

UniReport



Goethe-Universität | Frankfurt am Main

Satzungen und Ordnungen

Ordnung des Fachbereichs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main für den Masterstudiengang Physik mit dem Abschluss „Master of Science (M.Sc.)“ vom 20. Mai 2020

Genehmigt vom Präsidium am 30. Juni 2020

Aufgrund der §§ 20, 44 Abs. 1 Nr. 1 des Hessischen Hochschulgesetzes in der Fassung vom 14. Dezember 2009, zuletzt geändert durch Gesetz vom 27. Mai 2013, hat der Fachbereichsrat des Fachbereichs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main am 20. Mai 2020 die folgende Ordnung für den Masterstudiengang Physik beschlossen. Diese Ordnung hat das Präsidium der Johann Wolfgang Goethe-Universität gemäß § 37 Abs. 5 Hessisches Hochschulgesetz am 30. Juni 2020 genehmigt. Sie wird hiermit bekannt gemacht.

Abschnitt I: Allgemeines

- § 1 Geltungsbereich der Ordnung (RO: § 1)
- § 2 Zweck der Masterprüfung (RO: § 2)
- § 3 Akademischer Grad (RO: § 3)
- § 4 Regelstudienzeit (RO: § 4)
- § 5 Auslandsstudium (RO: § 5)

Abschnitt II: Ziele des Studiengangs; Studienbeginn und Zugangsvoraussetzungen zum Studium

- § 6 Ziele des Studiengangs (RO: § 6)
- § 7 Der Schwerpunkt "Computational Physics"
- § 8 Berufliche Perspektiven
- § 9 Studienbeginn (RO: § 7)
- § 10 Voraussetzungen für die Zulassung zum Masterstudiengang (RO: § 9)

Abschnitt III: Studienstruktur und -organisation

- § 11 Studienaufbau; Modularisierung (RO: § 11)
- § 12 Sonderregelungen für den Schwerpunkt "Computational Physics"
- § 13 Modulverwendung (RO: § 12)
- § 14 Praxismodule (RO: § 13)
- § 15 Modulbeschreibungen/Modulhandbuch (RO: § 14)
- § 16 Umfang des Studiums und der Module; Kreditpunkte (CP) (RO: § 15)
- § 17 Lehr- und Lernformen; Zugang zu Modulen (RO: § 16)
- § 18 Studiennachweise (Leistungs- und Teilnahmenachweise) (RO: § 17)
- § 19 Studienverlaufsplan; Informationen (RO: § 18)
- § 20 Studienberatung; Orientierungsveranstaltung (RO: § 19)
- § 21 Akademische Leitung und Modulbeauftragte (RO: § 20)

Abschnitt IV: Prüfungsorganisation

- § 22 Prüfungsausschuss; Prüfungsamt (RO: § 21)
- § 23 Aufgaben des Prüfungsausschusses (RO: § 22)
- § 24 Prüferinnen und Prüfer; Beisitzerinnen und Beisitzer (RO: § 23)

Abschnitt V: Prüfungsvoraussetzungen und -verfahren

- § 25 Erstmeldung und Zulassung zu den Masterprüfungen (RO: § 24)
- § 26 Prüfungszeitpunkt und Meldeverfahren (RO: § 25)
- § 27 Versäumnis und Rücktritt von Modulprüfungen (RO: § 26)
- § 28 Studien- und Prüfungsleistungen bei Krankheit und Behinderung; besondere Lebenslagen (RO: § 27)
- § 29 Verpflichtende Studienfachberatung; zeitliche Vorgaben für das Ablegen der Prüfungen (RO: § 28)
- § 30 Täuschung und Ordnungsverstoß (RO: § 29)
- § 31 Mängel im Prüfungsverfahren (RO: § 30)
- § 32 Anerkennung und Anrechnung von Leistungen (RO: § 31)
- § 33 Anrechnung von außerhalb einer Hochschule erworbenen Kompetenzen (RO: § 32)

Abschnitt VI: Durchführungen der Modulprüfungen

§ 34 Modulprüfungen (RO: § 33)

§ 35 Mündliche Prüfungsleistungen (RO: § 34)

§ 36 Klausurarbeiten (RO: § 35)

§ 37 Hausarbeiten und sonstige schriftliche Ausarbeitungen (RO: § 36)

§ 38 Projektarbeiten (RO: § 38)

§ 39 Masterarbeit (RO: §§ 40, 41)

Abschnitt VII: Bewertung der Studien- und Prüfungsleistungen; Bildung der Noten und der Gesamtnote; Nichtbestehen der Gesamprüfung

§ 40 Bewertung/Benotung der Studien- und Prüfungsleistungen; Bildung der Noten und der Gesamtnote (RO: § 42)

§ 41 Bestehen und Nichtbestehen von Prüfungen; Notenbekanntgabe (RO: § 43)

§ 42 Zusammenstellung des Prüfungsergebnisses (Transcript of Records) (RO: § 44)

Abschnitt VIII: Wechsel von Wahlpflichtmodulen/Nebenfächern; Wiederholung von Prüfungen; Verlust des Prüfungsanspruchs und endgültiges Nichtbestehen

§ 43 Wechsel von Wahlpflichtmodulen und Nebenfächern (RO: § 45)

§ 44 Wiederholung von Prüfungen; Notenverbesserung (RO: § 46)

§ 45 Verlust des Prüfungsanspruchs und endgültiges Nichtbestehen (RO: § 47)

Abschnitt IX: Prüfungszeugnis; Urkunde und Diploma Supplement

§ 46 Prüfungszeugnis (RO: § 48)

§ 47 Masterurkunde (RO: § 49)

§ 48 Diploma Supplement (RO: § 50)

Abschnitt X: Ungültigkeit der Masterprüfung; Prüfungsakten; Einsprüche und Widersprüche; Prüfungsgebühren

§ 49 Ungültigkeit von Prüfungen (RO: § 51)

§ 50 Einsicht in Prüfungsakten; Aufbewahrungsfristen (RO: § 52)

§ 51 Einsprüche und Widersprüche (RO: § 53)

Abschnitt XI: Schlussbestimmungen

§ 52 In-Kraft-Treten [und Übergangsbestimmungen] (RO: § 56)

Anlagen:

Anlage 1: Studienverlaufsplan

Anlage 2: Nebenfächer

Anlage 3: Liste der Import- und Exportmodule

Anlage 4: Modulbeschreibungen

Abkürzungsverzeichnis:

GVBl.	Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen
HHG	Hessisches Hochschulgesetz vom 14. Dezember 2009 (GVBl. I, S. 666), zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 18. Dezember 2017 (GVBl. I, S. 18)
HImmaVO	Hessische Immatrikulationsverordnung vom 24. Februar 2010 (GVBl. I, S. 94), zuletzt geändert am 23. April 2013 (GVBl. I, S. 192)
RO	Rahmenordnung für gestufte und modularisierte Studiengänge der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main vom 30. April 2014

Abschnitt I: Allgemeines

§ 1 Geltungsbereich der Ordnung (RO: § 1)

Diese Ordnung enthält die studiengangsspezifischen Regelungen für den Masterstudiengang Physik. Sie gilt in Verbindung mit der Rahmenordnung für gestufte und modularisierte Studiengänge der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main vom 30. April 2014, UniReport Satzungen und Ordnungen vom 11. Juli 2014 in der jeweils gültigen Fassung, nachfolgend Rahmenordnung (RO) genannt.

§ 2 Zweck der Masterprüfung (RO: § 2)

(1) Das Masterstudium schließt mit einem weiteren berufsqualifizierenden Abschluss ab. Die Masterprüfung dient der Feststellung, ob die Studierenden das Ziel des Masterstudiums erreicht haben. Die Prüfungen erfolgen kumulativ, das heißt die Summen der Modulprüfungen im Masterstudiengang Physik einschließlich der Masterarbeit bilden zusammen die Masterprüfung.

(2) Durch die kumulative Masterprüfung soll festgestellt werden, ob die oder der Studierende gründliche Fachkenntnisse in den Prüfungsgebieten erworben hat und die Zusammenhänge des Faches überblickt, sowie ob sie oder er die Fähigkeit besitzt, wissenschaftliche Methoden und Kenntnisse selbstständig anzuwenden sowie auf den Übergang in die Berufspraxis vorbereitet ist.

§ 3 Akademischer Grad (RO: § 3)

Nach erfolgreich absolviertem Studium und bestandener Prüfung verleiht der Fachbereich Physik den akademischen Grad eines Master of Science, abgekürzt als M.Sc.

§ 4 Regelstudienzeit (RO: § 4)

(1) Die Regelstudienzeit für den Masterstudiengang Physik beträgt 4 Semester. Das Masterstudium kann in kürzerer Zeit abgeschlossen werden.

(2) Sind für die Herbeiführung der Gleichwertigkeit eines Abschlusses für den Zugang zum Masterstudiengang gemäß § 10 Abs. 3 Auflagen von mehr als 7 CP bis höchstens 37 CP erteilt worden, verlängert sich die Regelstudienzeit um ein Semester, bei Auflagen von mehr als 37 CP bis höchstens 60 CP um zwei Semester.

(3) Bei dem Masterstudiengang Physik handelt es sich um einen konsekutiven Masterstudiengang. Bei konsekutiven Studiengängen beträgt die Gesamtregelstudienzeit im Vollzeitstudium fünf Jahre (zehn Semester).

(4) Im Rahmen des Masterstudiengangs Physik sind 120 Kreditpunkte – nachfolgend CP – gemäß § 16 zu erreichen.

(5) Der Fachbereich Physik stellt auf der Grundlage dieser Ordnung ein Lehrangebot bereit und sorgt für die Festsetzung geeigneter Prüfungstermine, so dass das Studium in der Regelstudienzeit abgeschlossen werden kann.

§ 5 Auslandsstudium (RO: § 5)

(1) Es wird empfohlen, im Verlauf des Masterstudiums für mindestens ein Semester an einer Universität im Ausland zu studieren bzw. einen entsprechenden Auslandsaufenthalt einzuplanen. Dafür können die Verbindungen der Johann Wolfgang Goethe-Universität mit ausländischen Universitäten sowie die die wissenschaftli-

chen Verbindungen der Dozenten des Fachbereichs Physik genutzt werden, über die in der Studienfachberatung und im International Office Auskunft erteilt wird.

(2) Ein Auslandsstudium/Auslandaufenthalt wird im 2. Fachsemester empfohlen. Die für diesen Zeitraum vorgesehenen Module sind besonders gut geeignet, um an ausländischen Hochschulen absolviert und für das Studium an der Johann Wolfgang Goethe-Universität angerechnet zu werden.

Abschnitt II: Ziele des Studiengangs; Studienbeginn und Zugangsvoraussetzungen zum Studium

§ 6 Ziele des Studiengangs (RO: § 6)

(1) Der Masterstudiengang Physik ist eher forschungsorientiert.

(2) **Charakterisierung und Abgrenzung des Fachs:** Physik ist die Wissenschaft von der Struktur, den Eigenschaften, den Zustands- und Bewegungsformen der Materie und Energie sowie den zugrunde liegenden Wechselwirkungen und Kräften und den dabei erhaltenen Größen. Als solche ist sie die Grundlage sämtlicher Naturwissenschaften und aller technischen Disziplinen. Sie ist von Neugier getrieben und gleichzeitig handlungsorientiert: sie erschöpft sich nicht in der abstrakten Naturerkenntnis, sondern fordert die Fähigkeit nach deren experimenteller und theoretischer Umsetzung, Anwendung und Erweiterung.

Sie ist eine quantitative Wissenschaft: ihr Ziel ist die quantitative Beschreibung von Naturvorgängen und das Auffinden quantitativer Zusammenhänge zwischen verschiedenen Phänomenen und Phänomenklassen. Zur Erreichung dieser Ziele greift sie in hohem Maße auf den Methodenfundus der Mathematik zurück.

(3) **Wissenschaftsorientierte Studienziele:** Die Fülle ihrer Inhalte, Anwendungen und Wechselbezüge hat die Physik zu einer außerordentlich inhaltsreichen Wissenschaft mit einem breiten Methodenspektrum gemacht, die von einer Einzelperson schon seit langem nicht in allen Details überblickt werden kann. Der kompetente Umgang mit ihr macht eine weitgehende Spezialisierung notwendig. Diese Spezialisierung muss allerdings über einem möglichst breiten Grundlagenfundament erfolgen.

Die durch die Wissenschaft bestimmten Studienziele leiten sich aus der Charakterisierung und Abgrenzung des Faches ab. So muss der gut ausgebildete Physiker oder die gut ausgebildete Physikerin auf dem Gebiet der Physik und möglichst auch ihrer Nachbarwissenschaften handlungskompetent sein; er oder sie muss die Ergebnisse seiner bzw. ihrer Wissenschaft kennen und zu beurteilen lernen.

Ein weiteres Ziel der Studiengänge im Fach Physik ist es, die Studierenden optimal auf die Anforderungen ihres späteren Berufs vorzubereiten. Um dieses Ziel zu erreichen, muss das Studium sowohl einer Reihe von wissenschaftsimmanenten Anforderungen genügen, als auch auf die konkrete Struktur der späteren beruflichen Tätigkeit des Physikers oder der Physikerin Rücksicht nehmen.

Wegen der Breite der typischen beruflichen Aufgabenfelder müssen die Studierenden der Physik erlernen, sich im Berufsleben in kurzer Zeit zielsicher in ganz unterschiedliche Spezialgebiete einzuarbeiten, auch wenn diese nicht Gegenstand ihres Studiums waren. Diese Fähigkeit setzt das tiefgehende Verständnis und die sichere Beherrschung eines möglichst breiten Grundlagenfundus der Wissenschaft einschließlich ihrer Methodiken voraus. Diesem Ziel ist das Hauptaugenmerk des Studiums zu widmen.

Erst wenn die Grundlagen des Fachs verstanden worden sind, sind die Studierenden bereit und in der Lage, den Prozess der Spezialisierung auf ein Fachgebiet zu vollziehen und auf diesem Gebiet bis an die aktuelle Grenze des Wissens voranzuschreiten.

(4) Im Bachelorstudiengang erfolgt diese Spezialisierung in begrenztem Umfang durch Auswahl von Wahlpflichtmodulen aus den verschiedenen Spezialgebieten der Physik und durch die Bachelorarbeit, die eine abgegrenzte Einführung in die praktische Arbeit in einem der Forschungsgebiete des Fachbereiches bietet.

Die eigentliche Spezialisierung erfolgt in der ersten Phase des Masterstudiums und kulminiert in der Masterarbeit, in der der oder die Studierende eine eigenständige Arbeit an einem aktuellen wissenschaftlichen Problem leistet. Aus diesem Grunde stellt die Anfertigung einer Masterarbeit eine ganz originäre Prüfungsleistung dar, die für die Ausbildung eines vollwertigen Physikers oder einer vollwertigen Physikerin unverzichtbar ist.

§ 7 Der Schwerpunkt „Computational Physics“

(1) **Charakterisierung und Abgrenzung des Schwerpunktes:** Für Forschung und Entwicklung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich, aber auch für die Finanzmathematik, spielt die Bewältigung komplexer numerischer Aufgaben eine zunehmend wichtigere Rolle. Dazu sind, neben der Verfügbarkeit von leistungsfähigen Rechenanlagen, in aller Regel Kenntnisse und Fertigkeiten aus verschiedenen Disziplinen gefordert: Für sich allein genommen reichen weder die Beherrschung des jeweiligen fachlichen Kontextes, noch die der involvierten Mathematik oder die von effizienten Programmiertechniken aus. Erst das optimale Zusammenwirken dieser Komponenten erlaubt die Bearbeitung vieler wissenschaftlich-technischer und finanzmathematischer Problemstellungen.

Dies gilt in besonderem Maße für die Physik. Die Auswertung der Grundgleichungen vieler physikalischer Theorien (gerade in den Bereichen Elementarteilchenphysik und Vielteilchensysteme) und damit die Verifikation der Theorien und der physikalischen Vorstellungen über die untersuchten Systeme erweisen sich als numerisch extrem aufwändig. Aber auch das Design komplexer Experimente beruht ganz wesentlich auf der numerischen Simulation der erwarteten Prozesse. Der Schwerpunkt *Computational Physics* kombiniert daher die mathematische Modellbildung in einem physikalischen Rahmen mit der computergestützten Simulation des Modells. Dabei wird gleichermaßen Wert auf die Vermittlung der Konzepte und Modelle, die wissenschaftlichem Rechnen vorangehen bzw. dieses erst möglich machen, gelegt, wie auf die von Kernkompetenzen in numerischer Mathematik und Informatik. Ziel des Schwerpunkts *Computational Physics* ist es, Studierenden die Kenntnisse und Fertigkeiten für eine in hohem Maße computergestützte Forschungs- oder Entwicklungstätigkeit zu vermitteln.

Eine ebenso große Bedeutung hat wissenschaftliches Rechnen für die theoretische Meteorologie und Klimaforschung, die Geophysik einschließlich Kristallographie und die Neurowissenschaften. In diesen, der Physik nahestehenden Gebieten kommt das gleiche Werkzeug der numerischen Mathematik und Informatik zum Einsatz, häufig sind zudem sehr ähnliche Modelle wie in manchen Bereichen der Physik zu simulieren. Daher liegt eine gemeinsame, interdisziplinäre Ausbildung von geeigneten, theoretisch orientierten Bachelorabsolventen und -absolventinnen dieser Fächer mit Physikern und Physikerinnen im Rahmen des Schwerpunkts *Computational Physics* nahe. Gleichzeitig eröffnet die Einbeziehung dieser Disziplinen in den Schwerpunkt Physik-Studierenden zusätzliche Optionen zur fachlichen Spezialisierung.

(2) **Wissenschaftsorientierte Studienziele:** Im Schwerpunkt *Computational Physics* werden Kenntnisse und Fertigkeiten vermittelt, die seine Absolventinnen und Absolventen zu einer beruflichen Tätigkeit beispielsweise als theoretische Physiker oder Physikerinnen, Meteorologen oder Meteorologinnen, Geophysiker oder Geophysikerinnen oder Neurowissenschaftler oder Neurowissenschaftlerinnen in einem fachlich wie personell heterogenen Umfeld befähigen. Das Studium ermöglicht das wissenschaftliche Arbeiten insbesondere auf allen Feldern, in denen komplexe mathematische Modelle zur Simulation realer Strukturen oder Abläufe in Natur, Technik oder Gesellschaft eingesetzt werden. Durch den Studiengang wird die Befähigung erworben, im Bereich des wissenschaftlichen Rechnens selbstständig und verantwortlich beruflich tätig zu werden: Der Master in Physik mit Schwerpunkt *Computational Physics* ist nach selbstständiger Einarbeitung in der Lage, zur naturwissenschaftlichen und technischen Entwicklung beizutragen und den sich wandelnden Anforderungen von Beruf und Gesellschaft auch im internationalen Rahmen gerecht zu werden.

Der Schwerpunkt *Computational Physics* zielt auf ein aktuelles Berufsfeld von zunehmender Bedeutung und bereitet mit einer geeigneten Kombination fachübergreifender Lehrinhalte auf dieses Berufsfeld vor.

