und -analytik mit Ionenstrahlen

b) Praktikum: Herstellung und Untersuchung von Proben mit Hilfe der am RUBION vorhandenen Teilchenbeschleuniger im Rahmen von Projekten zum Vorlesungsstoff.

c) Seminar: Präsentation der experimentellen Ergebnisse und ihrer theoretischen Hintergründe.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- beherrschen die apparativen Grundlagen von Teilchenbeschleunigern und der an diesen realisierten Experimenten, die grundlegenden Konzepte der Ionen-Festkörper-Wechselwirkung und der darauf basierenden Anwendungen im Bereich nuklearer Festkörperanalytik und Ionenstrahlmodifikation von Oberflächen,
- kennen den Strahlzeitbetrieb an einer Großforschungseinrichtung,

<table>
<tr><td></td><td>

können selbstständig Experimente zur Ionenstrahlanalyse und -modifikation von Materialien planen, in Zusammenarbeit mit den Operateuren eines Teilchenbeschleunigers ausführen und die Ergebnisse auswerten, teilweise unter Nutzung geeigneter Softwarepakete,
können die erlernten Methoden auf analoge Fragestellungen übertragen und anhand der gemachten Erfahrungen die in der Fachliteratur dargestellten Ergebnisse einordnen und kritisch bewerten,
verfügen über Erfahrung in der webbasierten Zusammenarbeit in interuniversitären Teams.

</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[] Modulabschlussprüfung (MAP) [x] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>b)-c)</td><td>Schriftliche Hausarbeit
mit Abschlussvortrag</td><td>ca. 30 Seiten
ca. 30 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
Das Modul wird auch im Masterstudiengang Materials Science verwendet.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Jörg Lindner</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
Wegen der umfangreichen Vorbereitungen des experimentellen Teils am Teilchenbeschleuniger und der begrenzten Anzahl an Teilnehmerplätzen ist eine frühzeitige Rücksprache mit dem Modulbeauftragten erforderlich.</td></tr>
</table>

Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen

Microscopy and Spectroscopy with Electrons

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3f	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen	V	30	60	WP	30
b)	Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Im Rahmen des Moduls werden die Grundlagen der Transmissionselektronenmikroskopie in voller Breite vermittelt und ihre Anwendung zur Charakterisierung von Materialien auf der Nano- und Subnanometerskala erläutert.

- Elektronenoptische Komponenten und Strahlengänge in (Raster-) Transmissionselektronenmikroskopen (S)TEM
- Elektronenmikroskopische Präparationsverfahren
- Abbildungsverfahren und Kontrastarten
- Elektronenbeugung zur Phasenanalyse
- Elektron-Festkörper-Wechselwirkung
- Kinematische und dynamische Theorie der Elektronenbeugung
- Konventionelle Elektronenmikroskopie und Gitterdefekte
- Kontrastübertragung und Hochauflösung
- Energiedispersive Röntgenspektroskopie EDS
- Elektronenenergieverlustspektroskopie EELS in TEM und STEM
- Spektroskopie von Inter- und Intrabandübergängen sowie Plasmonen
- Energiegefilterte Transmissionselektronenmikroskopie EFTEM
- Weiterführende Verfahren

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Ziel dieses Moduls ist das umfassende Kennenlernen der methodischen Möglichkeiten moderner Transmissionselektronenmikroskope zur Strukturaufklärung von Materialien vor dem Hintergrund einer quantenmechanischen Berechnung der Wechselwirkung zwischen Elektronenwelle und kondensierter Materie.

Die Studierenden

- verstehen die Ausbreitung einer Elektronenwelle in kristallinen Materialien mit und ohne Kristalldefekten sowie den Transport eines Elektronenstrahls durch das Mikroskop von der Elektronenquelle bis zum Detektor,
- sind in der Lage, für die Untersuchung verschiedener Problemstellungen die geeigneten Strahlengänge und Untersuchungsmethoden auszuwählen und die hiermit generierten Bildkontraste zu interpretieren,

<table>
<tr><td></td><td>

haben die Fähigkeit, einfache Elektronenbeugungsdiagramme auszuwerten,
sind in der Lage, in der Fachliteratur wiedergegebene TEM-Aufnahmen hinsichtlich der zugrunde liegenden Realstruktur zu interpretieren,
sind in der Lage, die in EELS- und EDS-Spektren enthaltenen Informationen über die atomare Zusammensetzung und die elektronische Struktur fester Stoffe nachzuvollziehen,
können mit Standardprogrammen der Elektronenmikroskopie umgehen.

</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
Das Modul wird auch im Masterstudiengang Materials Science verwendet.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Jörg Lindner</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Photonische Nanostrukturen

Photonic Nanostructures

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3g	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Photonische Nanostrukturen	V	30	60	WP	30
b)	Photonische Nanostrukturen	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Licht-Materie-Wechselwirkung (Maxwell'sche Gleichungen in Materie, Wellengleichung und Helmholtz-Gleichung, optische Antwort von Materialien, Polarisationsfeld, dielektrische Funktion von Isolatoren, Halbleitern und Metallen)
- Photonische Nanostrukturen (eindimensionale Periodizität: Bragg-Reflektoren, Transfermatrixalgorithmus; optische Resonatoren I: Mikropillar-Resonatoren; optische Resonatoren II: Mikrodisks und Ring-Resonatoren, elektromagnetische Felder in periodischen Medien, Symmetrien und Photonik, photonische Kristall-Membranen; optische Resonatoren III: Defekte in photonischen Kristallen)
- Plasmonische Nanostrukturen (Grenz- und Oberflächen-Plasmon-Polaritonen, metallische Nanopartikel, optische Metamaterialien)

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, die grundlegenden Konzepte der Lichtwechselwirkung mit Nanostrukturen korrekt und fundiert auf aktuelle Problemstellungen der modernen Physik anzuwenden und selbstständig Problemlösungen zu erarbeiten.

Die Studierenden

- können eigenständig Fragestellungen aus dem Bereich der Nanooptik erkennen, differenzieren und gegenüber der Optik an makroskopischen Objekten abgrenzen,
- haben die Fähigkeit zur Beschreibung und Beurteilung auftretender Effekte bei der Wechselwirkung von Licht mit dielektrischen und metallischen Nanostrukturen,
- können Lösungsansätze bei komplexeren Problemstellungen beim Umgang mit optischen Nanostrukturen selbstständig entwickeln und unter Anwendung des erworbenen Wissens begründen,
- können sinnvolle analytische und numerische Näherungsverfahren zur Lösung von Problemstellung im Bereich der Nanophotonik unter Anleitung entwickeln und begründen,
- besitzen die Fähigkeit, sich selbstständig mit aktueller englischsprachiger Fachliteratur zur Thematik der Nanooptik zu beschäftigen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

MSc Optoelectronics & Photonics, MSc. Chemie, MSc. Mat. Sci.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Cedrik Meier

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Quantenelektronik

Quantum Electronics

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3h	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Quantenelektronik	V	30	60	WP	30
b)	Quantenelektronik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Grundlegende Konzepte der Quantenelektronik, deren optischer, elektrischer und optoelektronischer Grundlagen sowie deren Anwendungen. Verständnis und mathematische Formulierung der physikalischen Sachverhalte und Modelle.