- Der Schwerpunkt ergänzt auf der einen Seite die grundlagenorientierte und breit angelegte Ausbildung von naturwissenschaftlichen Bachelorabsolventen im Rahmen des vorangegangenen Bachelorstudiums, indem er die Studierenden über eine Schritt für Schritt zunehmende fachliche Spezialisierung an den aktuellen Stand der jeweiligen Wissenschaft heranführt. Er leistet diesbezüglich grundsätzlich die gleiche Fachausbildung wie ein entsprechendes Masterstudium in dem jeweiligen naturwissenschaftlichen Fach, allerdings beschränkt auf den theoretischen Zweig.
- Auf der anderen Seite vermittelt der Schwerpunkt in strukturierter Weise ausgewähltes Grundlagenwissen der numerischen Mathematik und Informatik und vertieft dieses speziell auf den Gebieten, die in Naturwissenschaft und Technik von besonderem Interesse sind. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die numerische Simulation mathematischer Modelle den Alltag von theoretisch arbeitenden Naturwissenschaftlern in Forschung und Praxis weitgehend dominiert. Dementsprechend wendet sich der Schwerpunkt zum einen an Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen, die sich für eine anschließende Tätigkeit im Rahmen ihres Herkunftsfaches das moderne und häufig unverzichtbare Handwerkszeug des *Scientific Computing* aneignen wollen.
- Durch die relativ breite methodische Ausbildung in numerischer Mathematik und Informatik sowie das interdisziplinäre Curriculum wird ein hohes Maß an Flexibilität bei der Einsatzfähigkeit der Absolventinnen und Absolventen sichergestellt, was ihnen den Quereinstieg in fachferne Berufsfelder erlaubt. Absolventen und Absolventinnen des Masterstudiengangs Physik mit Schwerpunkt *Computational Physics* haben erlernt, sich in kurzer Zeit zielsicher in ganz unterschiedliche Gebiete einzuarbeiten. Der Schwerpunkt wendet sich daher auch an Studierende, die primär eine methodische Ausbildung suchen, um sie anschließend in einem nicht-naturwissenschaftlich-technischen Umfeld zum Einsatz zu bringen.

§ 8 Berufliche Perspektiven

Durch den Masterstudiengang wird die Fähigkeit zu selbständiger Anwendung und Fortentwicklung physikalischen Wissens und physikalischer Methoden erworben. Der Absolvent oder die Absolventin mit dem Abschluss „*Master of Science*“ in Physik ist in der Lage, zur naturwissenschaftlichen und technischen Entwicklung auf dem jeweiligen Gebiet selbständig beizutragen und den sich wandelnden Anforderungen von Beruf und Gesellschaft auch im internationalen Rahmen gerecht zu werden. Darüber hinaus qualifiziert der Abschluss des Masterstudiums zur Aufnahme eines Promotionsstudiums.

Für Absolventen und Absolventinnen des Masterstudiengangs eröffnen sich die seit jeher vielfältigen Berufsperspektiven von Physikern und Physikerinnen. Als Generalisten sind Physiker und Physikerinnen schon immer auch in benachbarten Disziplinen der Naturwissenschaften und der Technik und selbst in fachfernen Gebieten begehrte Fachkräfte mit sehr guten Aufstiegschancen gewesen. Sie waren und sind in vielen Arbeitsgebieten wegen ihrer Flexibilität, ihrer breiten Grundlagenkenntnisse und ihrer analytischen Fähigkeiten gefragt. Mit den in den Studiengängen im Fach Physik vermittelten gezielt zusammengestellten Kombinationen von physikalischen Kenntnissen wird die Grundlage für das Arbeiten in der physiknahen Forschung und Entwicklung sowie in benachbarten Disziplinen vermittelt.

Die Tätigkeitsfelder der Masterabsolventen oder -absolventinnen sind entsprechend der Vielseitigkeit der Wissenschaft außerordentlich weitgespannt. Außer in Tätigkeiten mit engerem Fachbezug, wie z. B.

- als **Forscher oder Forscherinnen** an Hochschulen, öffentlichen Forschungseinrichtungen und Industrielabors,
- als **Lehrer oder Lehrerinnen** an Fachschulen, Fachhochschulen und Universitäten, und
- **Mitarbeit oder selbständige Tätigkeit** in Entwicklung, Produktion, Vertrieb, Betriebs- und Verfah-

renstechnik in Industrie und Wirtschaft,

gehören dazu in zunehmendem Maße viele andere Gebiete, wie z.B.

- der medizinische Bereich,
- die öffentliche Verwaltung,
- das Management, insbesondere zur Entwicklung komplizierter quantitativer Entscheidungsmodelle,
- das Bankenwesen und die Börsen,
- die Systemanalyse,
- das Feld der Datenverarbeitung und -analyse,
- das Patentwesen,
- die Unternehmensberatungen.

Was sie für derartige Tätigkeiten qualifiziert, ist neben reinen Fachkenntnissen und dem ausgeprägten Verständnis komplexer, technischer wie organisatorischer Zusammenhänge, insbesondere das durch den Umgang mit den Fakten und Methoden einer „strengen Wissenschaft“ geschulte, weitgehend an sachlichen Erfordernissen orientierte Urteilsvermögen.

Hierbei ist im Besonderen auch an ein fundiertes Urteil über die Konsequenzen und Gesellschaftsverträglichkeit naturwissenschaftlicher Innovationen zu denken. Die Entwicklung eines solchen Urteilsvermögens ist wichtiges didaktisches Ziel des Physikstudiums. Die konsequente Verfolgung der wissenschaftsorientierten Studienziele im Zusammenhang mit einer bewussten Auswahl der verschiedenen möglichen Wahlpflichtmodule sollte zum Erwerb dieser Fähigkeiten beitragen.

Für Absolventinnen und Absolventen des Schwerpunkts **Computational Physics** eröffnen sich vielfältige Berufsperspektiven in einer ganzen Reihe unterschiedlicher Wirtschaftszweige. Sie bringen zum einen vertiefte Kenntnisse in ihrem jeweiligen Spezialfach mit, die in den methodisch orientierten Disziplinen Mathematik und Informatik nicht oder nur in geringem Umfang angesprochen werden. Gleichzeitig verfügen diese Absolventinnen und Absolventen über eine breitere Methodenausbildung als die Absolventinnen und Absolventen traditioneller naturwissenschaftlicher Studiengänge. Die resultierende Breite erhöht die Flexibilität der Absolventinnen und Absolventen in der Auswahl ihrer Betätigungsfelder außerhalb der Grundlagenforschung in den jeweiligen Fachgebieten. Im Folgenden werden einige exemplarische Beispiele für diese Arbeitsfelder genannt:

- **Chemische und pharmazeutische Industrie:** Die Synthese neuartiger Materialien und insbesondere pharmazeutischer Wirkstoffe (*drug design*) beginnt immer häufiger mit umfangreichen Computersimulationen, um die für die Zielsetzung geeignetsten Klassen von Verbindungen zu identifizieren. Verglichen mit experimentellen Studien führt die Simulation von Verbindungen und chemischen Prozessen zu einer Reduktion des finanziellen Aufwands, was wesentlich ausgiebigere Studien erlaubt.
- **Flugzeug- und Fahrzeugbau:** Einer der aufwändigsten und kostenträchtigsten Schritte bei der Entwicklung neuer Fahr- oder Flugzeuge ist die Untersuchung ihrer Aerodynamik und ihrer elastischen Eigenschaften. Mittlerweile werden an vielen Stellen dafür Simulationsprogramme eingesetzt.
- **Genforschung:** Die Analyse des menschlichen Genoms ist ein herausragendes Beispiel für die massiv computergestützte Forschung im privatwirtschaftlichen Sektor.
- **Versicherungswirtschaft, Banken, Investmentbanking:** Sowohl im Bereich der Versicherungswirtschaft als auch in Banken spielt die computergestützte Auswertung finanzmathematischer Modelle eine

zunehmende Rolle. Dabei steht in beiden Fällen die Simulation stochastischer Prozesse im Vordergrund, etwa zur Abschätzung von Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten, bei der Erstellung von Risikoprofilen für Depots oder der Bewertung des *Fair Value* von Derivaten und entsprechender Absicherungsstrategien durch geeignete Gegengeschäfte. Die numerischen Methoden, die dabei zur Anwendung kommen, sind exakt die gleichen, die auch im naturwissenschaftlichen Forschungskontext benötigt werden.

- **Rückversicherungswirtschaft, öffentliche Verwaltung:** Für die Rückversicherungswirtschaft, aber auch auf der politischen Ebene, spielt die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Katastrophen und deren Konsequenzen eine zunehmende Rolle. Das Gleiche gilt für die Klimaentwicklung. In beiden Fällen kommt wissenschaftliches Rechnen zum Einsatz.
- **Wetterdienst:** Eine anspruchsvolle und aktuelle Aufgabe im Bereich Computersimulation ist die Vorhersage der mittel- bis langfristigen Wetterentwicklung, die Prognosezeiten von circa 4 bis 12 Tagen umfasst. Die Absolventinnen und Absolventen des Schwerpunkts *Computational Physics* können auch die erforderlichen Kenntnisse für eine berufliche Tätigkeit auf dem Gebiet der numerischen Wettervorhersage erwerben, und zwar sowohl großskalige als auch mesoskalige Phänomene betreffend.

§ 9 Studienbeginn (RO: § 7)

Das Studium kann sowohl zum Winter- als auch zum Sommersemester aufgenommen werden.

§ 10 Voraussetzungen für die Zulassung zum Masterstudiengang (RO: § 9)

(1) Bewerbungen auf Zulassung zum Masterstudiengang Physik sind beim Prüfungsausschuss oder einer von der Präsidentin oder dem Präsidenten der Johann Wolfgang Goethe Universität näher bezeichneten Stelle einzureichen. Der Prüfungsausschuss regelt die Einzelheiten des Bewerbungsverfahrens und entscheidet über die Zulassung der Bewerberinnen und Bewerber. Abs. 7 Satz 2 bleibt hiervon unberührt. Sofern für den Masterstudiengang eine Zulassungsbeschränkung besteht, sind die Bestimmungen der Hochschulauswahlsatzung in der aktuell gültigen Fassung zu beachten.

(2) Allgemeine Zugangsvoraussetzung für den Masterstudiengang ist

- a) der Nachweis eines Bachelorabschlusses in Physik oder in der gleichen Fachrichtung jeweils mit einer Regelstudienzeit von mindestens 6 Semestern oder
- b) der Nachweis eines mindestens gleichwertigen Abschlusses einer deutschen Universität oder einer deutschen Fachhochschule in verwandter Fachrichtung mit einer Regelstudienzeit von mindestens sechs Semestern oder
- c) der Nachweis eines mindestens gleichwertigen ausländischen Abschlusses in gleicher oder verwandter Fachrichtung mit einer Regelstudienzeit von mindestens sechs Semestern.

(3) In den Fällen des Abs. 2 b) und c) kann die Zulassung unter der Auflage der Erbringung zusätzlicher Studienleistungen und Modulprüfungen bis zur Gleichwertigkeit mit dem Bachelorstudiengang Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität im Umfang von maximal 60 CP erteilt werden.

Die Auflagen können insgesamt oder teilweise Inhalte betreffen, die nicht Teil des Bachelorstudiengangs sind, sondern dessen Zugangsvoraussetzungen, wie z.B. Fremdsprachenkenntnisse.

Die zusätzlichen Leistungen sind nicht Bestandteil der Masterprüfung. Im Falle von Auflagen kann sich das Studium entsprechend verlängern. Der Prüfungsausschuss bestimmt im Zulassungsbescheid die Frist, innerhalb

derer der Nachweis der Auflagenerfüllung erbracht sein muss. Abs. 7 Satz 2 bleibt unberührt. Werden die Auflagen nicht pflichtgemäß erfüllt, ist die mit ihr verbundene Entscheidung zu widerrufen.

(4) Ausländische Studienbewerberinnen und Studienbewerber müssen bei der Immatrikulation einen Sprachnachweis auf der Niveaustufe DSH-2 entsprechend der „Ordnung der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main über die Deutsche Sprachprüfung für den Hochschulzugang (DSH) für Studienbewerberinnen und Studienbewerber mit ausländischer Hochschulzugangsberechtigung“ in der jeweils gültigen Fassung vorlegen, soweit sie nach der DSH-Ordnung nicht von der Deutschen Sprachprüfung freigestellt sind. Über Ausnahmen von der DSH-Ordnung entscheidet der Prüfungsausschuss.

(5) Es werden ausreichende aktive und passive englische Sprachkenntnisse vorausgesetzt, welche zur Lektüre englischsprachiger Fachliteratur und zur Teilnahme an Lehrveranstaltungen in englischer Sprache befähigen. Sofern einzelne Module nicht in deutscher Sprache angeboten werden, ist dies im Modulhandbuch angegeben.

(6) Liegt bei der Bewerbung um einen Masterstudienplatz das Abschlusszeugnis für den Bachelorabschluss noch nicht vor, kann die Bewerbung stattdessen auf einen Immatrikulationsnachweis und auf eine besondere Bescheinigung gestützt werden. Diese muss auf erbrachten Prüfungsleistungen im Umfang von mindestens 80 Prozent der für den Bachelorabschluss erforderlichen CP beruhen, eine vorläufige Durchschnittsnote enthalten, die anhand dieser Prüfungsleistungen entsprechend der jeweiligen Ordnung errechnet ist, und von der für die Zeugniserteilung zuständigen Stelle der bisherigen Hochschule ausgestellt worden sein. Dem Zulassungsverfahren wird die vorläufige Durchschnittsnote zugrunde gelegt, solange nicht bis zum Abschluss des Verfahrens die endgültige Note nachgewiesen wird. Eine Zulassung auf Grundlage der besonderen Bescheinigung erfolgt unter dem Vorbehalt, dass das Bachelorzeugnis bis zum Ende des ersten Semesters vorgelegt wird. Wird dieser Nachweis nicht fristgerecht erbracht, erlischt die Zulassung, und die Immatrikulation ist zurückzunehmen.

(7) Über das Vorliegen der Zugangsvoraussetzungen und ggf. die vorläufige Zulassung nach Abs. 6 entscheidet der Prüfungsausschuss. Zur Wahrnehmung dieser Aufgabe kann er auch einen Zulassungsausschuss einsetzen.

(8) Liegen die Zugangsvoraussetzungen vor, wird die Studienbewerberin oder der Studienbewerber von der Präsidentin oder dem Präsidenten der Johann Wolfgang Goethe-Universität zugelassen. Andernfalls erteilt der Prüfungs- oder Zulassungsausschuss einen mit Rechtsbehelfsbelehrung versehenen schriftlichen Ablehnungsbescheid. Etwaige Auflagen nach Abs. 3 können entweder im Zulassungsbescheid oder mit gesondertem Bescheid des Prüfungs- oder Zulassungsausschusses erteilt werden.

(9) Die Voraussetzungen für die Zulassung zur Masterprüfung sind in § 25 geregelt. Danach hat die oder der Studierende bei der Zulassung zur Masterprüfung insbesondere eine Erklärung darüber abzugeben, ob sie oder er bereits eine Zwischenprüfung, eine Diplom-Vorprüfung, eine Bachelorprüfung, eine Masterprüfung, eine Diplomprüfung, eine kirchliche Hochschulprüfung oder eine staatliche Abschlussprüfung im jeweiligen Fach oder in einem vergleichbaren Studiengang (Studiengang mit einer überwiegend gleichen fachlichen Ausrichtung) an der Hochschule endgültig nicht bestanden hat oder ob sie oder er sich gegenwärtig im jeweiligen Fach oder in einem solchen Studiengang in einem noch nicht abgeschlossenen Prüfungsverfahren an einer Hochschule in Deutschland oder im Ausland befindet.

Abschnitt III: Studienstruktur und -organisation

§ 11 Studienaufbau; Modularisierung (RO: § 11)

(1) Bei dem Masterstudiengang Physik handelt es sich um einen „Ein-Fach-Studiengang“.

(2) Der Masterstudiengang Physik ist modular aufgebaut. Ein Modul ist eine inhaltlich und zeitlich abgeschlossene Lehr- und Lerneinheit. Es umfasst ein Set von inhaltlich aufeinander bezogenen Lehrveranstaltungen einschließlich Projektarbeiten sowie Selbstlernzeiten und ist einem vorab definierten Lernziel verpflichtet. Module erstrecken sich auf ein bis zwei Semester.

(3) Der Masterstudiengang Physik gliedert sich in die Spezialisierungsphase im 1. und 2. Fachsemester sowie die Vorbereitung und Durchführung der Masterarbeit im 3. und 4. Fachsemester. Parallel dazu kann nach Wahl der oder des Studierenden ein Nebenfach gemäß Anlage 2 absolviert werden. Dort nicht aufgeführte Nebenfächer können vom Prüfungsausschuss auf Antrag genehmigt werden. Das Nebenfach kann ohne Anmeldung gewählt und gemäß § 43 Abs. 2 gewechselt werden.

(4) Module können sein: Pflichtmodule, die obligatorisch sind, darunter die Masterarbeit, oder Wahlpflichtmodule, die aus einem vorgegebenen Katalog von Modulen auszuwählen sind, oder Nebenfachmodule, bei denen je nach gewähltem Nebenfach einzelne Module obligatorisch sind, andere aus einem Katalog ausgewählt werden können. Die Wiederholung von Wahlpflichtmodulen, Nebenfachmodulen oder Teilen aus solchen Modulen, die bereits in einem zuvor abgeschlossenen Studiengang angerechnet wurden, ist dabei ausgeschlossen.

(5) Aus den Zuordnungen der Module zu den Studienphasen, dem Grad der Verbindlichkeit der Module und dem nach § 16 kalkulierten studentischen Arbeitsaufwand (Workload) in CP ergibt sich für den Masterstudiengang Physik folgender Studienaufbau:

Spezialisierungsphase: 1. und 2. Fachsemester, Pflichtmodule

Modul	Lehrveranstaltung	CP
PEXFL	Forschungs- und Laborpraktikum	12
SMSC	Proseminar	3
	Summe CP	15

Spezialisierungsphase: 1. und 2. Fachsemester, Wahlpflicht- und Nebenfachbereich

Modul	Lehrveranstaltung	CP
	Wahlpflichtmodule nach Wahl der oder des Studierenden	26-42
	Nebenfachmodule nach Wahl der oder des Studierenden	0-16
	Summe CP	42

Masterarbeitsphase: 3. und 4. Fachsemester (im Wesentlichen)

Modul	Lehrveranstaltung	CP
SMSC	Arbeitsgruppenseminar	3
FS	Fachliche Spezialisierung (dieses Modul beginnt bereits in der vorlesungsfreien Zeit am Ende des 2. Fachsemesters)	15
EP	Erarbeiten eines Projekts	15
MA	Masterarbeit	30
	Summe CP	63

(6) In Nebenfach- und Wahlpflichtmodulen müssen zusammen insgesamt 42 CP erworben werden, wovon 0-16 CP auf Nebenfachmodule entfallen können. Das Absolvieren eines Nebenfachs ist also optional. Die ohne Antrag wählbaren Nebenfachmodule sind in Anlage 2 dieser Ordnung aufgeführt, weitere Nebenfachmodule können auf Antrag vom Prüfungsausschuss genehmigt werden. Die wählbaren Wahlpflichtmodule sind im Modulhandbuch (Anlage 4) zusammengestellt. Drei CP der Nebenfachmodule dürfen aus Veranstaltungen zu Schlüsselqualifikationen stammen. Dabei können die Studierenden frei aus dem gesamten Angebot der Goethe Universität auswählen. Fünf CP der Wahlpflichtmodule müssen im Bereich Theoretische Physik erworben werden.