- Experimenteller Zugang zu Quantensystemen
- Atome und Quantenstrukturen als Zwei-Niveau-Systeme
- Kohärente Licht-Materie-Wechselwirkung
- Festkörperbasierte Quantenbits
- Halbleiter-Quantenpunkte
- Quantenbits in starken optischen Feldern und Resonatoren
- Funktionelle Strukturen und Anwendungen

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- verfügen über ein fundiertes Fachwissen auf dem Gebiet der Quantenelektronik,
- verfügen über ein fundiertes Wissen zu Zwei-Niveau Systemen,
- verfügen über ein fundiertes Wissen zur Licht-Materie Wechselwirkung in starken Feldern,
- sind in der Lage, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten mathematisch zu beschreiben,
- sind in der Lage, grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Quantenelektronik herzuleiten,
- können die physikalischen und technischen Grundlagen sowie Anwendungen der Quantenelektronik anschaulich kommunizieren.

6 Prüfungsleistung:

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.
12	**Modulbeauftragte/r:** Prof. Dr. Klaus Jöns, Prof. Dr. Christine Silberhorn
13	**Sonstige Hinweise:** keine

Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung

Quantum Communication and Information

Modul-Nr.	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3i	180	6	2.	SS	1	de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung	V	30	60	WP	30
b)	Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

In dem Modul werden die grundlegenden Konzepte und Protokolle der Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung vermittelt.

- Einführung in die Grundlagen der Quanteninformation (mathematische Formulierung des Informationsbegriffs, Axiome der Quantenmechanik)
- Qubits, und Quantenmessungen
- Zusammengesetze Systeme, No-Cloning Theorem, Verschränkte Zustände, Bell Ungleichungen
- Quantenkryptographie (Protokolle, experimentelle Implementierungen, Sicherheitsbeweise und Lauschangriffe)
- Quantenteleportation, Quantengatter, „Quantum Dense Coding“ (Protokolle und Implementierung)
- Verschränkungsdistillation und „Quantum Repeater“

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Beherrschung der grundlegenden Konzepte der Quantenkommunikation, inklusive der Kenntnis wichtiger Protokolle und deren Implementierungen in der Praxis.

Die Studierenden

- sind befähigt, interdisziplinär zu arbeiten und sich Grundlagen aus anderen Fachgebieten anzueignen,
- sind mit den abstrakten Konzepten aus der Informationstheorie sowie der Quantenphysik vertraut und können deren Verbindung in relevanten physikalischen Experimenten darstellen,
- haben die grundlegende Idee für neuartige Quantentechnologien, genuin quantenphysikalische Eigenschaften für praktische Anwendungen nutzbar zu machen, verinnerlicht,
- verstehen das Prinzip verschränkter Zustände und die Bedeutung für die moderne Interpretation der Quantenphysik,
- kennen die grundlegenden Protokolle der Quantenkommunikation und Quanteninformationsverarbeitung,
- können sich in aktuelle Forschungsthemen, die nur teilweise bereits in Lehrbüchern abgebildet sind, einarbeiten und finden somit einen ersten Einstieg für eigenständiges Forschungsarbeiten,
- können die Chancen und Grenzen zukünftiger Technologien realistisch einschätzen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Christine Silberhorn

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Spintronik

Spintronics

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3j	180	6	2.	SS	1	de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Spintronik	V	30	60	WP	30
b)	Spintronik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Quantenmechanische Beschreibung des Spins: Spin-Pauli-Matrizen, Dichtematrix, Bloch-Sphäre
- Spindynamik und Rabi-Formel, Spinrelaxation und Dephasierung
- Spektroskopie von Spins: NMR, EPR, ENDOR, EDMR, STM-EPR
- Schreiben und Auslesen von Qubits (Spininjektion und Spektroskopie)
- Passive Bauelemente in der Magneto-Elektronik: GMR, TMR, MRAM
- Aktive Bauelemente: Spin-Feldeffekt-Transistor
- Grundlagen der spinbasierten Quanteninformation

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, grundlegende Konzepte der Spinphysik, insbesondere der Spindynamik, zu verstehen sowie vor dem Hintergrund des Zusammenwirkens von Experiment und Theorie zur Beschreibung spinbasierter Bauelemente einzusetzen.

Die Studierenden

- beherrschen die quantenmechanischen Grundlagen der Spin-Physik, insbesondere der Spin-Dynamik,
- sind sich der konzeptionellen Unterschiede bewusst, die bei der Beschreibung quantenmechanischer Ensembles und Einzelspins auftreten,
- haben genaue Kenntnisse von auf Spin-Wechselwirkungen basierenden Messmethoden und ihrer multidisziplinären Anwendung in Biologie, Chemie, Physik und Medizin sowie ihrer Nutzung zum Readout spinbasierter Quanten-Bits („Qubits“),
- können Fragestellungen zur allgemeinen Thematik einer spinbasierten Elektronik analysieren und die erarbeiteten mathematischen Modelle auf konkrete Bauelemente anwenden,
- kennen die physikalischen Eigenschaften und Besonderheiten spinbasierter Qubits und können diese in einen größeren Zusammenhang (Elektronik, Informatik, Quanteninformation) einordnen.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Uwe Gerstmann</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Computational Spectroscopy

Computational Spectroscopy

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3k	180	6	2.	SS	1	de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Computational Spectroscopy	V	30	60	WP	30
b)	Computational Spectroscopy	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Allgemeine Grundlagen: Zeitabhängige Störungstheorie, Fermis Goldene Regel, lineare Antworttheorie
- Überblick über spektroskopische Techniken: lineare und nichtlineare optische Spektroskopie, Core-Level-Spektroskopie, Röntgenadsorption, magnetische Resonanz, Infrarot- und Raman-Spektroskopie
- Moderne Methoden zur Berechnung spektroskopischer Eigenschaften: zeitabhängige Dichtefunktionaltheorie, ‚*constraint*' Dichtefunktionaltheorie, wellenfunktionsbasierte Methoden

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, grundlegende Konzepte einer computergestützten Berechnung (Simulation) spektroskopischer Materialeigenschaften zu verstehen, sowie deren Methoden zur numerischen Vorhersage einsetzen und mit experimentellen Messergebnissen vergleichen zu können.

Die Studierenden

- können materialwissenschaftliche Fragestellungen mit Bezug zur Spektroskopie erkennen und analysieren,
- sind sich bewusst, dass moderne spektroskopische Experimente oftmals nur mit Hilfe theoretischer Vergleichswerte vollständig ausgewertet werden können,
- kennen die grundlegenden quantenmechanischen Strategien und technischen Konzepte, die für die atomistische Beschreibung von Materialien und die Vorhersage ihrer spektroskopischen Eigenschaften im Computer notwendig sind,
- können für gegebene atomistische Strukturen (unter Abwägung von Rechenaufwand und Genauigkeit) eine adäquate Stufe der Näherung auswählen und diese auf ausgewählte Fragestellungen anwenden,
- sind in der Lage, die gewonnenen theoretischen Ergebnisse im Kontext experimenteller Daten zu diskutieren und Querverbindungen zu aktuellen materialwissenschaftlichen Forschungsfragen herzustellen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

Das Modul wird auch im Masterstudiengang Materials Science verwendet.

12 **Modulbeauftragte/r:**

Dr. Uwe Gerstmann, Prof. Dr. Arno Schindlmayr

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Halbleiterepitaxie

Semiconductor Epitaxy

Modulnummer:	Workload (h):	Credits:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3l	180	6	2.	SS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a	Semiconductor Epitaxy	V	30	60	WP	bis zu 30
b	Semiconductor Epitaxy	Ü	30	60	WP	bis zu 30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- **Grundlagen**
  - Grundlagen der Kristallstruktur
  - Elastische Eigenschaften von Heterostrukturen
  - Versetzungen
- **Thermodynamik des Schichtwachstums**
  - Gleichgewichtszustände
  - Kristallwachstum
- **Atomistische Aspekte des Schichtwachstums**
  - Oberflächenstruktur
  - Kinetische Prozesse beim Schichtwachstum
  - Selbstorganisierte Nanostrukturen
- **Methoden der Halbleiterepitaxie**
  - Molekularstrahlepitaxie (MBE)
  - metallorganische Gasphasenepitaxie (MOCVD)
- **Charakterisierungsmethoden**
  - in-situ Analysemethoden (RHEED, ….)

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden erwerben:

Fachliche Kompetenzen:

Vorlesung: Beherrschung der grundlegenden Konzepte der Halbleiterepitaxie mit den Aspekten Herstellung, Eigenschaften und Charakterisierung. Verständnis und ggf. mathematische Formulierung der physikalischen Sachverhalte und Modelle.

Übungen: Fragestellungen aus den Bereichen Halbleiterepitaxie praktisch bearbeiten und dabei das in der Vorlesung erworbene Wissen anwenden. Dabei sollen die Studenten Probleme erkennen, den Bezug zur Vorlesung herstellen, Probleme ggf. mathematisch formulieren, Ergebnisse diskutieren und in einen gesamtphysikalischen Zusammenhang einordnen.

<table>
<tr><td></td><td>Fachübergreifende Kompetenzen:
▪ Fähigkeit zu konzeptionellem, analytischem und logischem Denken und das Können, das erworbene Wissen auf unterschiedlichen Gebieten der Halbleiternanostrukturphysik einzusetzen
▪ Fähigkeit die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen
▪ Präsentationskompetenz durch Darstellen von Problemlösungen im Rahmen der Übung
▪ Fähigkeit die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.
▪ Teamfähigkeit durch die Bearbeitung von Problemstellungen in Kleingruppen</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[x] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur oder
Mündliche Prüfung</td><td>120-180 min.
30-45 min.</td><td>100 %</td></tr>
</table>
Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragter:
Prof. Dr. D. Reuter, Prof. Dr. D. As</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
Grundkenntnisse in den Bereichen Festkörperphysik und Halbleiterphysik werden empfohlen.
Empfohlene Literatur:
“Epitxaxy of Semiconductors”, Udo W. Pohl (Springer Heidelberg 2013)</td></tr>
</table>

Optoelektronische Halbleiterbauelemente

Optoelectronic Semiconductor Devices

Modulnummer:	Workload (h):	Credits:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3m	180	6	1.	WS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Optoelektronische Halbleiterbauelemente	V	30	60	WP	bis zu 30
b)	Optoelektronische Halbleiterbauelemente	Ü	30	60	WP	bis zu 30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Der erste Teil der Vorlesung gibt einen Überblick über die Physik der Licht emittierenden Dioden und die statischen Eigenschaften von Halbleiterlasern beginnend bei den festkörperphysikalischen Grundlagen bis hin zum Design und Betrieb der wichtigsten Halbleiter-LED und Laserdioden. Der zweite Teil befasst sich mit den dynamischen Eigenschaften von Halbleiterlasern, ihren spektralen Eigenschaften sowie den Grundlagen verschiedener Halbleiterphotodetektoren.

- Bedeutung optoelektronischer Halbleiterbauelemente
- Licht emittierende Dioden – LED
- Laserdiode – statische Eigenschaften
- Laserdiode – dynamische Eigenschaften
- Optoelektronische Detektoren

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, die grundlegenden Konzepte der optoelektronischen Halbleiterbauelemente zu verstehen und selbstständig auf Problemstellungen anzuwenden.

Die Studierenden

- haben fundierte Grundkenntnisse der Licht emittierenden Halbleiterbauelemente wie LEDs und Laserdioden,
- besitzen das physikalische Verständnis der statischen, dynamischen und spektralen Eigenschaften von LEDs und Halbleiterlasern,
- können Grundkenntnisse des Einflusses von Quantenstrukturen auf die Eigenschaften moderner optoelektronischer Halbleiterbauelemente anwenden,
- haben die Fähigkeit, diese Kenntnisse im Design und Betrieb optoelektronischer Halbleiterbauelemente einzusetzen,
- besitzen grundlegende Kenntnisse über die Arbeitsweise und Einsatzfähigkeit von verschiedenen Halbleiterphotodetektoren.

6 **Prüfungsleistung:**

[x] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder Mündliche Prüfung	120-180 min. bzw. 30-45 min.	100 %

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragter:**

Prof. Dr. D. Reuter, Prof. Dr. D. As

13 **Sonstige Hinweise:**

Grundkenntnisse in den Bereichen Festkörperphysik und Halbleiterphysik werden empfohlen.

Einführung in das Quantencomputing

Introduction to Quantum Computation

Modulnummer:	Workload (h):	Credits:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3n	180	6	2.	SS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Introduction to Quantum Computation	V3Ü2	75	105	WP	40

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Diese Vorlesung führt in die grundlegenden Konzepte der Quantenberechnung und -information aus der Perspektive der Informatik ein. Dazu gehört eine Einführung in die Quantenmechanik, Quantenverschränkung, Quantenalgorithmen, Quantenfehlerkorrektur und Quanteninformationstheorie.