(7) Die Wählbarkeit von Wahlpflichtmodulen kann bei fehlender Kapazität durch Fachbereichsratsbeschluss eingeschränkt werden. Die Einschränkung ist den Studierenden unverzüglich durch das Dekanat bekannt zu geben. § 19 Abs. 2 findet Anwendung. Durch Beschluss des Fachbereichsrates können ohne Änderung dieser

Ordnung auch weitere Wahlpflichtmodule zugelassen werden, wenn sie von ihrem Umfang und ihren Anforderungen den in dieser Ordnung geregelten Wahlpflichtmodulen entsprechen. § 15 Abs. 4 findet entsprechende Anwendung. § 19 Abs. 2 ist zu beachten.

(8) Die Lehrveranstaltungen in den Modulen werden hinsichtlich ihrer Verbindlichkeit in Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen unterschieden. Pflichtveranstaltungen sind nach Inhalt und Form der Veranstaltung in der Modulbeschreibung eindeutig bestimmt. Wahlpflichtveranstaltungen sind Lehrveranstaltungen, die Studierende innerhalb eines Moduls aus einem bestimmten Fachgebiet oder zu einem bestimmten Themengebiet auszuwählen haben.

(9) Sofern einzelne Lehrveranstaltungen auf Englisch angeboten werden, ist dies in der Modulbeschreibung geregelt.

(10) Sofern Lehrveranstaltungen eines Moduls aufeinander aufbauen, sind die Studierenden nach Maßgabe der Modulbeschreibung an die dort angegebene Reihenfolge gebunden.

(11) Die Studierenden haben die Möglichkeit, sich innerhalb des Masterstudiengangs Physik nach Maßgabe freier Plätze weiteren, als den in dieser Ordnung vorgeschriebenen Modulen einer Prüfung oder einer Leistungskontrolle zu unterziehen (Zusatzmodule). Das Ergebnis der Prüfung wird bei der Bildung der Gesamtnote für die Masterprüfung nicht miteinbezogen.

§ 12 Sonderregelungen für den Schwerpunkt „Computational Physics“

(1) Die Pflichtmodule dieses Schwerpunkts sind identisch mit den in § 11 aufgeführten Pflichtmodulen des Masterstudiengangs ohne Schwerpunkt. Zusätzlich sind die in Anlage 1b aufgeführten Pflichtmodule aus den Bereichen Numerische Mathematik, Informatik und *Computational Physics* im Umfang von 30-33 CP zu absolvieren. Neben diesen Pflichtmodulen sind Wahlpflichtmodule im Umfang von mindestens 9-12 CP zu absolvieren, so dass zusammen mit den zusätzlichen Pflichtmodulen gemäß Anlage 1b insgesamt mindestens 42 CP erreicht werden. Ein Nebenfach entfällt.

(2) Pflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Computational Physics* oder einzelne Lehrveranstaltungen aus diesen Pflichtmodulen, die bereits im Rahmen des Bachelorstudiums eingebracht wurden, werden für den Masterstudiengang mit Schwerpunkt *Computational Physics* als absolviert anerkannt. Zum Ausgleich sind Wahlpflichtmodule in mindestens gleichem CP-Umfang aus dem Wahlpflichtangebot der Physik oder den in Anlage 1c aufgeführten Modulen zu absolvieren. Falls benotete Pflichtmodule anerkannt werden, sind die sie ersetzenden, zusätzlichen Wahlpflichtmodule ebenfalls mit einer benoteten Prüfung abzuschließen.

(3) Das Thema der Masterarbeit ist auf Projekte eingeschränkt, die einen klaren Bezug zum Bereich *Computational Physics* aufweisen. Im Zweifelsfall entscheidet der Prüfungsausschuss über die Zulässigkeit eines Themas.

(4) Bedingung für die Zulassung zum Schwerpunkt ist, dass ausreichende Kenntnisse im Programmieren (bevorzugt in C++) vorhanden sind.

(5) Die Wahl des Schwerpunktes *Computational Physics* muss bei Beginn des Masterstudiums erklärt werden.

§ 13 Modulverwendung (RO: § 12)

(1) Sofern Module des Masterstudiengangs Physik aus dem Angebot anderer Studiengänge stammen („Importmodule“), unterliegen sie den Prüfungsregelungen des exportierenden Fachbereichs (Herkunftsordnung). Sie sind in Anlage 3 aufgeführt. Änderungen werden rechtzeitig durch den Prüfungsausschuss in das Modulhandbuch (vgl. § 15) aufgenommen und auf der studiengangsbezogenen Webseite (vgl. § 19 Abs. 2) hinterlegt.

(2) Es gelten im Übrigen die Regelungen des § 12 der Rahmenordnung.

§ 14 Praxismodule (RO: § 13)

(1) Im Masterstudiengang Physik ist ein internes Praxismodul in der Studienphase Spezialisierung in Form des Forschungs- und Laborpraktikums vorgesehen. Näheres regelt die Praktikumsordnung.

§ 15 Modulbeschreibungen/Modulhandbuch (RO: § 14)

(1) Zu jedem Pflicht- und Wahlpflichtmodul enthält Anlage 4 eine Modulbeschreibung nach Maßgabe von § 14 Abs. 2 RO. Die Modulbeschreibungen sind Bestandteil dieser Ordnung.

(2) Die Modulbeschreibungen werden ergänzt durch ein regelmäßig aktualisiertes Modulhandbuch. Dieses enthält die zusätzlichen Angaben nach Maßgabe von Abs. 3 und dient insbesondere der Information der Studierenden.

(3) In das Modulhandbuch werden nach Maßgabe von § 14 Abs. 5 RO mindestens aufgenommen:

- ggf. Kennzeichnung als Importmodul
- Angebotszyklus der Module (z.B. jährlich oder jedes Semester)
- studentischer Arbeitsaufwand differenziert nach Präsenz- beziehungsweise Kontaktzeit und Selbststudium in Stunden und Kreditpunkten (CP)
- Dauer der Module
- empfohlene Voraussetzungen
- Unterrichts-/Prüfungssprache
- Lehrveranstaltungen mit Lehr- und Lernformen sowie Semesterwochenstunden und Kreditpunkten
- Verwendbarkeit der Module
- Modulbeauftragte/Modulbeauftragter
- ggf. zeitliche Einordnung der Module

(4) Änderungen im Modulhandbuch, welche nicht die Inhalte der Modulbeschreibungen nach § 14 Abs. 2 RO betreffen, sind durch Fachbereichsratsbeschluss rechtzeitig vor Beginn der Veranstaltungszeit eines Semesters möglich und bis zu diesem Zeitpunkt auf der studiengangbezogenen Webseite bekanntzugeben. Sie dürfen nicht zu wesentlichen Änderungen des Curriculums führen. Das Hochschulrechenzentrum soll rechtzeitig vor Beschlussfassung im Fachbereichsrat zu den Änderungen angehört werden.

(5) Änderungen bei den Importmodulen können durch den anbietenden Fachbereich vorgenommen werden, ohne dass eine Änderung dieser Ordnung notwendig ist. Sie werden vom Prüfungsausschuss rechtzeitig in das Modulhandbuch aufgenommen und auf der studiengangbezogenen Webseite bekannt gegeben.

§ 16 Umfang des Studiums und der Module; Kreditpunkte (CP) (RO: § 15)

(1) Jedem Modul werden in der Modulbeschreibung Kreditpunkte (CP) auf der Basis des European Credit Transfer Systems (ECTS) unter Berücksichtigung der Beschlüsse und Empfehlungen der Kultusministerkonferenz und Hochschulrektorenkonferenz zugeordnet. Die CP ermöglichen die Übertragung erbrachter Leistungen auf andere Studiengänge der Johann Wolfgang Goethe-Universität oder einer anderen Hochschule beziehungsweise umgekehrt.

(2) CP sind ein quantitatives Maß für den Arbeitsaufwand (Workload), den durchschnittlich begabte Studierende für den erfolgreichen Abschluss des entsprechenden Moduls für das Präsenzstudium, die Teilnahme an außer-universitären Praktika oder an Exkursionen, die Vor- und Nachbereitung des Lehrstoffs, die Vorbereitung und Ausarbeitung eigener Beiträge und Prüfungsleistungen aufwenden müssen. Ein CP entspricht einem Arbeitsaufwand von 30 Stunden. Als regelmäßige Arbeitsbelastung werden höchstens 1800 Arbeitsstunden je Studienjahr angesetzt. 30 CP entsprechen der durchschnittlichen Arbeitsbelastung eines Semesters.

(3) Für den Masterabschluss Physik werden – unter Einbeziehung des vorangehenden Studiums bis zum ersten berufsqualifizierenden Abschluss – 300 CP benötigt.

(4) Die CP werden nur für ein vollständig und erfolgreich absolviertes Modul vergeben.

(5) Für jede Studierende und jeden Studierenden des Studiengangs wird beim Prüfungsamt ein Kreditpunktekonto eingerichtet. Im Rahmen der organisatorischen Möglichkeiten kann die oder der Studierende jederzeit in den Stand des Kontos Einblick nehmen.

(6) Der Arbeitsumfang (Workload) wird im Rahmen der Evaluierung nach § 12 Abs. 1 und Abs. 2 HHG sowie zur Reakkreditierung des Studiengangs überprüft und an die durch die Evaluierung ermittelte Arbeitsbelastung angepasst.

§ 17 Lehr- und Lernformen; Zugang zu Modulen (RO: § 16)

(1) Die Lehrveranstaltungen im Masterstudiengang Physik werden in den folgenden Formen durchgeführt:

- a) Vorlesung: Zusammenhängende Darstellung und Vermittlung von Grund- und Spezialwissen sowie methodische Kenntnisse durch Vortrag gegebenenfalls in Verbindung mit Demonstrationen oder Experimenten. Die Lehrenden entwickeln und vermitteln Lehrinhalte unter Einbeziehung der Studierenden;
- b) Übung: Durcharbeitung und Vertiefung von Lehrstoffen sowie Schulung in der Fachmethodik und Vermittlung spezieller Fertigkeiten durch Bearbeitung und Besprechung exemplarischer Aufgaben;
- c) Proseminar/Seminar: Erarbeitung wissenschaftlicher Erkenntnisse oder Bearbeitung aktueller Problemstellungen mit wissenschaftlichen Methoden durch, in der Regel von Studierenden vorbereitete, Beiträge, Erlernen und Einüben beziehungsweise Vertiefen von Präsentations- und Diskussionstechniken;
- d) Praktikum: Angeleitete Durchführung praktischer Aufgaben im experimentellen und apparativen Bereich und/oder Computersimulationen; Schulung in der Anwendung wissenschaftlicher Untersuchungs- und Lösungsmethoden; Vermittlung von fachtechnischen Fertigkeiten und Einsichten in Funktionsabläufe;
- e) Projekt: Erarbeitung von Konzepten sowie Realisierung von Lösungen komplexer, praxisnaher Aufgabenstellungen; Vermittlung sozialer Kompetenz durch weitgehend selbstständige Bearbeitung der Aufgabe bei gleichzeitiger fachlicher und arbeitsmethodischer Anleitung;
- f) Exkursion: Vorbereitete Veranstaltung außerhalb der Hochschule;

(2) Ist nach Maßgabe der Modulbeschreibung der Zugang zu den Lehrveranstaltungen eines Moduls vom erfolgreichen Abschluss anderer Module oder vom Besuch der Studienfachberatung abhängig oder wird in der Modulbeschreibung die Teilnahme an einer einzelnen Lehrveranstaltung von einem Teilnahme- oder Leistungsnachweis für eine andere Lehrveranstaltung vorausgesetzt, wird die Teilnahmeberechtigung durch die Lehrveranstaltungsleiterin oder den Lehrveranstaltungsleiter überprüft.

(3) Die Modulbeschreibung kann vorsehen, dass zur Teilnahme am Modul oder an bestimmten Veranstaltungen des Moduls eine verbindliche Anmeldung vorausgesetzt werden kann. Auf der studiengangspezifischen Webseite wird rechtzeitig bekannt gegeben, ob und in welchem Verfahren eine verbindliche Anmeldung erfolgen muss.

(4) Ist zu erwarten, dass die Zahl der an einer Lehrveranstaltung interessierten Studierenden die Aufnahmefähigkeit der Lehrveranstaltung übersteigt, kann die Lehrveranstaltungsleitung ein Anmeldeverfahren durchführen. Die Anmeldevoraussetzungen und die Anmeldefrist werden im kommentierten Vorlesungsverzeichnis oder auf andere geeignete Weise bekannt gegeben.

(5) Übersteigt die Zahl der angemeldeten Studierenden die Aufnahmefähigkeit der Lehrveranstaltung oder ist die Lehrveranstaltung überfüllt und kann nicht auf alternative Veranstaltungen verwiesen werden, prüft die akademische Leitung auf Antrag der Lehrveranstaltungsleitung, ob eine zusätzliche Lehrveranstaltung eingerichtet werden kann. Ist dies aus Kapazitätsgründen nicht möglich, ist es zur Gewährleistung der ordnungsgemäßen Durchführung der Lehrveranstaltung zulässig, nur eine begrenzte Anzahl der teilnahmeberechtigten Studierenden aufzunehmen. Hierfür ist durch die Veranstaltungsleitung nach den Richtlinien des Fachbereichsrates ein geeignetes Auswahlverfahren durchzuführen. Bei der Erstellung der Auswahlkriterien ist sicherzustellen, dass diejenigen Studierenden bei der Aufnahme in die Lehrveranstaltung Priorität genießen, für die die Lehrveranstaltung verpflichtend ist und die im besonderen Maße ein Interesse an der Aufnahme haben. Ein solches ist insbesondere gegeben, wenn der oder die Studierende nach dem Studienverlaufsplan bereits im vorangegangenen Semester einen Anspruch auf den Platz hatte und trotz Anmeldung keinen Platz erhalten konnte. Bei Pflichtveranstaltungen muss angemeldeten aber nicht in die Lehrveranstaltung aufgenommenen Studierenden auf Verlangen hierüber eine Bescheinigung ausgestellt werden.

(6) Abs. 4 und 5 finden keine Anwendung mehr, soweit eine universitätsweite Regelung vorhanden ist.

§ 18 Studiennachweise (Leistungs- und Teilnahmenachweise) (RO: § 17)

(1) Während des Studiums sind Studiennachweise (Leistungs- und Teilnahmenachweise) als Nachweis des ordnungsgemäßen Studiums (Prüfungsvorleistungen) beziehungsweise, zusammen mit den CP für die bestandene Modulprüfung, als Voraussetzung für die Vergabe der für das Modul zu erbringenden CP vorgesehen. Es gelten folgende Regelungen:

(2) Sofern in der Modulbeschreibung die Verpflichtung zur regelmäßigen Teilnahme für Veranstaltungen geregelt ist, wird diese durch Teilnahmenachweise oder durch Anwesenheitslisten dokumentiert. Über die Form der Dokumentation entscheidet die Veranstaltungsleitung. Die Bescheinigung der regelmäßigen Teilnahme gilt nicht als Studienleistung im Sinne des Abs.5.

(3) Die regelmäßige Teilnahme an einer Lehrveranstaltung ist gegeben, wenn die oder der Studierende in allen von der Veranstaltungsleitung im Verlauf eines Semesters angesetzten Einzelveranstaltungen anwesend war. Sie ist noch zu bestätigen, wenn die oder der Studierende bis zu drei Einzelveranstaltungen bei 15 Terminen oder 20 % der Veranstaltungszeit bei weniger Terminen versäumt hat. Bei Überschreitung der zulässigen Fehlzeit aus Gründen, die die oder der Studierende nicht zu vertreten hat, wie z.B. Krankheit, notwendige Betreuung eines im selben Haushalt lebenden Kindes oder Pflege eines nahen Angehörigen (Kinder, Eltern, Großeltern, Ehepartnerin/Ehepartner, Partnerin/Partner in einer nicht ehelichen Lebensgemeinschaft) oder Mitwirkung als ernannte oder gewählte Vertreterin oder ernannter oder gewählter Vertreter in der akademischen oder studentischen Selbstverwaltung, entscheidet die oder der Modulbeauftragte, ob und in welcher Art und Weise eine Äquivalenzleistung erforderlich und angemessen ist. Die Regelungen zum Nachteilsausgleich in § 28 sind zu beachten.

(4) Abweichend von Abs. 3 kann in der Modulbeschreibung für die Ausstellung eines Teilnahmenachweises auch festgelegt sein, dass die oder der Studierende nicht nur regelmäßig im Sinne von Abs. 3, sondern auch aktiv an der Lehrveranstaltung teilgenommen hat. Sie kann aber auch lediglich die aktive Teilnahme voraussetzen. Eine aktive Teilnahme beinhaltet je nach Festlegung durch die Veranstaltungsleitung die Erbringung kleinerer Arbeiten, wie Protokolle, mündliche Kurzreferate und Gruppenarbeiten. Diese Aufgaben werden weder benotet noch mit bestanden/nicht bestanden bewertet.

(5) Ein nach der Modulbeschreibung zu einer Lehrveranstaltung geforderter Leistungsnachweis dokumentiert die erfolgreiche Erbringung einer Studienleistung. Die Studienleistung ist erfolgreich erbracht, wenn sie durch die Lehrende oder den Lehrenden nach Maßgabe der Modulbeschreibung mit „bestanden“ oder unter Anwendung des § 40 Abs. 3 mittels Note positiv bewertet wurde. Bei Gruppenarbeiten muss die individuelle Leistung deutlich abgrenzbar und bewertbar sein. Die Noten der Studienleistungen gehen nicht in die Modulnote ein; § 40 Abs. 6 bleibt unberührt.

Sofern dies die oder der Lehrende voraussetzt, ist für einen Leistungsnachweis auch die regelmäßige Teilnahme an der Lehrveranstaltung im Sinne von Abs. 3 erforderlich.

(6) Studienleistungen können insbesondere sein

- schriftliche Ausarbeitungen beziehungsweise Hausarbeiten
- Referate (mit oder ohne Ausarbeitung)
- Fachgespräche
- Arbeitsberichte, Protokolle
- Bearbeitung von Übungsaufgaben
- Durchführung von Versuchen
- Tests

Im Fall von Modulen, die nicht mit einer Modulabschlussprüfung oder einer kumulativen Modulprüfung abgeschlossen werden, können Studienleistungen zusätzlich auch Klausuren sein.

Die Form und die Frist, in der die Studienleistung zu erbringen ist, gibt die oder der Lehrende den Studierenden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt. Die Vergabekriterien für den Leistungsnachweis dürfen während des laufenden Semesters nicht zum Nachteil der Studierenden geändert werden. Die oder der Lehrende kann den Studierenden die Nachbesserung einer schriftlichen Leistung unter Setzung einer Frist ermöglichen.

(7) Nicht unter Aufsicht zu erbringende schriftliche Arbeiten sind von der oder dem Studierenden nach den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis anzufertigen. Die oder der Studierende hat bei der Abgabe der Arbeit schriftlich zu versichern, dass sie oder er diese selbstständig verfasst und alle von ihr oder ihm benutzten Quellen und Hilfsmittel in der Arbeit angegeben hat. Ferner ist zu erklären, dass die Arbeit noch nicht – auch nicht auszugswise – in einem anderen Studiengang als Studien- oder Prüfungsleistung verwendet wurde. § 30 Abs. 1 gilt entsprechend. Um die Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis überprüfen zu können, sind die Lehrenden berechtigt, von den Studierenden die Vorlage nicht unter Aufsicht erbrachter schriftlicher Arbeiten auch in geeigneter elektronischer Form zu verlangen. Der Prüfungsausschuss trifft hierzu nähere Festlegungen.