- Quantenmechanik
- Quantenverschränkung
- Quantenalgorithmen
- Quantenfehlerkorrektur
- Quanteninformation

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sind in der Lage:

- die Postulate der Quantenmechanik zu beschreiben und anzuwenden
- die Nutzung der Verschränkung als Ressource zu verstehen
- grundlegende Quantenalgorithmen entwerfen und analysieren
- die Theorie der fehlerkorrigierenden Codes anwenden
- Grundlegende Konzepte der Quanteninformationstheorie wie z. B. Entropie verstehen und anwenden

Nicht-kognitive Fähigkeiten:

- Lernkompetenz
- Selbstbeobachtung

6 Prüfungsleistung:

[x] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder Mündliche Prüfung	120-180 min. 30-45 min.	100 %

7 Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	SL/QT
a)	Übungsaufgaben		QT

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** Voraussetzung für die Teilnahme an der Modulabschlussprüfung ist der Nachweis der qualifizierten Teilnahme zu der Lehrveranstaltung des Moduls.
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** MSc Informatik
12	**Modulbeauftragter:** Prof. Dr. Sevag Gharibian
13	**Sonstige Hinweise:** Basic knowledge in Linear Algebra and Algorithms is recommended. **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Lecture slides, exercises

Data Science für dynamische Systeme

Data science for dynamical systems

Modulnummer:	Workload (h):	Credits:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
3o	180	6	1.	WS	1	en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Data science for dynamical systems	V	30	60	WP	50
b)	Data science for dynamical systems	Ü	30	60	WP	25

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

Der vorliegende Kurs ist modular aufgebaut und wird für verschiedene Studiengänge bzw. Fakultäten interdisziplinär angeboten. Je nach verfügbarem Vorwissen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer wird ein studiengangsspezifischer Inhaltszuschnitt erfolgen. Übergreifende Kernthemen sind u.a.

- Grundlagen Modellbildung dynamischer Systeme anhand Differential- und Differenzengleichungsmodellen
- Datengetriebene Identifikationsverfahren für lineare Modelle auf Basis des Ansatzes der kleinsten Fehlerquadrate (least squares)
- Datengetriebene Identifikationsverfahren für nichtlineare Modelle (z. B. künstliche neuronale Netze)
- Lernen von datengetriebenen Modellen unter Einbindung von a priori Systemwissen
- Identifikation zugrundeliegender Modellstrukturgleichungen (Topologieselektion) z.B. mittels Regularisierung oder Hypothesentests hinsichtlich konkurrierender Zielkriterien
- (Datengetriebene) Modellreduktion
- Manipulation der zur Verfügung stehenden Modelleingangsdaten (Dimensionsreduktions- sowie Augmentationsverfahren) z.B. Autoencoder, Hauptkomponentenanalyse sowie Kernelmethoden
- Statistische Bewertung der zur Verfügung stehenden Eingangs- und Ausgangsdaten dynamischer Systeme sowie entsprechende Verfahren zur Systemanregung
- Statistische Bewertung der erzielten Modellgüte (Über- vs. Unteranpassung) mittels Kreuzvalidierung

Neben der Vermittlung der methodischen Kenntnisse werden umfangreiche programmier- und simulationstechnische Übungen mittels moderner Softwareprogramme (insbesondere in der Programmiersprache Julia) erarbeitet. Vielfältige Anwendungsbeispiele aus der Praxis verschiedener Domänen (z. B. Ingenieur-, Natur- und Wirtschaftswissenschaften) runden die Veranstaltung ab.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Nach Abschluss der Lehrveranstaltung sind die Teilnehmerinen und Teilnehmer in der Lage

- Methoden zur Identifikation dynamischer Systeme zu beschreiben sowie anzuwenden,
- Identifikationsresultate kritisch zu bewerten,
- Komplexe datengetriebene Modellierungsaufgaben in interdisziplinären Teams zu erfassen, zu analysieren, zielführende Lösungsmethoden abzuleiten sowie eigenständig erarbeitete Ergebnisse zu beurteilen.

6 **Prüfungsleistung:**

[x] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder Mündliche Prüfung	120-180 min. 30-45 min.	100 %

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

MSc Informatik

12 **Modulbeauftragter:**

Dr.-Ing. Oliver Wallscheid, Jun.-Prof. Dr. Sebastian Peitz

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Hauptseminar

Advanced Seminar

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
04	120	4	1.– 2.	Jedes Semester	2	en/de	P

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Vorträge zur Experimentalphysik	S	30	30	WP	bis zu 20
b)	Vorträge zur theoretischen Physik	S	30	30	WP	bis zu 20
c)	Event-Physik	S	45	15	WP	bis zu 3

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

Aus den angebotenen Lehrveranstaltungen a) bis c) müssen zwei gewählt werden.

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

In (a) und (b) werden die Studierenden dazu angeleitet, aktuelle Themen aus den Bereichen der modernen Physik aufzugreifen, zu vertiefen und schließlich im Rahmen der Veranstaltung in Form einer eigenen Präsentation vorzutragen. Diese Möglichkeit zur Darbietung eines eigenen Beitrags soll sowohl der fachbezogenen Ausbildung auf aktuellen Forschungsgebieten wie auch der Entwicklung von Fähigkeiten in Bezug auf persönliche Präsentationen dienen.

In (c) werden die Studierenden dazu angeleitet, die im GP II erarbeiteten Experimente zunächst auf Showtauglichkeit zu optimieren, populärwissenschaftliche Erklärungen zu erarbeiten, Anschauungsmaterial zu erstellen und eine spannende, sowie lehrreiche Vermittlungsform zu entwickeln. Die Präsentation vor einem großen, fachfremden Publikum bietet die Möglichkeit zur Weiterentwicklung der Kommunikationskompetenz.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- können ein vorgegebenes Thema durch eigene Studien und Literaturrecherchen selbstständig aufbereiten und vertiefen,
- sind in der Lage, den Bezug des Themas zu angrenzenden Teilgebieten zu erkennen und zu formulieren,
- können ihren Vortrag nach didaktischen und fachlichen Gesichtspunkten adressatenspezifisch ausarbeiten,
- nutzen die gewonnene Erfahrung, um ihre eigene Präsentationsfähigkeit und ihre Dialogfähigkeit bei der Beantwortung von wissenschaftlichen Fragen weiterzuentwickeln.