(8) Bestandene Studienleistungen können nicht wiederholt werden. Nicht bestandene Studienleistungen sind unbeschränkt wiederholbar.

§ 19 Studienverlaufsplan; Informationen (RO: § 18)

(1) Der als Anlage 1a angefügte Studienverlaufsplan gibt den Studierenden Hinweise für eine zielgerichtete Gestaltung ihres Studiums. Er berücksichtigt inhaltliche Bezüge zwischen Modulen und organisatorische Bedingungen des Studienangebots.

(2) Der Fachbereich richtet für den Masterstudiengang Physik eine Webseite ein, auf der allgemeine Informationen und Regelungen zum Studiengang in der jeweils aktuellen Form hinterlegt sind. Dort sind auch das Modulhandbuch, der Studienverlaufsplan und, soweit Module im- und/oder exportiert werden, die Liste des aktuellen Im- und Exportangebots des Studiengangs veröffentlicht.

(3) Der Fachbereich erstellt für den Masterstudiengang Physik auf der Basis der Modulbeschreibungen und des Studienverlaufsplans ein kommentiertes Verzeichnis mit einer inhaltlichen und organisatorischen Beschreibung des Lehrangebots. Dieses ist für jedes Semester zu aktualisieren und soll in der letzten Vorlesungswoche des vorangegangenen Semesters erscheinen.

§ 20 Studienberatung (RO: § 19)

(1) Die Studierenden haben die Möglichkeit, während des gesamten Studienverlaufs die Studienfachberatung für den Masterstudiengang Physik des Fachbereichs Physik aufzusuchen. Die Studienfachberatung erfolgt durch von der Studiendekanin oder dem Studiendekan beauftragte Personen. Im Rahmen der Studienfachberatung erhalten die Studierenden Unterstützung insbesondere in Fragen der Studiengestaltung, der Studientechnik und der Wahl der Lehrveranstaltungen. Die Studienfachberatung sollte insbesondere in Anspruch genommen werden:

- zu Beginn des ersten Semesters;
- bei Nichtbestehen von Prüfungen und bei gescheiterten Versuchen, erforderliche Leistungsnachweise zu erwerben;
- bei Schwierigkeiten in einzelnen Lehrveranstaltungen;
- bei Studiengangs- beziehungsweise Hochschulwechsel.

(2) Neben der Studienfachberatung steht den Studierenden die Zentrale Studienberatung der Johann Wolfgang Goethe-Universität zur Verfügung. Sie unterrichtet als allgemeine Studienberatung über Studiermöglichkeiten, Inhalte, Aufbau und Anforderungen eines Studiums und berät bei studienbezogenen persönlichen Schwierigkeiten.

§ 21 Akademische Leitung und Modulbeauftragte (RO: § 20)

(1) Die Aufgabe der akademischen Leitung des Masterstudiengangs Physik nimmt die Studiendekanin oder der Studiendekan des Fachbereichs Physik wahr, sofern sie nicht auf ihren oder seinen Vorschlag vom Fachbereichsrat auf ein im Masterstudiengang prüfungsberechtigtes Mitglied der Professorengruppe für die Dauer von 2 Jahren übertragen wird. Die akademische Leiterin oder der akademische Leiter ist beratendes Mitglied in der Studienkommission und hat insbesondere folgende Aufgaben:

- Koordination des Lehr- und Prüfungsangebots des Studiengangs im Zusammenwirken mit den Modulbeauftragten, gegebenenfalls auch aus anderen Fachbereichen;
- Erstellung und Aktualisierung von Prüferlisten;
- Evaluation des Studiengangs und Umsetzung der gegebenenfalls daraus entwickelten qualitätssichernden Maßnahmen in Zusammenarbeit mit der Studienkommission (vgl. hierzu § 6 Evaluationssatzung für Lehre und Studium);
- ggf. Bestellung der Modulbeauftragten (Abs. 2 bleibt unberührt).

(2) Für jedes Modul ernennt die akademische Leitung des Studiengangs aus dem Kreis der Lehrenden des Moduls eine Modulbeauftragte oder einen Modulbeauftragten. Für fachbereichsübergreifende Module wird die oder der Modulbeauftragte im Zusammenwirken mit der Studiendekanin oder dem Studiendekan des anderen Fachbereichs ernannt. Die oder der Modulbeauftragte muss Professorin oder Professor oder ein auf Dauer beschäftigtes wissenschaftliches Mitglied der Lehreinheit sein. Sie oder er ist für alle, das Modul betreffenden, inhaltlichen Abstimmungen und die ihr oder ihm durch diese Ordnung zugewiesenen organisatorischen Aufgaben, insbesondere für die Mitwirkung bei der Organisation der Modulprüfung, zuständig. Die oder der Modulbeauftragte wird durch die akademische Leitung des Studiengangs vertreten.

Abschnitt IV: Prüfungsorganisation

§ 22 Prüfungsausschuss; Prüfungsamt (RO: § 21)

- (1) Der Fachbereichsrat bildet für den Bachelor- und den Masterstudiengang Physik einen gemeinsamen Prüfungsausschuss.
- (2) Dem Prüfungsausschuss gehören sieben Mitglieder an, darunter vier Mitglieder der Gruppe der Professoren-schaft, eine wissenschaftliche Mitarbeiterin oder ein wissenschaftlicher Mitarbeiter und zwei Studierende.
- (3) Die Mitglieder des Prüfungsausschusses werden nebst einer Stellvertreterin oder einem Stellvertreter auf Vorschlag der jeweiligen Gruppen vom Fachbereichsrat des Fachbereichs Physik gewählt. Die Amtszeit der Studierenden beträgt ein Jahr, die der anderen Mitglieder zwei Jahre. Wiederwahl ist zulässig.
- (4) Bei Angelegenheiten, die ein Mitglied des Prüfungsausschusses betreffen, ruht dessen Mitgliedschaft in Bezug auf diese Angelegenheit und wird durch die Stellvertreterin oder den Stellvertreter wahrgenommen. Dies gilt nicht bei rein organisatorischen Sachverhalten.
- (5) Der Prüfungsausschuss wählt eine Vorsitzende oder einen Vorsitzenden aus der Mitte der ihm angehörenden Professorinnen und Professoren. Die stellvertretende Vorsitzende oder der stellvertretende Vorsitzende wird aus der Mitte der dem Prüfungsausschuss angehörenden Professorinnen und Professoren oder ihrer Stellvertreterinnen und Stellvertreter gewählt. Die beziehungsweise der Vorsitzende führt die Geschäfte des Prüfungsausschusses. Sie oder er lädt zu den Sitzungen des Prüfungsausschusses ein und führt bei allen Beratungen und Beschlussfassungen den Vorsitz. In der Regel soll in jedem Semester mindestens eine Sitzung des Prüfungsausschusses stattfinden. Eine Sitzung ist einzuberufen, wenn dies mindestens zwei Mitglieder des Prüfungsausschusses fordern.
- (6) Der Prüfungsausschuss tagt nicht öffentlich. Er ist beschlussfähig, wenn mindestens die Hälfte der Mitglieder, darunter die oder der Vorsitzende oder die oder der stellvertretende Vorsitzende, anwesend sind und die Stimmenmehrheit der Professorinnen und Professoren gewährleistet ist. Für Beschlüsse ist die Zustimmung der Mehrheit der Anwesenden erforderlich. Bei Stimmengleichheit entscheidet die Stimme der oder des Vorsitzenden. Die Beschlüsse des Prüfungsausschusses sind zu protokollieren. Im Übrigen richtet sich das Verfahren nach der Geschäftsordnung für die Gremien der Johann Wolfgang Goethe-Universität.
- (7) Der Prüfungsausschuss kann einzelne Aufgaben seiner oder seinem Vorsitzenden zur alleinigen Durchführung und Entscheidung übertragen. Gegen deren oder dessen Entscheidungen haben die Mitglieder des Prüfungsausschusses und der betroffene Prüfling ein Einspruchsrecht. Die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses kann die Durchführung von Aufgaben an das Prüfungsamt delegieren. Dieses ist Geschäftsstelle des Prüfungsausschusses. Es führt die laufenden Geschäfte nach Weisung des Prüfungsausschusses und deren beziehungsweise dessen Vorsitzenden.
- (8) Die Mitglieder des Prüfungsausschusses und deren Stellvertreterinnen und Stellvertreter unterliegen der Amtsverschwiegenheit. Sofern sie nicht im öffentlichen Dienst stehen, sind sie durch die Vorsitzende oder den Vorsitzenden zur Verschwiegenheit zu verpflichten; sie bestätigen diese Verpflichtung durch ihre Unterschrift, die zu den Akten genommen wird.
- (9) Die Mitglieder des Prüfungsausschusses haben das Recht, an den mündlichen Prüfungen als Zuhörerinnen und Zuhörer teilzunehmen.
- (10) Der Prüfungsausschuss kann Anordnungen, Festsetzungen von Terminen und andere Entscheidungen unter Beachtung datenschutzrechtlicher Bestimmungen mit rechtlich verbindlicher Wirkung durch Aushang am Prüfungsamt oder andere nach § 41 Hessisches Verwaltungsverfahrensgesetz geeignete Maßnahmen bekannt machen.

(11) Belastende Entscheidungen des Prüfungsausschusses oder der oder des Vorsitzenden des Prüfungsausschusses sind der oder dem Studierenden unverzüglich schriftlich mitzuteilen, zu begründen und mit einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen. Der oder dem Studierenden ist vor der Entscheidung Gelegenheit zur Stellungnahme zu geben.

§ 23 Aufgaben des Prüfungsausschusses (RO: § 22)

(1) Der Prüfungsausschuss und das für den Masterstudiengang Physik zuständige Prüfungsamt sind für die Organisation und die ordnungsgemäße Durchführung der Prüfungen im Masterstudiengang Physik verantwortlich. Der Prüfungsausschuss achtet darauf, dass die Bestimmungen dieser Ordnung eingehalten werden und entscheidet bei Zweifeln zu Auslegungsfragen dieser Ordnung. Er entscheidet in allen Prüfungsangelegenheiten, die nicht durch Ordnung oder Satzung einem anderen Organ oder Gremium oder der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses übertragen sind.

(2) Dem Prüfungsausschuss obliegen in der Regel insbesondere folgende Aufgaben:

- Entscheidung über die Erfüllung der Voraussetzungen für den Zugang zum Masterstudiengang einschließlich der Erteilung von Auflagen zur Nachholung von Studien- und Prüfungsleistungen aus dem Bachelorstudiengang und der Entscheidung über die vorläufige Zulassung;
- Festlegung der Prüfungstermine, -zeiträume und Melde- und Rücktrittsfristen für die Prüfungen und deren Bekanntgabe;
- ggf. Bestellung der Prüferinnen und Prüfer;
- Entscheidungen zur Prüfungszulassung;
- die Entscheidung über die Anrechnungen gemäß § 32 und § 33 sowie die Erteilung von Auflagen zu nachzuholenden Studien- und Prüfungsleistungen im Rahmen von Anrechnungen;
- die Berechnung und Bekanntgabe der Noten von Prüfungen sowie der Gesamtnote für den Masterabschluss;
- die Entscheidungen zur Masterarbeit;
- die Entscheidungen zum Bestehen und Nichtbestehen;
- die Entscheidungen über einen Nachteilsausgleich und über die Verlängerung von Prüfungs- beziehungsweise Bearbeitungsfristen;
- die Entscheidungen über Verstöße gegen Prüfungsvorschriften;
- die Entscheidungen zur Ungültigkeit des Masterabschlusses;
- Entscheidungen über Einsprüche sowie über Widersprüche der Studierenden zu in Prüfungsverfahren getroffenen Entscheidungen, soweit diesen stattgegeben werden soll;
- eine regelmäßige Berichterstattung in der Studienkommission über die Entwicklung der Prüfungs- und Studienzeiten einschließlich der Bearbeitungszeiten für die Masterarbeit sowie über die Nachfrage der Studierenden nach den verschiedenen Wahlpflichtmodulen;
- das Offenlegen der Verteilung der Fach- und Gesamtnoten;
- Anregungen zur Reform dieser Ordnung.

(3) Zum Zwecke der Überprüfung der Einhaltung guter wissenschaftlicher Praxis ist der Prüfungsausschuss berechtigt, wissenschaftliche Arbeiten auch mit Hilfe geeigneter elektronischer Mittel auf Täuschungen und Täuschungsversuche zu überprüfen. Hierzu kann er verlangen, dass ihm innerhalb einer angemessenen Frist die

Prüfungsarbeiten in elektronischer Fassung vorgelegt werden. Kommt die Verfasserin oder der Verfasser dieser Aufforderung nicht nach, kann die Arbeit als nicht bestanden gewertet werden.

§ 24 Prüferinnen und Prüfer; Beisitzerinnen und Beisitzer (RO: § 23)

(1) Zur Abnahme von Hochschulprüfungen sind Mitglieder der Professorengruppe, wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mit der selbstständigen Wahrnehmung von Lehraufgaben beauftragt worden sind, sowie Lehrbeauftragte und Lehrkräfte für besondere Aufgaben befugt (§ 18 Abs. 2 HHG). Privatdozentinnen und Privatdozenten, außerplanmäßige Professorinnen und außerplanmäßige Professoren, Honorarprofessorinnen und Honorarprofessoren, die jeweils in den Prüfungsfächern eine Lehrtätigkeit ausüben, sowie entpflichtete und in den Ruhestand getretene Professorinnen und Professoren, können durch den Prüfungsausschuss mit ihrer Einwilligung als Prüferinnen oder Prüfer bestellt werden. Der Prüfungsausschuss kann im Einzelfall eine nicht der Johann Wolfgang Goethe-Universität angehörende, aber nach Satz 1 prüfungsberechtigte Person als Zweitgutachterin oder Zweitgutachter für die Masterarbeit bestellen. Prüfungsleistungen dürfen nur von Personen bewertet werden, die selbst mindestens die durch die Prüfung festzustellende oder eine gleichwertige Qualifikation besitzen.

(2) In der Regel wird die zu einem Modul gehörende Prüfung von den in dem Modul Lehrenden ohne besondere Bestellung durch den Prüfungsausschuss abgenommen. Sollte eine Lehrende oder ein Lehrender aus zwingenden Gründen Prüfungen nicht abnehmen können, kann der Prüfungsausschuss eine andere Prüferin oder einen anderen Prüfer benennen.

(3) Schriftliche Prüfungsleistungen, die nicht mehr wiederholt werden können, sind von zwei Prüfenden zu bewerten. § 39 Abs. 16 bleibt unberührt. Mündliche Prüfungen sind von mehreren Prüfenden oder von einer oder einem Prüfenden in Gegenwart einer oder eines Beisitzenden abzunehmen.

(4) Zur Beisitzerin oder zum Beisitzer bei mündlichen Prüfungen darf nur ein Mitglied oder eine Angehörige oder ein Angehöriger der Johann Wolfgang Goethe-Universität bestellt werden, das oder die oder der mindestens den Masterabschluss oder eine vergleichbare Prüfung abgelegt hat. Die Bestellung der Beisitzerin oder des Beisitzers erfolgt durch die Vorsitzende oder den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses. Sie oder er kann die Bestellung an die Prüferin oder den Prüfer delegieren.

(5) Prüferinnen, Prüfer, Beisitzerinnen und Beisitzer unterliegen der Amtsverschwiegenheit.

Abschnitt V: Prüfungsvoraussetzungen und –verfahren

§ 25 Erstmeldung und Zulassung zu den Masterprüfungen (RO: § 24)

(1) Spätestens mit der Meldung zur ersten Modulprüfung im Masterstudiengang Physik hat die oder der Studierende ein vollständig ausgefülltes Anmeldeformular für die Zulassung zur Masterprüfung beim Prüfungsamt für den Masterstudiengang Physik einzureichen. Sofern nicht bereits mit dem Zulassungsantrag zum Studium erfolgt, sind der Meldung zur Prüfung insbesondere beizufügen:

- a) eine Erklärung darüber, ob die Studierende oder der Studierende bereits eine Bachelorprüfung, eine Masterprüfung, eine Magisterprüfung, eine Diplomprüfung oder eine kirchliche Hochschulprüfung oder eine staatliche Abschlussprüfung im Fach Physik oder in einem vergleichbaren Studiengang (Studiengang mit einer überwiegend gleichen fachlichen Ausrichtung) an einer Hochschule endgültig nicht bestanden hat oder ob sie oder er sich gegenwärtig in dem Fach Physik der einem vergleichbaren Studiengang in einem nicht abgeschlossenen Prüfungsverfahren an einer Hochschule in Deutschland oder im Ausland befindet;

- b) eine Erklärung darüber, ob und gegebenenfalls wie oft die oder der Studierende bereits Modulprüfungen im Masterstudiengang Physik oder in denselben Modulen eines anderen Studiengangs an einer Hochschule in Deutschland oder im Ausland nicht bestanden hat;
- c) gegebenenfalls Nachweise über bereits erbrachte Studien- oder Prüfungsleistungen, die in den Studiengang eingebracht werden sollen;

(2) Der Prüfungsausschuss kann in Ausnahmefällen, insbesondere in Fällen des Studienortwechsels, des Fachrichtungswechsels oder der Wiederaufnahme des Studiums auf Antrag von der Immatrikulationspflicht zu einzelnen Modulprüfungen befreien.

(3) Über die Zulassung entscheidet die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses, in Zweifelsfällen der Prüfungsausschuss, gegebenenfalls nach Anhörung einer Fachvertreterin oder eines Fachvertreters. Die Zulassung wird abgelehnt, wenn

- a) die Unterlagen unvollständig sind oder
- b) die oder der Studierende den Prüfungsanspruch für ein Modul nach Abs. 1 b) oder für den jeweiligen Studiengang endgültig verloren hat oder eine der in Abs. 1 a) genannten Prüfungen endgültig nicht bestanden hat.

(4) Über Ausnahmen von Abs. 1 und Abs. 3 in besonderen Fällen entscheidet auf Antrag der oder des Studierenden der Prüfungsausschuss.

(5) Eine Ablehnung der Zulassung wird dem oder der Studierenden von der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses schriftlich mitgeteilt. Sie ist mit einer Begründung und einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen.

§ 26 Prüfungszeitpunkt und Meldeverfahren (RO: § 25)

(1) Modulprüfungen werden im zeitlichen und sachlichen Zusammenhang mit den entsprechenden Modulen abgelegt. Modulprüfungen für Pflichtmodule und jährlich angesetzte Wahlpflichtmodule sind in der Regel mindestens zweimal pro Jahr anzubieten.

(2) Die modulabschließenden mündlichen Prüfungen und Klausurarbeiten sollen innerhalb von durch den Prüfungsausschuss festzulegenden Prüfungszeiträumen durchgeführt werden. Die Prüfungszeiträume sind in der Regel die ersten beiden und die letzten beiden Wochen der vorlesungsfreien Zeit.