6 Prüfungsleistung:

[] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [X] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
Erste gewählte Lehrveranstaltung aus den angebotenen Lehrveranstaltungen a) bis c)	Referat	ca. 30 Min.	50%
Zweite gewählte Lehrveranstaltung aus den	Referat	ca. 30 Min.	50%

	angebotenen Lehrveranstaltungen a) bis c)			
7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine			
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine			
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen bestanden sind.			
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).			
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** keine			
12	**Modulbeauftragter:** Prof. Dr. Cedrik Meier, Prof. Dr. Torsten Meier			
13	**Sonstige Hinweise:** keine			

Technisches Englisch II

English for Technical Purposes II

Modulnummer:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
05	180	6	1.–2.	Jedes Semester	2	en	P/WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	English Oral Skills for Students of Natural Sciences	Ü	30	60	P	bis zu 20
b)	English for Profession and Study Abroad	Ü	30	60	WP	bis zu 20

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

Teilnahmevoraussetzung ist der Nachweis der notwendigen Vorkenntnisse auf dem Niveau B2.1.

4 Inhalte:

English Oral Skills for Students of Natural Sciences:

Dieser Kurs richtet sich an Studierende der Naturwissenschaften, die ihre vorhandenen Kenntnisse über Vortrags- und Präsentationsstrategien erweitern und ihre Kommunikationsfähigkeiten in Bezug auf ihr Studium und ihre zukünftige berufliche Tätigkeit verbessern möchten. Praxisbezogene Übungen helfen den Studierenden dabei, das in dem Kurs vermittelte theoretische Wissen zu vertiefen und bei eigenen Vorträgen in englischer Sprache anzuwenden.

English for Profession and Study Abroad:

Dieser Kurs richtet sich speziell an Studierende, die ihre schriftliche und mündliche Ausdrucksfähigkeit in englischer Sprache im Hinblick auf eine international orientierte berufliche Tätigkeit oder einen geplanten Auslandsaufenthalt gezielt weiterentwickeln möchten. Der Kurs behandelt die folgenden Themen:

- Telefongespräche und das Verfassen von E-mails in englischer Sprache
- Schreiben von Lebensläufen und Bewerbungen
- Konversations- und Präsentationsstrategien
- Leben im Ausland

Die korrekte Anwendung der englischen Grammatik und die Erweiterung des Wortschatzes stehen hierbei gleichermaßen im Mittelpunkt.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Teilnehmer bauen sowohl ihren allgemeinen als auch ihren fachbezogenen Englischwortschatz weiter aus. Sie werden in die Lage versetzt, fachliche pro/contra-Diskussionen zu führen, Forschungsthemen mündlich und schriftlich in korrekter englischer Sprache darzustellen, längere strukturierte Fachtexte wie Abschlussarbeiten oder wissenschaftliche Artikel zu verfassen und im beruflichen Kontext mündlich und schriftlich in angemessener Weise zu kommunizieren. Die Kurse orientieren sich am Niveau B2 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens.

<table>
<tr><td></td><td>Die Studierenden
▪ besitzen die Fähigkeit, wissenschaftliche Publikationen für den englischsprachigen Raum mit angemessenem Vokabular und korrekter Grammatik zu verfassen,
▪ können englischsprachige Präsentationen selbstständig entwerfen und Forschungsergebnisse in wissenschaftlichen Fachvorträgen kommunizieren,
▪ besitzen die Fähigkeit, Fachthemen und den eigenen Standpunkt klar und detailliert in Englisch darzulegen.</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [X] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>ca. 30 Min.</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>b)</td><td>schriftliche Aufgabe oder
mündliche Prüfung</td><td>ca. 500 Wörter
ca. 15 Min.</td><td>50%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
Teilnahmevoraussetzung ist die regelmäßige Teilnahme an den zwei Sprachkursen (jeweils maximal drei Fehltermine).</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn alle Modulteilprüfungen bestanden sind.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragter:
Dr. Sigrid Behrent</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Modulgruppe Theoretische Physik

Gruppentheorie

Group theory

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6a	180	6	2.	SS	1	en/de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Gruppentheorie	V	30	60	WP	30
b)	Gruppentheorie	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4

In dem Modul werden die wesentlichen Elemente und Konzepte der Gruppentheorie endlicher diskreter Symmetriegruppen vermittelt, unter spezieller Berücksichtigung von Punktgruppen und Raumgruppen, die für die Molekül- und Festkörperphysik von Bedeutung sind. Darüber hinaus werden kontinuierliche Gruppen, Dreh- und Doppelgruppen sowie ihre irreduziblen Darstellungen eingeführt.

- Symmetriegruppen, unitäre Matrizen und Charaktere
- Notationssysteme
- Darstellungstheorie
- Die Punktgruppen der Festkörpertheorie und ihre irreduziblen Darstellungen
- Die irreduziblen Darstellungen der Translationsgruppe und der Raumgruppen
- Projektionsoperatoren
- Anwendungen: Schwingungsspektren, Stark-Effekt, Bandstruktur
- Die Drehgruppe
- Bestimmung von Eigenfunktionen aus ihren Transformationseigenschaften
- Doppelgruppen, Behandlung des Spins

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Beherrschung der grundlegenden Konzepte der Gruppentheorie, Verständnis der gruppentheoretischen Methoden und Kenntnis der relevanten Nomenklatur. Fähigkeit zur Anwendung der Konzepte und Methoden der Gruppentheorie auf praktische Probleme, insbesondere in der Molekül- und Festkörperphysik.

Die Studierenden

- können die Symmetrie in physikalischen Fragestellungen, beispielsweise bei Molekülen oder bei Defekten in Kristallen, bestimmen,
- können Darstellungen für die zugrunde liegende Punkt- und Raumgruppe finden,
- können Zusammenhänge zwischen den rein mathematischen Konzepten der Gruppentheorie und physikalischen Gegebenheiten herstellen,
- können die Auswirkungen der Symmetrie auf grundlegende physikalische Eigenschaften ableiten,
- können qualitative Aussagen über die Entartung von elektronischen oder vibronischen Niveaus treffen,

<table>
<tr><td></td><td>

können qualitative Aussagen über mögliche Dipolübergänge ableiten,
können den Effekt von angelegten elektrischen oder magnetischen Feldern einschätzen,
können Effekte von Symmetrieerniedrigungen erkennen und mathematisch umsetzen,
können die Konzepte spezieller Gruppen, Dreh- und Doppelgruppen verstehen und anwenden.

</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Optik in Festkörpern und Nanostrukturen

Optics of Solid-State Systems and Nanostructures

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6b	180	6	2.	SS	1	eng oder de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Optik in Festkörpern und Nanostrukturen	V	30	60	WP	30
b)	Optik in Festkörpern und Nanostrukturen	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Semiklassische Beschreibung der Licht-Materie-Wechselwirkung in Festkörpern und Nanostrukturen
- Lineare und nichtlineare optische Eigenschaften von Zwei- und Mehrniveausystemen
- Optische Bloch-Gleichungen
- Rabi-Oszillationen, Quantenschwebungen
- Theoretische Beschreibung von Anrege-Abfrage- und Vierwellenmisch-Experimente
- Mikroskopische Vielteilchentheorie für optische Anregungen in Halbleitern und Nanostrukturen
- Halbleiter-Bloch-Gleichungen
- Exzitonen und weitere Vielteilcheneffekte
- Relaxation und Dephasierung
- Selbstkonsistente Beschreibung der Lichtausbreitung in Festkörpern und Nanostrukturen; Polaritonen

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- kennen die Herleitung und die grundlegenden Eigenschaften der optischen Bloch-Gleichungen,
- können die optischen Bloch-Gleichungen mit verschiedene Näherungsstrategien lösen und die Ergebnisse zur Beschreibung linearer und nichtlinearer optischer Eigenschaften nutzen,
- sind mit Konzepten zur Beschreibung von Vielteilcheneffekten in der Halbleiteroptik vertraut und können diese zur Herleitung der Halbleiter-Bloch-Gleichungen anwenden,
- können im Rahmen der Halbleiter-Bloch-Gleichungen exzitonische Effekte in linearen optischen Spektren berechnen und näherungsweise nichtlineare optische Eigenschaften beschreiben,
- kennen die grundlegenden physikalischen Prozesse, die zum Dephasieren der optischen Polarisation und zur Energierelaxation optisch erzeugter Ladungsträgerbesetzungen führen,
- kennen das grundlegende Konzept der selbstkonsistenten Beschreibung der Lichtausbreitung in Festkörpern und können damit fundamentale Effekte für einfache Geometrien näherungsweise berechnen,
- kennen die Möglichkeiten und Grenzen der semiklassischen Vielteilchentheorie für die Festkörperoptik und können Ergebnisse aus der Fachliteratur vor diesem Hintergrund bewerten.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Torsten Meier, Prof. Dr. Stefan Schumacher</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Quanteninformationstheorie

Quantum Information Theory

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6c	180	6	2.	SS	1	en/de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Quanteninformationstheorie	V	30	60	WP	30
b)	Quanteninformationstheorie	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Quantenmechanik in moderner Formulierung (Zustände, Effekte, Operationen und Darstellungstheoreme)
- Separabilität und Nichtseparabilität statistischer Operatoren
- Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon
- Quantenkryptographie
- Quantencomputer
- Quantenteleportation

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen grundlegende Konzepte der Quanteninformationstheorie erlernen. Sie sollen befähigt werden, aktuelle Forschungsarbeiten zu verstehen und grundlegende Berechnungen selbst durchzuführen.

Die Studierenden

- kennen die moderne Formulierung der Quantenmechanik,
- sind mit dem Begriff der Separabilität/Nichtseparabilität vertraut und können diesen auf statistische Operatoren anwenden,
- kennen die dem Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon zugrunde liegenden Vorstellungen und Interpretationen sowie die quantenmechanische Beschreibung verschränkter Zustände,
- kennen die grundlegenden Prozesse, die die Basis für die Quantenkryptographie, den Quantencomputer und die Quantenteleportation bilden, und können die Phänomene anhand von Modellsystemen beschreiben.

6 Prüfungsleistung:

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7	**Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:** keine
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:** keine
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
10	**Gewichtung für Gesamtnote:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:** Das Modul wird auch im Masterstudiengang Optoelectronics and Photonics verwendet.
12	**Modulbeauftragte/r:** Prof. Dr. Jan Sperling, Prof. Dr. Torsten Meier
13	**Sonstige Hinweise:** keine

Relativistische Quantenfeldtheorie

Relativistic Quantum Field Theory

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6d	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Relativistische Quantenfeldtheorie	V	30	60	WP	30
b)	Relativistische Quantenfeldtheorie	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Grundlegende Begriffe der Relativitätstheorie: Die Rolle der Metrik
- Poincaré- und Lorentz-Gruppe, relativistische Invarianz, Eichinvarianz
- Elemente der relativistischen Quantenmechanik
- Analytische und numerische Lösung der Dirac-Gleichung
- Relativistisch kovariante Formulierung der Quantenmechanik und Elektrodynamik
- Kovarianter Hamilton-Lagrange-Formalismus für Felder, 2. Quantisierung
- Allgemeine (relativistisch kovariante) Formulierung der Quantenfeldtheorie
- Renormierung und Feynman-Graphen
- Formulierung der Quantenelektrodynamik
- Anwendungen der Quantenelektrodynamik, Strahlungskorrekturen

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, grundlegenden Konzepte der relativistischen Quantenfeldtheorie zu verstehen sowie deren Methoden auf den verschiedensten Teilgebieten anwenden zu können, von einer relativistischen Beschreibung einfacher atomarer Systeme bis hin zu komplexen Fragestellungen in der Quantenelektrodynamik.

Die Studierenden

- haben einen Überblick, auf welchen Gebieten der Quantenmechanik relativistische Effekte eine zentrale Rolle spielen,
- kennen Methoden zur analytischen und numerischen Lösung der Dirac-Gleichung und können diese auf einfache Systeme (z.B. einzelne Atome) anwenden,
- besitzen einen klaren Einblick in den Welle-Teilchen Dualismus, wie er gerade in der Quantenfeldtheorie zum Ausdruck kommt,
- beherrschen die theoretischen Grundlagen und Methoden der relativistischen Quantenfeldtheorie in kovarianter Formulierung und haben ein vertieftes Verständnis des Zusammenspiels von (relativistischer) Quantenmechanik, Elektrodynamik und (klassischer) Hamilton'scher Mechanik erworben,
- sind in der Lage, die in der Vorlesung erworbenen Kenntnisse auf konkrete Fragestellungen der Quantenelektrodynamik anzuwenden.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)-b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120–180 Min. 30–45 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Jan Sperling, Prof. Dr. Uwe Gerstmann

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Relativitätstheorie

Theory of Relativity

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6e	180	6	2.	SS	1	de	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Relativitätstheorie	V	30	60	WP	bis zu 240
b)	Relativitätstheorie	Ü	30	60	WP	bis zu 30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- **Newton'sche Mechanik (und Gravitation)**
- **Grenzen der klassischen Beschreibung, relativistische Effekte in der Physik**
- **Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie**:
  - 4er-Vektoren und Tensorfelder, Koordinatentransformation, Galilei/Lorentz-Invarianz
  - Energie-Impuls-Tensor, Längenkontraktion, Zeitdilatation
  - Minkowski-Raum, kovariante und kontravariante Ableitung
  - Feldstärketensor, kovariante Formulierung der Maxwell-Gleichungen
- **Allgemeine Relativitätstheorie**:
  - Das starke Äquivalenzprinzip
  - Krummlinige Koordinaten, Differentialgeometrie (Konnektion und Christoffel-Symbole)
  - Einstein'sche Feldgleichungen
  - Krümmung der Raumzeit, Schwarzschild-Metrik, Schwarze Löcher
  - Robertson-Walker-Metrik, Friedmann-Gleichungen, Kosmologie

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, grundlegende Konzepte der Relativitätstheorie zu verstehen sowie deren fortgeschrittene Methoden auf ausgewählte Probleme anzuwenden.