(3) Die exakten Prüfungstermine für die Modulprüfungen werden durch den Prüfungsausschuss im Einvernehmen mit den Prüfenden festgelegt. Das Prüfungsamt gibt den Studierenden in einem Prüfungsplan möglichst frühzeitig, spätestens aber vier Wochen vor den Prüfungsterminen, Zeit und Ort der Prüfungen sowie die Namen der beteiligten Prüferinnen und Prüfer durch Aushang oder andere geeignete Maßnahmen bekannt. Muss aus zwingenden Gründen von diesem Prüfungsplan abgewichen werden, so ist die Neufestsetzung des Termins nur mit Genehmigung der oder des Vorsitzenden des Prüfungsausschusses möglich. Termine für die mündlichen Modulabschlussprüfungen oder für Prüfungen, die im zeitlichen Zusammenhang mit einzelnen Lehrveranstaltungen oder im Verlauf von Lehrveranstaltungen abgenommen werden (Modulteilprüfungen), werden von der oder dem Prüfenden gegebenenfalls nach Absprache mit den Studierenden festgelegt.

(4) Der Prüfungsausschuss setzt für die Modulprüfungen Meldefristen (in der Regel eine Woche) fest, die spätestens vier Wochen vor dem Beginn der Meldefristen durch Aushang oder andere geeignete Maßnahmen bekannt gegeben werden müssen.

(5) Zu jeder Modulprüfung hat sich die oder der Studierende innerhalb der Meldefrist schriftlich oder nach Festlegung durch das Prüfungsamt elektronisch anzumelden. Die Meldung zu den Modulprüfungen erfolgt beim Prüfungsamt. Über eine Nachfrist für die Meldung zu einer Modulprüfung in begründeten Ausnahmefällen ent-

scheidet die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses auf Antrag der oder des Studierenden. § 27 Abs. 2 Satz 3 gilt entsprechend.

(6) Die oder der Studierende kann sich zu einer Modulprüfung oder Modulteilprüfung nur anmelden beziehungsweise die Modulprüfung oder Modulteilprüfung nur ablegen, sofern sie oder er an der Johann Wolfgang Goethe-Universität immatrikuliert ist. § 25 Abs. 2 bleibt unberührt. Für die Anmeldung bzw. der Ablegung der betreffenden Modulprüfung bzw. Modulteilprüfung muss die oder der Studierende zur Masterprüfung zugelassen sein und sie oder er darf die entsprechende Modulprüfung oder Modulteilprüfung noch nicht endgültig nicht bestanden haben. Weiterhin muss sie oder er die nach Maßgabe der Modulbeschreibung für das Modul erforderlichen Leistungs- bzw. Teilnahmenachweise erbracht haben. Hängt die Zulassung zu einer Modulprüfung oder Modulteilprüfung vom Vorliegen von Studienleistungen ab und sind diese noch nicht vollständig erbracht worden, ist eine Zulassung zu einer Modulprüfung oder Modulteilprüfung unter Vorbehalt möglich. Das Modul ist erst dann bestanden, wenn sämtliche Studienleistungen sowie Modulprüfungen oder alle Modulteilprüfungen des Moduls bestanden sind. Über Ausnahmen entscheidet der Prüfungsausschuss. Beurlaubte Studierende können keine Prüfungen ablegen oder Leistungsnachweise erwerben. Zulässig ist aber die Wiederholung nicht bestandener Prüfungen während der Beurlaubung. Studierende sind auch berechtigt, Studien- und Prüfungsleistungen während einer Beurlaubung zu erbringen, wenn die Beurlaubung wegen Mutterschutz oder wegen der Inanspruchnahme von Elternzeit oder wegen der Pflege von nach ärztlichem Zeugnis pflegebedürftigen Angehörigen oder wegen der Erfüllung einer Dienstpflicht nach Art. 12 a des Grundgesetzes oder wegen der Mitwirkung als ernannte oder gewählte Vertreterin oder ernannter oder gewählter Vertreter in der akademischen Selbstverwaltung erfolgt ist.

(7) Die oder der Studierende kann bis einen Tag vor dem Prüfungstermin die Prüfungsanmeldung ohne Angabe von Gründen zurückziehen. Bei einem späteren Rücktritt gilt § 27 Abs. 1.

§ 27 Versäumnis und Rücktritt von Modulprüfungen (RO: § 26)

(1) Eine Modulprüfungsleistung gilt als „nicht ausreichend“ (5,0) gemäß § 40 Abs. 3 wenn die oder der Studierende einen für sie oder ihn verbindlichen Prüfungstermin ohne wichtigen Grund versäumt oder vor Beendigung der Prüfung die Teilnahme abgebrochen hat. Dasselbe gilt, wenn sie oder er eine schriftliche Modulprüfungsleistung nicht innerhalb der vorgegebenen Bearbeitungszeit erbracht oder als Modulprüfungsleistung in einer schriftlichen Aufsichtsarbeit ein leeres Blatt abgegeben oder in einer mündlichen Prüfung geschwiegen hat.

(2) Ein für das Versäumnis oder den Abbruch der Prüfung geltend gemachter Grund muss der Vorsitzenden oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses unverzüglich nach Bekanntwerden des Grundes schriftlich angezeigt und glaubhaft gemacht werden. Eine während der Erbringung einer Prüfungsleistung eintretende Prüfungsunfähigkeit muss unverzüglich bei der Prüferin oder dem Prüfer oder der Prüfungsaufsicht geltend gemacht werden. Die Verpflichtung zur unverzüglichen Anzeige und Glaubhaftmachung der Gründe gegenüber dem Prüfungsausschuss bleibt hiervon unberührt. Im Krankheitsfall ist unverzüglich, jedenfalls innerhalb von drei Werktagen, ein ärztliches Attest und eine Bescheinigung über die Prüfungsunfähigkeit durch den Haus-/Facharzt vorzulegen, aus der hervorgeht, für welche Art von Prüfung (schriftliche Prüfung, mündliche Prüfung, länger andauernde Prüfungen, andere Prüfungsformen) aus medizinischer Sicht die Prüfungsunfähigkeit für den betreffenden Prüfungstermin besteht. Der oder die Vorsitzende des Prüfungsausschusses entscheidet auf der Grundlage des in Anlage 11 der Rahmenordnung beigefügten Formulars über die Prüfungsunfähigkeit. Bei begründeten Zweifeln ist zusätzlich ein amtsärztliches Attest vorzulegen.

(3) Die Krankheit eines von der oder dem Studierenden zu versorgenden Kindes, das das 14. Lebensjahr noch nicht vollendet hat, oder eines pflegebedürftigen nahen Angehörigen (Kinder, Eltern, Großeltern, Ehe- oder Lebenspartner) steht eigener Krankheit gleich. Als wichtiger Grund gilt auch die Inanspruchnahme von Mutterschutz.

(4) Über die Anerkennung des Säumnis- oder Rücktrittsgrundes entscheidet die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses. Bei Anerkennung des Grundes wird unverzüglich ein neuer Termin bestimmt.

(5) Bei anerkanntem Rücktritt oder Versäumnis bleiben die Prüfungsergebnisse in bereits abgelegten Teilen des Moduls bestehen.

§ 28 Studien- und Prüfungsleistungen bei Krankheit und Behinderung; besondere Lebenslagen (RO: § 27)

(1) In Veranstaltungen und Prüfungen ist Rücksicht zu nehmen auf Art und Schwere einer Behinderung oder einer chronischen Erkrankung der oder des Studierenden, oder auf Belastungen durch Schwangerschaft oder die Erziehung von Kindern oder die Betreuung von pflegebedürftigen nahen Angehörigen.

(2) Die Art und Schwere der Belastung ist durch die oder den Studierenden rechtzeitig gegenüber der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses durch Vorlage geeigneter Unterlagen, bei Krankheit durch Vorlage eines ärztlichen Attestes, nachzuweisen. In Zweifelsfällen kann auch ein amtsärztliches Attest verlangt werden.

(3) Macht die oder der Studierende glaubhaft, dass sie oder er wegen einer Behinderung, einer chronischen Erkrankung, der Betreuung einer oder eines pflegebedürftigen nahen Angehörigen, einer Schwangerschaft oder der Erziehung eines Kindes, welches das 14. Lebensjahr noch nicht vollendet hat, nicht in der Lage ist, die Prüfungs- oder Studienleistung ganz oder teilweise in der vorgesehenen Form abzulegen, so ist dieser Nachteil durch entsprechende Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Verlängerung der Bearbeitungszeit oder eine andere Gestaltung des Prüfungsverfahrens auszugleichen. Die Inanspruchnahme der gesetzlichen Mutterschutzfristen und der Fristen der Elternzeit ist bei entsprechendem Nachweis zu ermöglichen.

(4) Entscheidungen über den Nachteilsausgleich bei der Erbringung von Prüfungsleistungen trifft die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses, bei Studienleistungen die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses im Einvernehmen mit der oder dem Verantwortlichen.

§ 29 Verpflichtende Studienfachberatung; zeitliche Vorgaben für das Ablegen der Prüfungen (RO: § 28)

(1) In den ersten beiden Semestern müssen insgesamt mindestens 26 CP erreicht sein. Studierende, welche nicht nach Abschluss des zweiten Semesters die geforderte CP-Anzahl erreicht haben, werden durch das Prüfungsamt aufgefordert, die Studienfachberatung aufzusuchen. Nach dem verpflichtenden Beratungsgespräch erteilt der Prüfungsausschuss den Betroffenen die Auflage, die zum Zeitpunkt der Auflagenerteilung im Verhältnis zum Studienplan noch ausstehenden Modulprüfungen innerhalb einer vom Prüfungsausschuss zu bestimmenden Frist (mindestens zwei Semester) zu erbringen. Die Nichterfüllung der Auflage hat den Verlust des Prüfungsanspruches im Masterstudiengang Physik zur Folge. Hierauf ist bei der Auflagenerteilung hinzuweisen. Sofern die oder der Betroffene gemäß Abs. 2 rechtzeitig glaubhaft macht, aus wichtigem Grund an der Auflagenerteilung gehindert gewesen zu sein, verlängert der Prüfungsausschuss die Frist für die Erfüllung der Auflage um mindestens ein weiteres Semester. Im Falle des erstmaligen Nichterscheins zum Beratungsgespräch wird zeitnah erneut zum Beratungsgespräch geladen. Bleibt die oder der Studierende dem Beratungsgespräch erneut fern, finden die Sätze 3 bis 5 Anwendung, ohne dass wiederholt zu einem Beratungsgespräch eingeladen wird.

(2) Die für die die Erreichung der geforderten CP-Anzahl nach Abs. 1 gesetzte Frist ist auf Antrag der oder des Studierenden zu verlängern, wenn die Verzögerung von der Johann Wolfgang Goethe-Universität zu vertreten ist oder die oder der Studierende infolge schwerwiegender Umstände nicht in der Lage war, die Frist einzuhalten. Bei der Einhaltung von Fristen werden Verlängerungen und Unterbrechungen von Studienzeiten nicht berücksichtigt, soweit sie

1. durch genehmigte Urlaubssemester;

2. durch Mitwirkung als ernannte oder gewählte Vertreterin oder ernannter oder gewählter Vertreter in der akademischen oder studentischen Selbstverwaltung;
3. durch Krankheit, eine Behinderung oder chronische Erkrankung oder aus einem anderen von der oder dem Studierenden nicht zu vertretenden Grund;
4. durch Mutterschutz oder Elternzeit;
5. durch die notwendige Betreuung eines Kindes bis zum vollendeten 14. Lebensjahr oder der Pflege einer oder eines nahen Angehörigen (Kinder, Eltern, Großeltern, Ehe- und Lebenspartner) mit Zuordnung zu einer Pflegestufe nach § 15 Abs. 1 des Elften Buches Sozialgesetzbuch;
6. durch Angehörigkeit zu einem A-, B-, C- oder D/C-Kader der Spitzensportverbände

bedingt waren. Im Falle der Nummer 4 ist mindestens die Inanspruchnahme der Fristen entsprechend § 3 Abs. 2 und § 6 Abs. 1 des Mutterschutzgesetzes (MuSchG) und sind die Regelungen zur Elternzeit in §§ 15 und 16 des Bundeselterngeld- und Elternzeitgesetzes (BEEG) entsprechend zu berücksichtigen. Ferner bleibt ein ordnungsgemäßes Auslandsstudium von bis zu zwei Semestern unberücksichtigt. Der Antrag soll zu dem Zeitpunkt gestellt werden, an dem die oder der Studierende erkennt, dass eine Fristverlängerung erforderlich wird. Der Antrag ist grundsätzlich vor Ablauf der Frist zu stellen. Die Pflicht zur Erbringung der Nachweise obliegt der oder dem Studierenden; sie sind zusammen mit dem Antrag einzureichen. Bei Krankheit ist ein ärztliches Attest vorzulegen. § 27 Abs. 2 Satz 4 gilt entsprechend. In Zweifelsfällen kann ein amtsärztliches Attest verlangt werden. Über den Antrag auf Verlängerung der Frist entscheidet der Prüfungsausschuss.

§ 30 Täuschung und Ordnungsverstoß (RO: § 29)

(1) Versucht die oder der Studierende das Ergebnis ihrer oder seiner Prüfungs- oder Studienleistung durch Täuschung oder durch Benutzung nicht zugelassener Hilfsmittel zu beeinflussen, gilt die Prüfungs- oder Studienleistung mit „nicht ausreichend“ (5,0) gewertet. Der Versuch einer Täuschung liegt insbesondere auch dann vor, wenn die oder der Studierende nicht zugelassene Hilfsmittel in den Prüfungsraum mitführt oder eine falsche Erklärung nach § 18 Abs. 7, § 34 Abs. 8, § 37 Abs. 5 oder § 39 Abs. 15 abgegeben hat oder wenn sie oder er ein und dieselbe Arbeit (oder Teile davon) mehr als einmal als Prüfungs- oder Studienleistung eingereicht hat.

(2) Eine Studierende oder ein Studierender, die oder der aktiv an einem Täuschungsversuch mitwirkt, kann von der jeweiligen Prüferin oder dem jeweiligen Prüfer beziehungsweise von der Aufsichtsführenden oder dem Aufsichtsführenden von der Fortsetzung der jeweiligen Prüfung ausgeschlossen werden; in diesem Fall gilt die betreffende Prüfungs- oder Studienleistung als mit „nicht ausreichend“ (5,0) gewertet.

(3) Beim Vorliegen einer besonders schweren Täuschung, insbesondere bei wiederholter Täuschung oder einer Täuschung unter Beifügung einer schriftlichen Erklärung der oder des Studierenden über die selbstständige Anfertigung der Arbeit ohne unerlaubte Hilfsmittel, kann der Prüfungsausschuss den Ausschluss von der Wiederholung der Prüfung und der Erbringung weiterer Studienleistungen beschließen, so dass der Prüfungsanspruch im Masterstudiengang Physik erlischt. Die Schwere der Täuschung ist anhand der von der Studierenden oder dem Studierenden aufgewandten Täuschungsenergie, wie organisiertes Zusammenwirken oder Verwendung technischer Hilfsmittel, wie Funkgeräte und Mobiltelefone und der durch die Täuschung verursachten Beeinträchtigung der Chancengleichheit zu werten.

(4) Eine Studierende oder ein Studierender, die oder der den ordnungsgemäßen Ablauf der Prüfung stört, kann von der jeweiligen Prüferin oder dem jeweiligen Prüfer oder von der oder dem Aufsichtsführenden in der Regel nach einer Abmahnung von der Fortsetzung der Prüfungsleistung ausgeschlossen werden; in diesem Fall gilt die betreffende Prüfungsleistung als mit „nicht ausreichend“ (5,0) gewertet. Abs. 3 Satz 1 findet entsprechende Anwendung.

(5) Hat eine Studierende oder ein Studierender durch schuldhaftes Verhalten die Teilnahme an einer Prüfung zu Unrecht herbeigeführt, kann der Prüfungsausschuss entscheiden, dass die betreffende Prüfungsleistung als nicht bestanden („nicht ausreichend“ (5,0)) gilt.

(6) Die oder der Studierende kann innerhalb einer Frist von vier Wochen schriftlich verlangen, dass Entscheidungen nach Absätzen 1 bis 5 vom Prüfungsausschuss überprüft werden.

(7) Belastende Entscheidungen des Prüfungsausschusses sind der oder dem Studierenden unverzüglich schriftlich mitzuteilen, zu begründen und mit einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen.

(8) Für Hausarbeiten, schriftliche Referate und die Masterarbeit gelten die fachspezifisch festgelegten Zitierregeln für das Anfertigen wissenschaftlicher Arbeiten. Bei Nichtbeachtung ist ein Täuschungsversuch zu prüfen.

(9) Um einen Verdacht wissenschaftlichen Fehlverhaltens überprüfen zu können, kann der Prüfungsausschuss beschließen, dass nicht unter Aufsicht zu erbringende schriftliche Prüfungs- und/oder Studienleistungen auch in elektronischer Form eingereicht werden müssen.

§ 31 Mängel im Prüfungsverfahren (RO: § 30)

(1) Erweist sich, dass das Verfahren einer mündlichen oder einer schriftlichen Prüfungsleistung mit Mängeln behaftet war, die das Prüfungsergebnis beeinflusst haben, wird auf Antrag einer oder eines Studierenden oder von Amts wegen durch den Prüfungsausschuss angeordnet, dass von einer oder einem bestimmten Studierenden die Prüfungsleistung wiederholt wird. Die Mängel müssen bei einer schriftlichen Prüfungsleistung noch während der Prüfungssituation gegenüber der Aufsicht und bei mündlichen Prüfungen unverzüglich nach der Prüfung bei der beziehungsweise dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses beziehungsweise bei der Prüferin beziehungsweise dem Prüfer gerügt werden. Hält die oder der Studierende bei einer schriftlichen Prüfungsleistung die von der Aufsicht getroffenen Abhilfemaßnahmen nicht für ausreichend, muss sie oder er die Rüge unverzüglich nach der Prüfung bei der beziehungsweise dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses geltend machen.

(2) Sechs Monate nach Abschluss der Prüfungsleistung dürfen von Amts wegen Anordnungen nach Abs. 1 nicht mehr getroffen werden.

§ 32 Anerkennung und Anrechnung von Leistungen (RO: § 31)

(1) Studienzeiten, Studienleistungen und Prüfungsleistungen werden ohne Gleichwertigkeitsprüfung angerechnet, wenn sie an einer Hochschule in Deutschland in dem gleichen Studiengang erbracht wurden, der Studiengang akkreditiert ist und bei den Modulen hinsichtlich der erreichten Qualifikationsziele keine wesentlichen Unterschiede bestehen. Kann der Prüfungsausschuss einen wesentlichen Unterschied nicht nachweisen, sind die Studienzeiten, Studienleistungen und Prüfungsleistungen anzurechnen.

(2) Studienzeiten, Studienleistungen und Prüfungsleistungen aus anderen Studiengängen werden angerechnet, sofern keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der erworbenen Kompetenzen bestehen. Bei dieser Anrechnung ist kein schematischer Vergleich, sondern eine Gesamtbetrachtung und Gesamtbewertung von Inhalt, Umfang und Anforderungen der Studien- und Prüfungsleistungen unter besonderer Berücksichtigung der erreichten Qualifikationsziele vorzunehmen. Die Beweislast für die fehlende Gleichwertigkeit trägt der Prüfungsausschuss. Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(3) Abs. 2 findet entsprechende Anwendung für die Anerkennung von Studienzeiten, Studienleistungen und Prüfungsleistungen in staatlich anerkannten Fernstudien, an anderen Bildungseinrichtungen, insbesondere an staatlichen oder staatlich anerkannten Berufsakademien, für multimedial gestützte Studien- und Prüfungsleistungen sowie für von Schülerinnen und Schülern auf der Grundlage von § 54 Abs. 5 HHG erbrachte Studien- und Prüfungsleistungen.