Die Studierenden

- haben einen Überblick, auf welchen Gebieten der Physik relativistische Effekte eine wichtige Rolle spielen,
- beherrschen die theoretischen Grundlagen und Methoden der Relativitätstheorie,
- besitzen ein tieferes Verständnis der relativistisch kovarianten Formulierung physikalischer Sachverhalte und können dies auf ausgewählte Systeme anwenden,
- beherrschen die Grundlagen der Differentialgeometrie (Metrik, Konnektion, etc.) und können darüber Querverbindungen zu anderen Teilgebieten der Physik ziehen,
- kennen Methoden zur Lösung der Einstein'schen Feldgleichungen, sie können diese auf einfache Beispiele (z.B. Schwarze Löcher) anwenden und die Ergebnisse analysieren und diskutieren.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Uwe Gerstmann, Dr. Matthias Reichelt</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Theoretische Quantenoptik

Theoretical Quantum Optics

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6f	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Theoretische Quantenoptik	V	30	60	WP	30
b)	Theoretische Quantenoptik	Ü	30	60	WP	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Kanonische Feldquantisierung
- Fock-Zustände, kohärente Zustände, gequetschtes Licht
- Statistik von Lichtzuständen
- Phasenraumfunktionen (*P*-, *W*-, *Q*-Funktion)
- Bunching und Antibunching
- Korrelationsfunktionen
- Quantentheorie der Licht-Materie-Wechselwirkung
- Jaynes-Cummings-Modell, dressed states

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen grundlegende Konzepte der theoretischen Quantenoptik erlernen. Sie sollen befähigt werden, aktuelle Forschungsarbeiten zu verstehen und grundlegende Berechnungen selbst durchzuführen.

Die Studierenden

- kennen das Konzept des Photons und verstehen den Umgang mit Photonen-Operatoren,
- kennen die theoretische Beschreibung von Lichtzuständen, die in modernen Experimenten erzeugt werden können,
- sind mit der theoretischen statistischen Interpretation von Licht vertraut und können so Messergebnisse deuten,
- kennen die Phasenraumfunktionen der wichtigsten Lichtzustände,
- kennen das unterschiedliche Verhalten von klassischem und quantisiertem Licht bezüglich der Licht-Materie-Wechselwirkung,
- kennen die Herleitung und Auswertung des Jaynes-Cummings-Modells und können es auf einfache erweiterte Modellsysteme übertragen.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Dr. Matthias Reichelt, Prof. Dr. Torsten Meier</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Vielteilchentheorie der Festkörper

Many-Body Theory of Solids

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
6g	180	6	2.	SS	1	de/en	WP

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Vielteilchentheorie der Festkörper	V	30	120	P	30
b)	Vielteilchentheorie der Festkörper	Ü	30		P	30

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

keine

4 Inhalte:

- Green'sche Funktionen für nicht wechselwirkende Elektronensysteme
- Zweite Quantisierung, Schrödinger- und Heisenberg-Bild
- Green'sche Funktionen für wechselwirkende Vielteilchensysteme
- Spektralfunktion, Funktionale für Grundzustands-Erwartungswerte und Anregungsenergien
- Störungstheorie, diagrammatische Entwicklung
- Selbstenergie, *GW*-Näherung
- Quasiteilchen
- Zweiteilchen-Greenfunktion, Bethe-Salpeter-Gleichung

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden sollen befähigt werden, grundlegende Konzepte der quantenmechanischen Vielteilchentheorie zu verstehen sowie gängige Näherungsverfahren zur quantitativen Berechnung elektronischer Anregungsspektren zweckdienlich einzusetzen.

Die Studierenden

- kennen die Definition der Green'schen Funktion und können daraus formal exakte Formeln für Grundzustands-Erwartungswerte und elektronische Anregungsspektren ableiten,
- können verschiedene Näherungsstrategien für die Green'sche Funktion wechselwirkender Vielteilchen-systeme nachvollziehen und miteinander in Beziehung setzen,
- sind mit dem Konzept von Quasiteilchen vertraut und können dieses zur Beschreibung und Interpretation von Photoemission und anderen spektroskopischen Vorgängen anwenden,
- können im Rahmen der *GW*-Näherung für die elektronische Selbstenergie selbstständig Anregungsenergien für semianalytisch lösbare Modellsysteme berechnen,
- können verschiedene Näherungen zur Lösung der Bethe-Salpeter-Gleichung gegeneinander abgrenzen und für konkrete Anwendungen ein geeignetes Verfahren zur Berechnung der dielektrischen Funktion, das die wesentlichen Aspekte korrekt beschreibt, auswählen,
- kennen die Möglichkeiten und Grenzen der Vielteilchentheorie in Bezug auf quantitative *ab initio*-Rechnungen und können Daten aus der Fachliteratur vor diesem Hintergrund bewerten.

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung:
[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)-b)</td><td>Klausur
oder mündliche Prüfung</td><td>120–180 Min.
30–45 Min.</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:
keine</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:
keine</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:
keine</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r:
Prof. Dr. Arno Schindlmayr, Prof. Dr. Wolf Gero Schmidt</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Sonstige Hinweise:
keine</td></tr>
</table>

Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie

Preparation for the Master's Thesis: Theory

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
7a	450	15	3.	Jedes Semester	1	de/en	P

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie	S	30	300	P	30
b)	Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie	P	15	105	P	15

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

Mindestens 48 LP. Im Fall der Einschreibung unter Auflagen außerdem Nachweis über das Bestehen der zugehörigen Prüfungen.

4 Inhalte:

Das Ziel des Moduls ist die Erschließung des Forschungsgebiets der Masterarbeit durch die Aneignung speziellen physikalischen Faktenwissens und theoretischen Grundlagenwissens unter individueller Betreuung. Dies beinhaltet insbesondere eine Recherche der aktuellen Forschungsliteratur sowie den Austausch mit Mitgliedern der Arbeitsgruppe, in der die Masterarbeit durchgeführt werden soll. Je nach gewähltem Thema und in Absprache mit dem Betreuer bzw. der Betreuerin kann die Einarbeitung auch den Besuch spezieller Lehrveranstaltungen, externe Schulungen oder Aufenthalte in kooperierenden Arbeitsgruppen umfassen.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- können sich selbstständig in ein neues Forschungsgebiet einarbeiten und sich einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand verschaffen,
- sind fähig, sich neue theoretische Konzepte und relevantes physikalisches Faktenwissen anzueignen und diese mit vorhandenen Kenntnissen zu vernetzen,
- können ihr angeeignetes Wissen aus verschiedenen Quellen systematisch strukturieren und in konsistenter Notation und Terminologie schriftlich zusammenfassen,
- können sich in ein Forscherteam integrieren,
- sind in der Lage, in deutscher bzw. englischer Sprache über wissenschaftliche Themen zu diskutieren,
- können eine wissenschaftliche Präsentation erstellen und ihre eigenen Erkenntnisse im Kontext des aktuellen Forschungsstands darstellen,
- haben gelernt, in einer wissenschaftlichen Diskussion auch mit kritischen Fragen umzugehen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)	Schriftliche Hausarbeit mit anschließender Präsentation	ca. 10 Seiten ca. 25 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Cedrik Meier, Prof. Dr. Arno Schindlmayr