(4) Für die Anrechnung von Leistungen, die an ausländischen Hochschulen erbracht wurden, gilt Abs. 2 ebenfalls entsprechend. Bei der Anrechnung sind die von der Kultusministerkonferenz und der Hochschulrektorenkonferenz gebilligten Äquivalenzvereinbarungen sowie Absprachen im Rahmen von Hochschulpartnerschaftsverträgen zu beachten. Soweit Äquivalenzvereinbarungen nicht vorliegen, entscheidet der Prüfungsausschuss. Bei Zweifeln an der Gleichwertigkeit ist die Zentralstelle für ausländisches Bildungswesen zu hören.

(5) Bei obligatorischem oder empfohlenem Auslandsstudium soll die oder der Studierende vor Beginn des Auslandsstudiums mit der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses oder einer oder einem hierzu Beauftragten ein Gespräch über die Anerkennungsfähigkeit von Studien- und Prüfungsleistungen führen.

(6) Abschlussarbeiten (z.B. Masterarbeiten, Diplomarbeiten, Staatsexamensarbeiten), welche Studierende außerhalb des aktuellen Masterstudiengangs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität bereits erfolgreich erbracht haben, werden nicht angerechnet. Weiterhin ist eine mehrfache Anrechnung ein- und derselben Leistung im selben Masterstudiengang Physik nicht möglich.

(7) Studien- und Prüfungsleistungen aus einem Bachelorstudiengang können in der Regel nicht für den Masterstudiengang angerechnet werden.

(8) Werden Prüfungsleistungen angerechnet, sind die Noten – soweit die Notensysteme vergleichbar sind – zu übernehmen und in die Berechnung der Gesamtnote einzubeziehen. Bei unvergleichbaren Notensystemen wird der Vermerk „bestanden“ aufgenommen. Angerechnete Leistungen werden in der Regel mit Angabe der Hochschule, in der sie erworben wurden, im Abschlussdokument gekennzeichnet.

(9) Die Antragstellerin oder der Antragsteller legt dem Prüfungsausschuss alle die für die Anrechnung beziehungsweise Anerkennung erforderlichen Unterlagen vor, aus denen die Bewertung, die CP und die Zeitpunkte sämtlicher Prüfungsleistungen hervorgehen, denen sie oder er sich in einem anderen Studiengang oder an anderen Hochschulen bisher unterzogen hat. Aus den Unterlagen muss sich auch ergeben, welche Prüfungen und Studienleistungen nicht bestanden oder wiederholt wurden. Der Prüfungsausschuss kann die Vorlage weiterer Unterlagen, wie die rechtlich verbindlichen Modulbeschreibungen der anzuerkennenden Module, verlangen.

(10) Fehlversuche in anderen Studiengängen oder in Studiengängen an anderen Hochschulen werden angerechnet, sofern sie im Falle ihres Bestehens angerechnet worden wären.

(11) Die Anrechnung und Anerkennung von Prüfungsleistungen, die vor mehr als fünf Jahren erbracht wurden, kann in Einzelfällen abgelehnt werden; die Entscheidung kann mit der Erteilung von Auflagen verbunden werden. Bei Vorliegen der Voraussetzungen der Absätze 1 bis 4 i.V. mit Abs. 9 besteht ein Rechtsanspruch auf Anrechnung. Satz 1 und Absätze 6 und 10 bleiben unberührt.

(12) Entscheidungen mit Allgemeingültigkeit zu Fragen der Anrechnung trifft der Prüfungsausschuss; die Anrechnung im Einzelfall erfolgt durch dessen Vorsitzende oder dessen Vorsitzenden, falls erforderlich unter Heranziehung einer Fachprüferin oder eines Fachprüfers. Unter Berücksichtigung der Anrechnung setzt sie oder er ein Fachsemester fest.

(13) Soweit Anrechnungen von Studien- oder Prüfungsleistungen erfolgen, die nicht mit CP versehen sind, sind entsprechende Äquivalente zu errechnen und auf dem Studienkonto entsprechend zu vermerken.

(14) Sofern Anrechnungen vorgenommen werden, können diese mit Auflagen zu nachzuholenden Studien- oder Prüfungsleistungen verbunden werden. Auflagen und eventuelle Fristen zur Aufлагenerfüllung sind der Antragstellerin oder dem Antragsteller schriftlich mitzuteilen. Die Mitteilung ist mit einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen.

§ 33 Anrechnung von außerhalb einer Hochschule erworbenen Kompetenzen (RO: § 32)

Für Kenntnisse und Fähigkeiten, die vor Studienbeginn oder während des Studiums außerhalb einer Hochschule erworben wurden und die in Niveau und Lernergebnis Modulen des Studiums äquivalent sind, können die CP

der entsprechenden Module auf Antrag angerechnet werden. Die Anrechnung erfolgt individuell durch den Prüfungsausschuss auf Vorschlag der oder des Modulverantwortlichen. Voraussetzung sind schriftliche Nachweise (z.B. Zeugnisse, Zertifikate) über den Umfang, Inhalt und die erbrachten Leistungen. Insgesamt dürfen nicht mehr als 50 % der im Studiengang erforderlichen CP durch Anrechnung ersetzt werden. Die Anrechnung der CP erfolgt ohne Note. Dies wird im Zeugnis entsprechend ausgewiesen.

Abschnitt VI: Durchführungen der Modulprüfungen

§ 34 Modulprüfungen (RO: § 33)

(1) Modulprüfungen werden studienbegleitend erbracht. Mit ihnen wird das jeweilige Modul abgeschlossen. Sie sind Prüfungsereignisse, welche begrenzt wiederholbar sind und in der Regel mit Noten bewertet werden.

(2) Module schließen in der Regel mit einer einzigen Modulprüfung ab, welche auch im zeitlichen Zusammenhang zu einer der Lehrveranstaltungen des Moduls durchgeführt werden kann (veranstaltungsbezogene Modulprüfung). Nur in den Modulen DIDA1 und DIDA2 erfolgt die Modulprüfung kumulativ.

(3) Durch die Modulprüfung soll die oder der Studierende nachweisen, dass sie oder er die Inhalte und Methoden des Moduls in den wesentlichen Zusammenhängen beherrscht und die erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten anwenden kann. Gegenstand der Modulprüfungen sind grundsätzlich die in den Modulbeschreibungen festgelegten Inhalte der Lehrveranstaltungen des jeweiligen Moduls. Bei veranstaltungsbezogenen Modulprüfungen werden die übergeordneten Qualifikationsziele des Moduls mitgeprüft.

(4) Bei kumulativen Modulprüfungen ist für das Bestehen des Moduls das Bestehen sämtlicher Modulteilprüfungen notwendig.

(5) Die jeweilige Prüfungsform für die Modulprüfung oder Modulteilprüfung ergibt sich aus der Modulbeschreibung. Schriftliche Prüfungen erfolgen in der Form von:

- Klausuren;
- Hausarbeiten;
- Projektarbeiten.

Mündliche Prüfungen erfolgen in der Form von:

- Einzelprüfungen.

Weitere Prüfungsformen sind:

- Seminarvorträge;
- Referate;
- Präsentationen.

(6) Die Form und Dauer der Modulprüfungen und gegebenenfalls der Modulteilprüfungen sind in den Modulbeschreibungen geregelt. Sind in der Modulbeschreibung mehrere Varianten von Prüfungsformen vorgesehen, wird die Prüfungsform des jeweiligen Prüfungstermins von der oder dem Prüfenden festgelegt und den Studierenden zu Beginn der Lehrveranstaltungen des Moduls, spätestens aber bei der Bekanntgabe des Prüfungstermins, mitgeteilt.

(7) Prüfungssprache ist Deutsch. Einzelne schriftliche oder mündliche Prüfungen können im gegenseitigen Einvernehmen aller an der Prüfung Beteiligten in einer Fremdsprache abgenommen werden. Näheres regelt die Modulbeschreibung.

(8) Ohne Aufsicht angefertigte schriftliche Arbeiten (beispielsweise Hausarbeiten) sind von der oder dem Studierenden nach den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis anzufertigen. Die oder der Studierende hat bei der Abgabe der Arbeit schriftlich zu versichern, dass sie oder er diese selbstständig verfasst und alle von ihr oder ihm benutzten Quellen und Hilfsmittel in der Arbeit angegeben hat. Ferner ist zu erklären, dass die Arbeit noch nicht – auch nicht auszugsweise – in einem anderen Studiengang als Studien- oder Prüfungsleistung verwendet wurde.

(9) Teilnehmerinnen und Teilnehmer an Modulprüfungen müssen sich durch Vorlage eines amtlichen Lichtbildausweises oder der Goethecard ausweisen können.

(10) Die Prüferin oder der Prüfer entscheidet darüber, ob und welche Hilfsmittel bei einer Modulprüfung benutzt werden dürfen. Die zugelassenen Hilfsmittel sind rechtzeitig vor der Prüfung bekannt zu geben.

§ 35 Mündliche Prüfungsleistungen (RO: § 34)

(1) Mündliche Prüfungen werden von der oder dem Prüfenden in Gegenwart einer oder eines Beisitzenden als Einzelprüfung abgehalten.

(2) Die Dauer der mündlichen Prüfungen liegt zwischen mindestens 15 Minuten und höchstens 60 Minuten pro zu prüfender Studierender oder zu prüfendem Studierenden. Die Dauer der jeweiligen Modulprüfung ergibt sich aus der Modulbeschreibung.

(3) Die wesentlichen Gegenstände und Ergebnisse der mündlichen Prüfung sind von der oder dem Beisitzenden in einem Protokoll festzuhalten. Das Prüfungsprotokoll ist von der Prüferin oder dem Prüfer und der oder dem Beisitzenden zu unterzeichnen. Vor der Festsetzung der Note ist die oder der Beisitzende unter Ausschluss des Prüflings sowie der Öffentlichkeit zu hören. Das Protokoll ist dem Prüfungsamt unverzüglich zuzuleiten.

(4) Das Ergebnis der mündlichen Prüfung ist der oder dem Studierenden im Anschluss an die mündliche Prüfung bekannt zu geben und bei Nichtbestehen oder auf unverzüglich geäußerten Wunsch näher zu begründen; die gegebene Begründung ist in das Protokoll aufzunehmen.

(5) Mündliche Prüfungen sind für Studierende, die die gleiche Prüfung ablegen sollen, hochschulöffentlich. Die oder der zu prüfende Studierende kann der Zulassung der Öffentlichkeit widersprechen. Die Zulassung der Öffentlichkeit erstreckt sich nicht auf die Beratung und Bekanntgabe des Prüfungsergebnisses an die oder den zu prüfenden Studierenden. Sie kann darüber hinaus aus Kapazitätsgründen begrenzt werden. Zur Überprüfung der in Satz 1 genannten Gründe kann die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses entsprechende Nachweise verlangen.

§ 36 Klausurarbeiten (RO: § 35)

(1) Klausurarbeiten beinhalten die Beantwortung einer Aufgabenstellung oder mehrerer Aufgabenstellungen oder Fragen. In einer Klausurarbeit soll die oder der Studierende nachweisen, dass sie oder er eigenständig in begrenzter Zeit und unter Aufsicht mit begrenzten Hilfsmitteln Aufgaben lösen und auf Basis des notwendigen Grundlagenwissens beziehungsweise unter Anwendung der geläufigen Methoden des Faches ein Problem erkennen und Wege zu einer Lösung finden kann.

(2) „Multiple-Choice“-Fragen dürfen bei Klausuren grundsätzlich bis zu 25 % der zu erreichenden Gesamtpunktzahl ausmachen.

(3) Für Klausuren, bei denen mehr als 25 % der zu erreichenden Gesamtpunkte durch „Multiple-Choice“-Fragen zu erlangen sind, sind bei der Erstellung des Fragenkatalogs und der Bewertung der Klausuren folgende Regelungen zu beachten:

- Die Prüfungsfragen müssen zuverlässige Prüfungsergebnisse ermöglichen. Die Prüfungsfragen müssen zweifelsfrei verstehbar, eindeutig beantwortbar und dazu geeignet sein, den zu überprüfenden Kenntnis- und Wissensstand der Studierenden eindeutig festzustellen. Insbesondere darf neben derjenigen Lösung, die in der Bewertung als richtig vorgegeben worden ist, nicht auch eine andere Lösung vertretbar sein. Der Prüfungsausschuss hat dies durch ein geeignetes Verfahren sicherzustellen;
- Erweisen sich die Aufgaben in diesem Sinne als ungeeignet, müssen sie von der Bewertung ausgeschlossen werden. Entsprechen Antworten nicht dem vorgegebenen Lösungsmuster, sind aber dennoch vertretbar, werden sie zu Gunsten der oder des Studierenden anerkannt. Maluspunkte für falsche Antworten sind unzulässig;
- Der Fragen- und Antwortkatalog ist von mindestens zwei Prüfungsberechtigten zu entwerfen, wobei eine oder einer der Gruppe der Professorinnen und Professoren angehören muss;
- Den Studierenden sind die Bestehensvoraussetzungen und das Bewertungsschema für die Klausur spätestens mit der Aufgabenstellung bekannt zu geben.

Eine Klausur, die mehr als 25 % „Multiple-Choice“-Fragen enthält, ist bestanden, wenn die oder der Studierende mindestens 50 % (Bestehensgrenze) der gestellten Prüfungsfragen zutreffend beantwortet hat oder wenn die Zahl der von der Studierenden oder dem Studierenden zutreffend beantworteten Fragen die durchschnittliche Prüfungsleistung aller Prüfungsteilnehmerinnen und Prüfungsteilnehmer um nicht mehr als 22 % unterschreitet, die erstmals an der Prüfung teilgenommen haben.

Klausuren, bei denen mehr als 25 % der zu erreichenden Gesamtpunkte durch „Multiple-Choice“-Fragen zu erlangen sind, bedürfen der Zustimmung des Prüfungsausschusses.

(4) Erscheint die oder der Studierende verspätet zur Klausur, so kann sie oder er die versäumte Zeit nicht nachholen. Der Prüfungsraum kann nur mit Erlaubnis der aufsichtführenden Person verlassen werden.

(5) Die eine Klausur beaufsichtigende Person hat über jede Klausur ein Kurzprotokoll zu fertigen. In diesem sind alle Vorkommnisse einzutragen, welche für die Feststellung des Prüfungsergebnisses von Belang sind, insbesondere Vorkommnisse nach § 27 und § 30.

(6) Die Bearbeitungszeit für die Klausurarbeiten soll sich am Umfang des zu prüfenden Moduls beziehungsweise im Fall von Modulteilprüfungen am Umfang des zu prüfenden Modulteils orientieren. Sie beträgt für Klausurarbeiten mindestens 45 Minuten und höchstens 120 Minuten. Die konkrete Dauer ist in den jeweiligen Modulbeschreibungen festgelegt.

(7) Die Klausurarbeiten werden in der Regel von einer oder einem Prüfenden bewertet. Sie sind im Falle des Nichtbestehens ihrer letztmaligen Wiederholung von einer zweiten Prüferin oder einem zweiten Prüfer zu bewerten. Die Bewertung ist schriftlich zu begründen. Bei Abweichung der Noten errechnet sich die Note der Klausurarbeit aus dem Durchschnitt der beiden Noten. Das Bewertungsverfahren der Klausuren soll vier Wochen nicht überschreiten.

(8) Multimedial gestützte Prüfungsklausuren („e-Klausuren“) sind zulässig, sofern sie dazu geeignet sind, den Prüfungszweck zu erfüllen. Sie dürfen ausschließlich unter Einsatz von in der Verwaltung der Universität stehender oder vom zuständigen Prüfungsamt im Einvernehmen mit dem HRZ für diesen Zweck freigegebener DV-Systeme erbracht werden. Dabei ist die eindeutige Identifizierbarkeit der elektronischen Daten zu gewährleisten. Die Daten müssen unverwechselbar und dauerhaft den Prüflingen zugeordnet werden können. Die Prüfung ist in Anwesenheit einer fachlich sachkundigen Protokollführerin oder eines fachlich sachkundigen Protokollführers durchzuführen. Über den Prüfungsverlauf ist eine Niederschrift anzufertigen, in die mindestens die Namen der Protokollführerin oder des Protokollführers sowie der Prüflinge, Beginn und Ende der Prüfung sowie eventuelle besondere Vorkommnisse aufzunehmen sind. Für die Einsichtnahme in die multimedial gestützte Prüfung sowie in die Prüfungsergebnisse gilt § 50. Die Aufgabenstellung einschließlich einer Musterlösung, das Bewer-

tungsschema, die einzelnen Prüfungsergebnisse sowie die Niederschrift sind gemäß den gesetzlichen Bestimmungen zu archivieren.

§ 37 Hausarbeiten und sonstige schriftliche Ausarbeitungen (RO: § 36)

(1) Mit einer schriftlichen Hausarbeit soll die oder der Studierende zeigen, dass sie oder er in der Lage ist, ein Problem aus einem Fachgebiet selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Sie muss Bestandteil eines Moduls sein.

(2) Eine Hausarbeit kann als Gruppenarbeit zugelassen werden, wenn der als Prüfungsleistung zu bewertende Beitrag der Einzelnen aufgrund objektiver Kriterien erkennbar ist.

(3) Der oder dem Studierenden kann Gelegenheit gegeben werden, ein Thema vorzuschlagen. Die Ausgabe des Themas erfolgt durch die oder den Prüfenden, die oder der die Bearbeitungsdauer der Hausarbeit dokumentiert.

(4) Hausarbeiten sollen mindestens zwei und längstens vier Wochen Bearbeitungszeit (Vollzeit, d.h. 2 bis 5 CP Workload) umfassen. Die jeweilige Bearbeitungsdauer ist in der Modulbeschreibung festgelegt. Die Abgabefristen für die Hausarbeiten werden von den Prüfenden festgelegt und dokumentiert.

(5) Die Hausarbeit ist innerhalb der festgelegten Bearbeitungsfrist in einfacher Ausfertigung mit einer Erklärung gemäß § 34 Abs. 8 versehen, bei der Prüferin oder dem Prüfer einzureichen; im Falle des Postwegs ist der Poststempel entscheidend. Die Abgabe der Hausarbeit ist durch die oder den Prüfenden aktenkundig zu machen.

(6) Die Bewertung der Hausarbeit durch die Prüferin oder den Prüfer soll binnen sechs Wochen nach Einreichung erfolgt sein; die Beurteilung ist schriftlich zu begründen. Im Übrigen findet § 36 Abs. 7 entsprechende Anwendung.

(7) Eine Studierende oder ein Studierender, deren oder dessen Hausarbeit mit „nicht ausreichend“ (5,0) bewertet worden ist, kann bei der oder dem Prüfenden die Nachbesserung der Hausarbeit beantragen. Dies gilt nicht, wenn die Bewertung mit „nicht ausreichend“ (5,0) auf § 27 oder auf § 30 beruht. Die oder der Prüfer setzt eine Frist für die Nachbesserung der Hausarbeit. Bei der Entscheidung über die nachgebesserte Hausarbeit wird lediglich darüber entschieden, ob die Hausarbeit mit der Note 4,0 oder schlechter bewertet wird. Wird die Frist für die Abgabe der nachgebesserten Hausarbeit nicht eingehalten, wird die Hausarbeit endgültig mit der Note „nicht ausreichend“ (5,0) bewertet.

(8) Für die sonstigen schriftlichen Ausarbeitungen gelten die Absätze 1 bis 6 entsprechend.

§ 38 Projektarbeiten (RO: § 38)

(1) Durch Projektarbeiten soll die Fähigkeit zur Entwicklung, Durchsetzung und Präsentation von Konzepten nachgewiesen werden. Hierbei sollen die Studierenden nachweisen, dass sie an einer größeren Aufgabe Ziele definieren sowie Lösungsansätze und Konzepte erarbeiten können.

(2) Die Dauer der Projektarbeiten ist in der Modulbeschreibung geregelt.

(3) Bei einer in Form einer Teamarbeit erbrachten Projektarbeit muss der Beitrag der oder des einzelnen Studierenden deutlich erkennbar und bewertbar sein und die Anforderungen nach Abs. 1 erfüllen.

§ 39 Masterarbeit (RO: §§ 40, 41)

(1) Die Masterarbeit ist obligatorischer Bestandteil des Masterstudienganges. Sie bildet ein eigenständiges Modul.

(2) Die Masterarbeit soll zeigen, dass die oder der Studierende in der Lage ist, innerhalb einer vorgegebenen Frist entsprechend den Zielen gemäß § 2 und § 6 ein Thema umfassend und vertieft zu bearbeiten. Das Thema muss so beschaffen sein, dass es innerhalb der vorgesehenen Frist bearbeitet werden kann.

- (3) Der Bearbeitungsumfang der Masterarbeit beträgt 30 CP; dies entspricht einer Bearbeitungszeit von 6 Monaten.
- (4) Um die Zulassung zur Masterarbeit beantragen zu können, muss das Modul PEXFL abgeschlossen sein.
- (5) Die Betreuung der Masterarbeit wird von einer Person aus dem Kreis der Prüfungsberechtigten gemäß § 24 übernommen. Diese hat die Pflicht, die Studierende oder den Studierenden bei der Anfertigung der Masterarbeit anzuleiten und sich regelmäßig über den Fortgang der Arbeit zu informieren. Die Betreuerin oder der Betreuer hat sicherzustellen, dass gegebenenfalls die für die Durchführung der Masterarbeit erforderliche apparative Ausstattung zur Verfügung steht. Die Betreuerin oder der Betreuer ist in der Regel Erstgutachterin oder Erstgutachter der Masterarbeit.
- (6) Mit Zustimmung der oder des Vorsitzenden des Prüfungsausschusses kann die Masterarbeit auch in einer Einrichtung außerhalb der Johann Wolfgang Goethe-Universität angefertigt werden. In diesem Fall muss das Thema in Absprache mit einem Mitglied der Professorengruppe des Fachbereichs Physik gestellt werden.
- (7) Das Thema der Masterarbeit ist mit der Betreuerin oder dem Betreuer zu vereinbaren und bei der Anmeldung der Masterarbeit der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses mitzuteilen. Findet die Studierende oder der Studierende keine Betreuerin und keinen Betreuer, so sorgt die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses auf Antrag der oder des Studierenden dafür, dass diese oder dieser rechtzeitig ein Thema für die Masterarbeit und die erforderliche Betreuung erhält.
- (8) Die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses entscheidet über die Zulassung zur Masterarbeit.
- (9) Die Ausgabe des Themas erfolgt durch die Vorsitzende oder den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses. Der Zeitpunkt der Ausgabe und das Thema sind beim Prüfungsamt aktenkundig zu machen. Die Masterarbeit darf vor der aktenkundigen Ausgabe des Themas nicht bearbeitet werden.
- (10) Die Masterarbeit ist in deutscher Sprache abzufassen. Mit Zustimmung der oder des Vorsitzenden des Prüfungsausschusses kann sie in einer weiteren Fremdsprache angefertigt werden. Für die Anfertigung der Masterarbeit in englischer Sprache bedarf es dieser Zustimmung nicht. Die Anfertigung der Masterarbeit in einer Fremdsprache (mit Ausnahme Englisch) ist spätestens mit der Anmeldung der Masterarbeit beim Prüfungsausschuss zu beantragen. Die Zustimmung zur Anfertigung in der gewählten Fremdsprache wird im Rahmen der Themenvergabe erteilt, sofern mit der Anmeldung der Masterarbeit die schriftliche Einverständniserklärung der Betreuerin oder des Betreuers vorliegt und die Möglichkeit zur Bestellung einer Zweitgutachterin oder eines Zweitgutachters mit hinreichender sprachlicher Qualifikation in der gewählten Fremdsprache besteht. Falls die Masterarbeit in einer anderen Sprache als Deutsch abgefasst wird, ist ihr eine Zusammenfassung in deutscher Sprache beizufügen.
- (11) Das gestellte Thema kann nur einmal und nur innerhalb des ersten Drittels der Bearbeitungszeit zurückgegeben werden. Das neu gestellte Thema muss sich inhaltlich von dem zurückgegebenen Thema unterscheiden. Wird infolge des Rücktritts gemäß Abs. 12 Satz 3 ein neues Thema für die Masterarbeit ausgegeben, so ist die Rückgabe dieses Themas ausgeschlossen.
- (12) Kann der Abgabetermin aus von der oder dem Studierenden nicht zu vertretenden Gründen (z.B. Erkrankung der oder des Studierenden beziehungsweise eines von ihr oder ihm zu versorgenden Kindes), nicht eingehalten werden, so verlängert die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses die Bearbeitungszeit, wenn die oder der Studierende dies vor dem Ablieferungstermin beantragt. Maximal kann eine Verlängerung um 50 % der Bearbeitungszeit eingeräumt werden. Dauert die Verhinderung länger, so kann die oder der Studierende von der Prüfungsleistung zurücktreten.
- (13) Die Masterarbeit ist fristgemäß im Prüfungsamt einzureichen. Der Zeitpunkt des Eingangs ist aktenkundig zu machen. Im Falle des Postwegs ist der Poststempel entscheidend. Wird die Masterarbeit nicht fristgemäß abgeliefert, gilt sie als mit „nicht ausreichend“ (5,0) gewertet.

(14) Die Masterarbeit ist in drei schriftlichen (gebundenen) Exemplaren und in Form eines pdf-Dokumentes einzureichen. Wird die Masterarbeit innerhalb der Abgabefrist nicht in der vorgeschriebenen Form abgegeben, gilt sie als mit „nicht ausreichend“ (5,0) gewertet.

(15) Die Masterarbeit ist nach den Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis zu verfassen. Insbesondere sind alle Stellen, Bilder und Zeichnungen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Texten entnommen wurden, als solche kenntlich zu machen. Die Masterarbeit ist mit einer Erklärung der oder des Studierenden zu versehen, dass sie oder er die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst hat. Ferner ist zu erklären, dass die Masterarbeit nicht, auch nicht auszugsweise, für eine andere Prüfung oder Studienleistung verwendet worden ist.

(16) Der Prüfungsausschuss leitet die Masterarbeit der Betreuerin oder dem Betreuer als Erstgutachterin oder Erstgutachter zur Bewertung gemäß § 40 Abs. 3 zu. Gleichzeitig bestellt er eine weitere Prüferin oder einen weiteren Prüfer aus dem Kreis der Prüfungsberechtigten gemäß § 24 zur Zweitbewertung und leitet ihr oder ihm die Arbeit ebenfalls zur Bewertung zu. Mindestens eine oder einer der Prüfenden soll der Gruppe der Professorinnen und Professoren des Fachbereichs Physik angehören. Die Zweitgutachterin oder der Zweitgutachter kann sich bei Übereinstimmung der Bewertung auf eine Mitzeichnung des Gutachtens der Erstgutachterin oder des Erstgutachters beschränken. Die Bewertung soll von den Prüfenden unverzüglich erfolgen; sie soll spätestens sechs Wochen nach Einreichung der Arbeit vorliegen. Bei unterschiedlicher Bewertung der Masterarbeit durch die beiden Prüfenden wird die Note für die Masterarbeit entsprechend § 40 Abs. 5 festgesetzt.

(17) Die Masterarbeit wird binnen weiterer zwei Wochen von einer oder einem weiteren nach § 24 Prüfungsberechtigten bewertet, wenn die Beurteilungen der beiden Prüfenden um mehr als 2,0 voneinander abweichen oder eine oder einer der beiden Prüfenden die Masterarbeit als „nicht ausreichend“ (5,0) beurteilt hat. Die Note wird in diesem Fall aus den Noten der Erstprüferin oder des Erstprüfers, der Zweitprüferin oder des Zweitprüfers und der dritten Prüferin oder des dritten Prüfers gemäß § 40 Abs. 5 gebildet. Bei Vorliegen der Voraussetzungen des § 27 oder § 30 findet Satz 1 keine Anwendung.

Abschnitt VII: Bewertung der Studien- und Prüfungsleistungen; Bildung der Noten und der Gesamtnote; Nichtbestehen der Gesamtprüfung

§ 40 Bewertung/Benotung der Studien- und Prüfungsleistungen; Bildung der Noten und der Gesamtnote (RO: § 42)

(1) Studienleistungen werden in der Regel nach Maßgabe der Modulbeschreibung und von Abs. 3 benotet, die Noten gehen aber nicht in die Gesamtnote der Masterprüfung ein.

(2) Prüfungsleistungen werden in der Regel benotet und ausnahmsweise nach Maßgabe der Modulbeschreibung mit „bestanden“ oder „nicht bestanden“ bewertet. Die Benotung beziehungsweise Bewertung der Prüfungsleistungen wird von den jeweiligen Prüferinnen und Prüfern vorgenommen. Dabei ist stets die individuelle Leistung der oder des Studierenden zugrunde zu legen.

(3) Für die Benotung der einzelnen Prüfungsleistungen sind folgende Noten zu verwenden:

1	sehr gut	eine hervorragende Leistung;
2	gut	eine Leistung, die erheblich über den durchschnittlichen Anforderungen liegt;
3	befriedigend	eine Leistung, die durchschnittlichen Anforderungen entspricht;

4	ausreichend	eine Leistung, die trotz ihrer Mängel noch den Anforderungen genügt;
5	nicht ausreichend	eine Leistung, die wegen erheblicher Mängel den Anforderungen nicht mehr genügt.

Zur differenzierten Bewertung der Prüfungsleistungen können die Noten um 0,3 auf Zwischenwerte angehoben oder abgesenkt werden; zulässig sind die Noten 1,0; 1,3; 1,7; 2,0; 2,3; 2,7; 3,0; 3,3; 3,7; 4,0 und 5,0.

(4) Bei kumulativen Modulprüfungen errechnet sich die Modulnote als ein nach CP gewichtetes Mittel der Noten für die einzelnen Teilprüfungen. Zur Ermittlung der Note der Modulprüfung werden die Noten der einzelnen Modulteilprüfungen mit den ihnen zugeordneten CP multipliziert und durch die Gesamtzahl der einbezogenen CP dividiert. Bei der Bildung der Modulnote wird nur die erste Dezimalstelle hinter dem Komma berücksichtigt.

(5) Wird die Modulprüfung von zwei oder mehreren Prüfenden unterschiedlich bewertet, errechnet sich die Modulnote aus dem arithmetischen Mittel der Noten der Prüferbewertungen. Bei der Bildung der Modulnote wird nur die erste Dezimalstelle hinter dem Komma berücksichtigt.

(6) Die Prüferinnen und Prüfer können von der rechnerisch ermittelten Note einer Modulprüfung abweichen, wenn dies aufgrund des Gesamteindrucks den Leistungsstand der Studierenden besser entspricht und die Abweichung keinen Einfluss auf das Bestehen hat (Bonusregelung). Hierbei sind insbesondere die während des Semesters in Übungen oder sonstigen Lehrveranstaltungen erbrachten Studienleistungen zu berücksichtigen, dies jedoch maximal bis zu einem Wert von 25 von 100 der Gesamtbewertung der entsprechenden Modulprüfung. Näheres regelt die Modulbeschreibung. Die zur Vergabe von Bonuspunkten führenden Studienleistungen sind spätestens zu Beginn eines Semesters in geeigneter Weise öffentlich bekanntzugeben. Erworbene Bonuspunkte verfallen nach Ablauf jenes Semesters, welches auf das Semester folgt, in welchem der Bonus vergeben worden ist.

(7) Für die Masterprüfung wird eine Gesamtnote über Gruppen von Modulen gebildet. In jeder Gruppe wird, soweit mehrere Module zur Note beitragen, der auf eine Dezimalstelle nach dem Komma gerundete Mittelwert berechnet, wobei die ausgewählten Module mit ihren CP gewichtet werden. Dieser Mittelwert geht dann mit dem für die Gruppe angegebenen Gesamtgewicht in die Endnote ein. Die Gruppen sind

- a) Masterarbeit: das Modul MA. Gesamtgewicht der Gruppe: 60 CP.
- b) Wahl- und Nebenfachbereich: Noten aus bestandenen Wahlpflicht- und Nebenfachmodulen mit einem Umfang von zusammen mindestens 42 CP. Gesamtgewicht der Gruppe: 42 CP.
- c) Wenn der Schwerpunkt *Computational Physics* gewählt wurde, sind anstelle von b) Noten aus bestandenen Pflichtmodulen gemäß Anlage 1b im Umfang von mindestens 30 CP sowie Noten aus bestandenen Wahlpflichtmodulen im Umfang von mindestens 9 CP einzubringen. Das Gesamtgewicht dieser Gruppe beträgt 42 CP. Falls Pflichtmodule gemäß Anlage 1b bereits im Rahmen des Bachelorstudiums absolviert wurden und daher für das Masterstudium anerkannt werden, gehen die Noten der die Pflichtmodule ersetzenden, zusätzlichen Wahlpflichtmodule mit dem CP-Gewicht der ersetzten Pflichtmodule ein.

Im Falle einer Auswahl unter den Wahlpflicht- oder Nebenfachmodulen werden jeweils die besseren Noten für die Endnote berücksichtigt.

(8) Die Gesamtnote einer bestandenen Masterprüfung ergibt sich durch die folgende Abbildung, wobei nur die erste Dezimalstelle hinter dem Komma berücksichtigt wird; alle weiteren Stellen werden ohne Rundung gestrichen:

1,0 bis einschließlich 1,5	sehr gut
1,6 bis einschließlich 2,5	gut
2,6 bis einschließlich 3,5	befriedigend
3,6 bis einschließlich 4,0	ausreichend
über 4,0	nicht ausreichend

(9) Wird eine englischsprachige Übersetzung des Zeugnisses ausgefertigt, werden die Noten für die einzelnen Prüfungsleistungen sowie die Gesamtnote entsprechend folgender Notenskala abgebildet:

1,0 bis einschließlich 1,5	very good
1,6 bis einschließlich 2,5	good
2,6 bis einschließlich 3,5	satisfactory
3,6 bis einschließlich 4,0	sufficient
über 4,0	fail

(10) Bei einer Gesamtnote 1,0 lautet das Gesamturteil „mit Auszeichnung bestanden“. Die englischsprachige Übersetzung von „mit Auszeichnung bestanden“ lautet: „with distinction“.

(11) Zur Transparenz der Gesamtnote wird in das Diploma Supplement eine ECTS-Einstufungstabelle gemäß § 48 aufgenommen.

§ 41 Bestehen und Nichtbestehen von Prüfungen; Notenbekanntgabe (RO: § 43)

(1) Eine aus einer einzigen Prüfungsleistung bestehende Modulprüfung ist bestanden, wenn sie mit der Note „ausreichend“ (4,0) oder besser bewertet worden ist.

(2) Eine aus mehreren Modulteilprüfungen bestehende Modulprüfung (kumulative Modulprüfung) ist nur dann bestanden ist, wenn sämtliche Modulteilprüfungen mit mindestens „ausreichend“ (4,0) bewertet worden sind.

(3) Die Masterprüfung ist bestanden, wenn sämtliche in dieser Ordnung vorgeschriebenen Module erfolgreich erbracht wurden, das heißt die geforderten Studiennachweise vorliegen und die vorgeschriebenen Modulprüfungen einschließlich der Masterarbeit mit mindestens „ausreichend“ (4,0) bewertet worden sind.

(4) Die Ergebnisse sämtlicher Prüfungen werden unverzüglich bekannt gegeben. Der Prüfungsausschuss entscheidet darüber, ob die Notenbekanntgabe anonymisiert hochschulöffentlich durch Aushang und/oder durch das elektronische Prüfungsverwaltungssystem erfolgt, wobei die schutzwürdigen Interessen der Betroffenen zu wahren sind. Wurde eine Modulprüfung endgültig mit „nicht ausreichend“ (5,0) bewertet oder wurde die Masterarbeit schlechter als „ausreichend“ (4,0) bewertet, erhält die oder der Studierende durch die Vorsitzende oder den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses einen schriftlichen, mit einer Rechtsbehelfsbelehrung versehenen, Bescheid, der eine Belehrung darüber enthalten soll, ob und in welcher Frist die Modulprüfung beziehungsweise die Masterarbeit wiederholt werden kann.

§ 42 Zusammenstellung des Prüfungsergebnisses (Transcript of Records) (RO: § 44)

Den Studierenden wird auf Antrag eine Bescheinigung über bestandene Prüfungen in Form einer Datenabschrift (Transcript of Records) in deutscher und englischer Sprache ausgestellt, die mindestens die Modultitel, das Datum der einzelnen Prüfungen und die Noten enthält.

Abschnitt VIII: Wechsel von Wahlpflichtmodulen/Nebenfächern; Wiederholung von Prüfungen; Verlust des Prüfungsanspruchs und endgültiges Nichtbestehen

§ 43 Wechsel von Wahlpflichtmodulen und Nebenfächern (RO: § 45)

(1) Wird ein Wahlpflichtmodul endgültig nicht bestanden, kann in ein neues Wahlpflichtmodul gewechselt werden.

(2) Der Wechsel des Nebenfachs ist möglich, wenn im ursprünglich gewählten Nebenfach die Prüfung noch nicht endgültig nicht bestanden wurde.

§ 44 Wiederholung von Prüfungen; Notenverbesserung (RO: § 46)

(1) Bestandene Prüfungen können nicht wiederholt werden.

(2) Bestandene Modulabschlussprüfungen oder Modulteilprüfungen können einmal zur Notenverbesserung wiederholt werden, wobei die bessere Leistung angerechnet wird. Hierbei dürfen die Modulabschluss- und/oder -teilprüfungen aus maximal zwei Modulen nach Wahl der oder des Studierenden stammen. Der Prüfungsausschuss bestimmt die Bedingungen und die Frist, innerhalb derer die Wiederholung der Prüfungen zur Notenverbesserung zu beantragen und die Wiederholungsprüfungen durchzuführen sind

(3) Alle nicht bestandenen Pflichtmodulprüfungen und Pflichtmodulteilprüfungen müssen wiederholt werden. Bei Modulteilprüfungen ist nur der nicht bestandene Teil zu wiederholen.

(4) Nicht bestandene Modulprüfungen und Modulteilprüfungen können höchstens zweimal wiederholt werden.

(5) Eine nicht bestandene Masterarbeit kann einmal wiederholt werden. Es wird ein anderes Thema ausgegeben. Eine Rückgabe des Themas der Masterarbeit ist im Rahmen einer Wiederholungsprüfung nur zulässig, wenn die oder der Studierende bei der Anfertigung der ersten Masterarbeit von dieser Möglichkeit keinen Gebrauch gemacht hat. Eine wiederholte Rückgabe des Themas ist nicht zulässig.