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik

Preparation for the Master's Thesis: Methods

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
7b	450	15	3.	Jedes Semester	1	de/en	P

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik	S	30	300	P	30
b)	Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik	P	15	105	P	15

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

Mindestens 48 LP. Im Fall der Einschreibung unter Auflagen außerdem Nachweis über das Bestehen der zugehörigen Prüfungen.

4 Inhalte:

Ziel des Moduls ist die Aneignung der methodischen Kenntnisse und Fertigkeiten, die für die Masterarbeit notwendig sind, unter individueller Betreuung. Dies beinhaltet im Fall eines Themas aus der Experimentellen Physik typischerweise die Einweisung in die sichere Bedienung der Messapparaturen und die Optimierung des Versuchsaufbaus, im Fall eines Themas aus der Theoretischen Physik die Einweisung in vorhandene Computerprogramme und deren Weiterentwicklung für numerische Simulationen. Neben der Anleitung durch Mitglieder der Arbeitsgruppe, in der die Masterarbeit durchgeführt werden soll, kann die Einarbeitung je nach gewähltem Thema und in Absprache mit dem Betreuer bzw. der Betreuerin auch den Besuch spezieller Lehrveranstaltungen, externe Schulungen oder Aufenthalte in kooperierenden Arbeitsgruppen umfassen.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- können sich unter Anleitung mit der sicheren Bedienung komplexer Messapparaturen oder Computerprogramme für wissenschaftliche Forschungszwecke vertraut machen,
- sind fähig, komplexe Messapparaturen bzw. Computerprogramme für Forschungszwecke effizient einzusetzen, zu justieren und zu optimieren sowie einzelne Komponenten bei Bedarf weiterzuentwickeln,
- kennen Strategien, um Fehler und Störungen in komplexen Messungen bzw. numerischen Berechnungen zu identifizieren und zu eliminieren,
- können sich in ein Forscherteam integrieren,
- sind in der Lage, in deutscher bzw. englischer Sprache über wissenschaftliche Themen zu diskutieren,
- können eine wissenschaftliche Präsentation erstellen und ihre eigenen Erkenntnisse im Kontext des aktuellen Forschungsstands darstellen,
- haben gelernt, in einer wissenschaftlichen Diskussion auch mit kritischen Fragen umzugehen.

6 **Prüfungsleistung:**

[X] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)	Schriftliche Hausarbeit mit anschließender Präsentation	ca. 10 Seiten ca. 25 Min.	100%

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

keine

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Cedrik Meier, Prof. Dr. Arno Schindlmayr

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

Masterarbeit

Master's Thesis

Modul-Nr.:	Workload (h):	LP:	Studiensemester:	Turnus:	Dauer (in Sem.):	Sprache:	P/WP:
8	900	30	4.	Jedes Semester	1	de/en	P

1 Modulstruktur:

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	Schriftliche Masterarbeit		10	840	P	1
b)	Mündliche Verteidigung		1	49	P	1

2 Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls:

keine

3 Teilnahmevoraussetzungen:

Erfolgreicher Abschluss der Module Vorbereitung der Masterarbeit: Theorie und Vorbereitung der Masterarbeit: Methodik

4 Inhalte:

Selbstständige Bearbeitung eines Forschungsprojekts unter individueller Betreuung, ausführliche Darstellung des Themas und der erzielten Ergebnisse sowie Diskussion ihrer Relevanz im Kontext der aktuellen Forschung in der schriftlichen Masterarbeit, Präsentation und Verteidigung.

5 Lernergebnisse (learning outcomes) / Kompetenzen:

Die Studierenden

- können sich selbstständig in ein Forschungsgebiet einarbeiten,
- sind in der Lage, zu einem vorgegebenen Thema selbstständig internationale Fachliteratur zu recherchieren und sich einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu verschaffen,
- besitzen die Fähigkeit, sich in eine komplexe Messmethode oder ein komplexes theoretisches Konzept einzuarbeiten, und können ein eigenes Forschungsprojekt nach wissenschaftlichen Methoden und Standards bearbeiten,
- können sich in ein Forscherteam integrieren,
- können eine wissenschaftliche Arbeit selbständig verfassen,
- können einen wissenschaftlichen Vortrag über selbst gewonnene Ergebnisse geeignet strukturieren und im Kontext des aktuellen Forschungsstands vor einem Publikum wiedergeben,
- haben gelernt, in einer wissenschaftlichen Diskussion auch mit kritischen Fragen umzugehen und ihren eigenen Standpunkt zu vertreten,
- kennen die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis und wenden diese an,
- sind in der Lage, eine realistische Zeiteinteilung für ein umfangreiches eigenes Projekt zu entwerfen,
- verfügen über Qualifikationen wie Selbstständigkeit und Teamfähigkeit, beherrschen die deutsche bzw. englische Fachsprache in freier Rede.

6 **Prüfungsleistung:**

[] Modulabschlussprüfung (MAP) [] Modulprüfung (MP) [x] Modulteilprüfungen (MTP)

zu	Prüfungsform	Dauer bzw. Umfang	Gewichtung für die Modulnote
a)	Masterarbeit	60–80 Seiten	5/6
b)	Mündliche Verteidigung einschließlich Prüfgespräch	45-60 Min.	1/6

7 **Studienleistung / qualifizierte Teilnahme:**

keine

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen:**

Voraussetzung für die Teilnahme an der mündlichen Verteidigung ist die als bestanden bewertete schriftliche Masterarbeit.

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Masterarbeit und die mündliche Verteidigung einschließlich Prüfungsgespräch bestanden sind.

10 **Gewichtung für Gesamtnote:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor: 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen:**

keine

12 **Modulbeauftragte/r:**

Prof. Dr. Cedrik Meier, Prof. Dr. Arno Schindlmayr

13 **Sonstige Hinweise:**

keine

HERAUSGEBER
PRÄSIDIUM DER UNIVERSITÄT PADERBORN
WARBURGER STR. 100
33098 PADERBORN

HTTP://WWW.UNI-PADERBORN.DE

ISSN 2199-2819