(6) Fehlversuche derselben oder einer vergleichbaren Modulprüfung eines anderen Studiengangs der Johann Wolfgang Goethe-Universität oder einer anderen deutschen Hochschule sind auf die zulässige Zahl der Wiederholungsprüfungen anzurechnen. Der Prüfungsausschuss kann in besonderen Fällen, insbesondere bei einem Studiengangswechsel, von einer Anrechnung absehen.

(7) Der Prüfungsausschuss kann der oder dem Studierenden vor der Wiederholung einer Modulprüfung Auflagen erteilen.

(8) Die erste Wiederholungsprüfung erfolgt in der Regel vor Beginn der Vorlesungszeit des nächsten Semesters. Sie muss spätestens innerhalb von 15 Monaten abgelegt werden. Die zweite Wiederholungsprüfung muss zum nächstmöglichen Prüfungstermin jeweils nach der nicht bestandenen Wiederholungsprüfung erfolgen. Der Prüfungsausschuss kann Ausnahmen von diesen Fristen genehmigen, wenn die Prüfung dann nicht angeboten wird. Bei einer nichtbestandenen Masterarbeit erfolgt die Wiederholung (Anmeldung) innerhalb eines Jahres nach dem Nichtbestehen.

(9) Für die Wiederholung von schriftlichen Prüfungsleistungen mit Ausnahme der Masterarbeit kann der Prüfungsausschuss eine mündliche Prüfung ansetzen.

(10) Wiederholungsprüfungen sind grundsätzlich nach der Ordnung abzulegen, nach der die Erstprüfung abgelegt wurde.

§ 45 Verlust des Prüfungsanspruchs und endgültiges Nichtbestehen (RO: § 47)

(1) Die Masterprüfung ist endgültig nicht bestanden und der Prüfungsanspruch geht endgültig verloren, wenn

1. eine Modulprüfung nach Ausschöpfen aller Wiederholungsversuche nicht bestanden ist,
2. eine Frist für die Erbringung bestimmter Leistungen gemäß § 29 überschritten worden ist,
3. eine Frist für die Wiederholung einer Modulprüfung gemäß § 44 überschritten wurde,
4. ein schwerwiegender Täuschungsfall oder ein schwerwiegender Ordnungsverstoß gemäß § 30 vorliegt.

(2) Über das endgültige Nichtbestehen der Masterprüfung und dem damit verbundenen Verlust des Prüfungsanspruchs wird ein Bescheid erteilt, der mit einer Rechtsbehelfsbelehrung versehen ist.

(3) Hat die oder der Studierende die Masterprüfung im Studiengang endgültig nicht bestanden und damit den Prüfungsanspruch endgültig verloren, ist sie oder er zu exmatrikulieren. Auf Antrag erhält die oder der Studierende gegen Vorlage der Exmatrikulationsbescheinigung eine Bescheinigung des Prüfungsamtes, in welcher die bestandenen Modulprüfungen, deren Noten und die erworbenen Kreditpunkte aufgeführt sind und die erkennen lässt, dass die Masterprüfung endgültig nicht bestanden ist.

Abschnitt IX: Prüfungszeugnis; Urkunde und Diploma Supplement

§ 46 Prüfungszeugnis (RO: § 48)

(1) Über die bestandene Masterprüfung ist möglichst innerhalb von vier Wochen nach Eingang der Bewertung der letzten Prüfungsleistung ein Zeugnis in deutscher Sprache, auf Antrag der oder des Studierenden mit einer Übertragung in englischer Sprache, jeweils nach den Vorgaben der Muster der Rahmenordnung auszustellen. Das Zeugnis enthält die Angabe der Module mit den Modulnoten (dabei werden diejenigen Module gekennzeichnet, welche nicht in die Gesamtnote für die Masterprüfung eingegangen sind), das Thema und die Note der Masterarbeit, die Regelstudienzeit und die Gesamtnote. Im Zeugnis werden ferner das Ergebnis der Prüfungen in Zusatzmodulen aufgenommen.

Das Zeugnis ist von der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses zu unterzeichnen und mit dem Siegel der Johann Wolfgang Goethe-Universität zu versehen. Das Zeugnis trägt das Datum des Tages, an dem die letzte Prüfungsleistung bewertet worden ist.

(2) Der Prüfungsausschuss stellt auf Antrag eine Bescheinigung darüber aus, dass der erworbene Masterabschluss inhaltlich dem entsprechenden Diplomabschluss beziehungsweise dem entsprechenden Magisterabschluss entspricht.

§ 47 Masterurkunde (RO: § 49)

(1) Gleichzeitig mit dem Zeugnis der Masterprüfung erhält die oder der Studierende eine Masterurkunde mit dem Datum des Zeugnisses. Darin wird die Verleihung des akademischen Grades beurkundet. Auf Antrag kann die Urkunde zusätzlich in Englisch ausgestellt werden.

(2) Die Urkunde wird von der Studiendekanin oder dem Studiendekan des Fachbereichs Physik sowie der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses unterzeichnet und mit dem Siegel der Johann Wolfgang Goethe-Universität versehen.

(3) Der akademische Grad darf erst nach Aushändigung der Urkunde geführt werden.

§ 48 Diploma Supplement (RO: § 50)

(1) Mit der Urkunde und dem Zeugnis wird ein Diploma Supplement entsprechend den internationalen Vorgaben ausgestellt; dabei ist der zwischen der Hochschulrektorenkonferenz und der Kultusministerkonferenz abgestimmte Text in der jeweils geltenden Fassung zu verwenden (Muster Anlage 10 RO).

(2) Das Diploma Supplement enthält eine ECTS-Einstufungstabelle. Die Gesamtnoten, die im jeweiligen Studiengang in einer Vergleichskohorte vergeben werden, sind zu erfassen und ihre zahlenmäßige und prozentuale Verteilung auf die Notenstufen gemäß § 40 Abs. 3 zu ermitteln und in einer Tabelle wie folgt darzustellen:

Gesamtnoten	Gesamtzahl innerhalb der Referenzgruppe	Prozentzahl der Absolventinnen/Absolventen innerhalb der Referenzgruppe
bis 1,5 (sehr gut)		
von 1,6 bis 2,5 (gut)		
von 2,6 bis 3,5 (befriedigend)		
von 3,6 bis 4,0 (ausreichend)		

Die Referenzgruppe ergibt sich aus der Anzahl der Absolventinnen und Absolventen des jeweiligen Studiengangs in einem Zeitraum von drei Studienjahren. Die Berechnung erfolgt nur, wenn die Referenzgruppe aus mindestens 50 Absolventinnen und Absolventen besteht. Haben weniger als 50 Studierende innerhalb der Vergleichskohorte den Studiengang abgeschlossen, so sind nach Beschluss des Prüfungsausschusses weitere Jahrgänge in die Berechnung einzubeziehen.

Abschnitt X: Ungültigkeit der Masterprüfung; Prüfungsakten; Einsprüche und Widersprüche; Prüfungsgebühren

§ 49 Ungültigkeit von Prüfungen (RO: § 51)

(1) Hat die oder der Studierende bei einer Studien- oder Prüfungsleistung getäuscht und wird diese Tatsache erst nach Aushändigung des Zeugnisses bekannt, so kann der Prüfungsausschuss nachträglich die Noten für diejenigen Studien- und Prüfungsleistungen, bei deren Erbringung die oder der Studierende getäuscht hat, entsprechend berichtigen und die Prüfung oder die Studienleistung ganz oder teilweise für nicht bestanden erklären. Die Prüferinnen oder Prüfer sind vorher zu hören. Der oder dem Studierenden ist vor einer Entscheidung Gelegenheit zur Äußerung zu geben.

(2) Waren die Voraussetzungen für die Zulassung zu einer Prüfung nicht erfüllt, ohne dass die oder der Studierende hierüber täuschen wollte, und wird diese Tatsache erst nach Aushändigung des Zeugnisses bekannt, so

wird dieser Mangel durch das Bestehen der Prüfung geheilt. Hat die oder der Studierende die Zulassung zur Prüfung vorsätzlich zu Unrecht erwirkt, so entscheidet der Prüfungsausschuss unter Beachtung des Hessischen Landesverwaltungsverfahrensgesetzes in der jeweils geltenden Fassung über die Rechtsfolgen. Abs. 1 Satz 3 gilt entsprechend.

(3) Das unrichtige Zeugnis ist einzuziehen und gegebenenfalls ein neues zu erteilen. Mit dem unrichtigen Zeugnis sind auch das Diploma Supplement und gegebenenfalls der entsprechende Studiennachweis einzuziehen und gegebenenfalls neu zu erteilen. Mit diesen Dokumenten ist auch die Masterurkunde einzuziehen, wenn die Prüfung aufgrund einer Täuschungshandlung für „nicht bestanden“ erklärt wurde. Eine Entscheidung nach Abs. (1) und Abs. (2) Satz 2 ist nach einer Frist von fünf Jahren ab dem Datum des Prüfungszeugnisses ausgeschlossen.

§ 50 Einsicht in Prüfungsakten; Aufbewahrungsfristen (RO: § 52)

(1) Innerhalb eines Jahres nach Abschluss eines Moduls und nach Abschluss des gesamten Prüfungsverfahrens wird der oder dem Studierenden auf Antrag Einsicht in die sie oder ihn betreffenden Prüfungsakten (Prüfungsprotokolle, Prüfungsarbeiten nebst Gutachten) gewährt.

(2) Die Prüfungsakten sind von den Prüfungsämtern zu führen. Maßgeblich für die Aufbewahrungsfristen von Prüfungsunterlagen ist § 20 der Hessischen Immatrikulationsverordnung (HimmaVO) in der jeweils gültigen Fassung.

§ 51 Einsprüche und Widersprüche (RO: § 53)

(1) Gegen Entscheidungen der oder des Vorsitzenden des Prüfungsausschusses ist Einspruch möglich. Er ist binnen eines Monats nach Bekanntgabe der Entscheidung bei der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses einzulegen. Über den Einspruch entscheidet der Prüfungsausschuss. Hilft er dem Einspruch nicht ab, erlässt die oder der Vorsitzende des Prüfungsausschusses einen begründeten Ablehnungsbescheid, der mit einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen ist.

(2) Gegen belastende Entscheidungen des Prüfungsausschusses und gegen Prüferbewertungen kann die oder der Betroffene, sofern eine Rechtsbehelfsbelehrung erteilt wurde, innerhalb eines Monats, sonst innerhalb eines Jahres nach Bekanntgabe, bei der oder dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses (Prüfungsamt) schriftlich Widerspruch erheben. Hilft der Prüfungsausschuss, gegebenenfalls nach Stellungnahme beteiligter Prüferinnen und Prüfer, dem Widerspruch nicht ab, erteilt die Präsidentin oder der Präsident den Widerspruchsbescheid. Der Widerspruchsbescheid ist zu begründen und mit einer Rechtsbehelfsbelehrung zu versehen.

Abschnitt XI: Schlussbestimmungen

§ 52 In-Kraft-Treten [und Übergangsbestimmungen] (RO: § 56)

(1) Diese Ordnung tritt am Tage nach ihrer Veröffentlichung im UniReport/Satzungen und Ordnungen der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main in Kraft.

(2) Diese Ordnung gilt für alle Studierende, die ihr Studium ab dem Wintersemester 2020/21 im Masterstudiengang Physik aufnehmen.

(3) Studierende, die das Studium im Masterstudiengang Physik vor Inkrafttreten dieser Ordnung aufgenommen haben, können die Masterprüfung nach der Ordnung vom 1. Oktober 2013 bis spätestens 30. September 2024 ablegen.

Frankfurt am Main, den 13.08.2020

Prof. Dr. Micheal Lang

Dekan des Fachbereichs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Anlage 1a: Studienverlaufsplan (Pflichtmodule)

Modul	Lehrveranstaltung	LV-Form	SWS	CP	Benotet?
1. und 2. Fachsemester					
PEXFL	Forschungs- und Laborpraktikum	P	8	12	nein
SMSC	Proseminar	S	2	3	nein
FS	Fachliche Spezialisierung (Beginn in der vorlesungsfreien Zeit vor Ende des 2. Fachsemesters)	angeleitete wiss. Arbeit		3	nein
Wahlpflichtmodule gemäß Wahl der oder des Studierenden				26-42	
Nebenfachmodule gemäß Wahl der oder des Studierenden				0-16	
		Summe SWS bzw. CP		60	
3. Fachsemester					
FS	Fachliche Spezialisierung	angeleitete wiss. Arbeit		12	nein
EP	Erarbeiten eines Projekts	angeleitete wiss. Arbeit		15	nein
		Summe SWS bzw. CP		27	
4. Fachsemester					
SMSC	Arbeitsgruppenseminar	S	2	3	nein
MA	Masterarbeit	angeleitete wiss. Arbeit		30	ja
		Summe SWS bzw. CP		33	
		Summe 1.-4. Sem.		120	

Gemäß § 11 Abs. 6 sind im Laufe des Masterstudiums Nebenfachmodule im Umfang von 0-16 CP und Wahlpflichtmodule im Umfang von 26-42 CP einzubringen, so dass zusammen mindestens 42 CP erreicht werden. Drei CP der Nebenfachmodule dürfen aus Veranstaltungen zu Schlüsselqualifikationen stammen. Fünf CP der Wahlpflichtmodule müssen im Bereich Theoretische Physik erworben werden.

Anlage 1b: Pflichtmodule des Schwerpunkts „Computational Physics“

Wenn der Abschluss mit Schwerpunkt *Computational Physics* angestrebt wird, sind zum einen dieselben Pflichtmodule zu absolvieren wie im Masterstudiengang ohne Schwerpunkt.

Zusätzlich sind von Studierenden mit Schwerpunkt *Computational Physics* folgende Pflichtmodule zu absolvieren:

Modul	Titel/Lehrveranstaltung	LV-Form	CP	Benotet?
1. Fachsemester (WiSe)				
BaM-NM	Vorsemerkurs Mathematisches Programmieren		2	Ja
	Numerische Mathematik	V4+Ü2	9	
M-HL	Hochleistungsrechnerarchitektur	V3+Ü1	6	Ja
2. Fachsemester (SoSe)				
PHL	Praktikum Hochleistungsrechnen	P4	8	Ja

Darüber hinaus muss mindestens eines der folgenden Module absolviert werden:

Modul	Titel	Stunden	CP	Benotet?
VCPSM	Computational Physics and Simulations with Matlab (Dieses Modul ist nur dann zulässig, falls es nicht im Bachelorstudium als Ersatz für das Modul VPROG verwendet wurde)	V3+Ü3	6	Ja
VNUMP	Numerische Methoden der Physik	V3+Ü2	6	Ja
VAGR	Advanced General Relativity	V3+Ü1	6	Ja
VRLEARN	Reinforcement Learning	V3+Ü1	6	Ja
VCPPML	Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning (Dieses Modul ist nur dann zulässig, falls es nicht im Bachelorstudium als Ersatz für das Modul VPROG verwendet wurde)	V4+Ü2	8	Ja
SPV2	Numerische Methoden	V2+Ü1	5	Ja
VQMD	Quantum Molecular Dynamics	V3	5	Ja

Anlage 1c: zusätzliche Wahlpflichtmodule des Schwerpunkts „Computational Physics“

Studierende des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Computational Physics* können neben Wahlpflichtmodulen des Masterstudiengangs Physik auch folgende Wahlpflichtmodule einbringen:

Modul	Veranstaltung	LV-Form	CP
Meteorologie und Klimaforschung			
EMETA	Allgemeine Meteorologie	V3+Ü2	6
EMETA	Allgemeine Klimatologie	V2+Ü1	4
EMETB	Atmospheric Dynamics 1	V2+Ü2	5
EMETB	Atmospheric Dynamics 2	V2+Ü2	5
EMETB	Introduction to Information Technology and Programming	V1+Ü1	2
METTH	Atmosphärendynamik 3	V3+Ü2	6
METV	Numerical Weather Prediction	V2+Ü2	5
FATDYN	Stochastische Beschreibung atmosphärischer Prozesse	V2+Ü2	6
FATDYN	Schwerewellen, Klimavariabilität oder ein anderes Thema der fortgeschrittenen Atmosphärendynamik	V2+Ü2	6
MetMK	Globale Klimaprozesse	V2+Ü2	6
MetMK	Regionale Klimaprozesse	V2+Ü2	6
Geophysik und Mineralogie			
BWp3 (insgesamt müssen mindestens 8 CP erreicht werden, das Absolvieren der Lehrveranstaltung „Diffraction“ ist Pflicht, zwischen den übrigen kann ausgewählt werden)	Kristallographische Mineralogie		8
	Lehrveranstaltungen des Moduls:		
	Diffraction	V2+Ü1	3
	Spektroskopie	V1+Ü1	2
	Kristallchemie	V1+Ü1	2
	Datendarstellung und -analyse	V2+Ü1	3
	Aktuelle Themen	V1+Ü1	2
Seminar	S2	2	
Gph1 (insgesamt müssen 8 CP erreicht werden, zwischen den Lehrveranstaltungen kann ausgewählt werden)	Geophysik 1		8
	Lehrveranstaltungen des Moduls:		
	Seismologie 1 für Fortgeschrittene: Spezielle Verfahren	V2+Ü1	4
	Geodynamik 1 für Fortgeschrittene: Magmatische Prozesse	V2+Ü1	4
Gph2 (insgesamt müssen 8 CP erreicht werden, zwischen den Lehrveranstaltungen kann ausgewählt werden)	Geophysik 2		8
	Lehrveranstaltungen des Moduls:		
	Seismologie 2 für Fortgeschrittene: Datenanalyse und Signalverarbeitung	V2+Ü1	4
	Geodynamik 2 für Fortgeschrittene: Dynamik der Lithosphäre	V2+Ü1	4
Gph3 (insgesamt müssen 8 CP erreicht werden, zwischen den Lehrveranstaltungen kann ausgewählt werden)	Geophysik 3		8
	Lehrveranstaltungen des Moduls:		
	Seismologie 3 für Fortgeschrittene: Inversionsverfahren	V2+Ü1	4
	Geodynamik 3 für Fortgeschrittene: Mantelprozesse	V2+Ü1	4
	Angewandte Methoden 3 für Fortgeschrittene: Elektromagnetik	V2+Ü1	4

Min6 (insgesamt müssen mindestens 8 CP erreicht werden, das Absolvieren der Lehrveranstaltung „Kristallphysik“ ist Pflicht, zwischen den übrigen kann ausgewählt werden)	Mineralogie-Kristallographie 2		8
	Lehrveranstaltungen des Moduls:		
	Kristallphysik	V2+Ü1	3
	Atomistische Modellrechnungen	V1+Ü1	2
	Programmieren für Fortgeschrittene	V2+Ü1	3
	Moderne Methoden	V1+Ü1	2

Für die Teilnahme an den Modulen bzw. Lehrveranstaltungen der Meteorologie und Geowissenschaften gelten die in den Modulhandbüchern BSc/MSc Meteorologie sowie BSc/MSc Geowissenschaften aufgeführten Voraussetzungen und Prüfungsregelungen. Insbesondere sind die jeweiligen Teilnahmevoraussetzungen und erforderlichen Vorkenntnisse zu beachten.

Anlage 2: Nebenfächer

Im Folgenden werden beispielhaft Nebenfächer für den Masterstudiengang aufgeführt. Weitere Nebenfächer können gemäß § 11(3) genehmigt werden. Nebenfachmodule, die bereits im Bachelorstudium absolviert wurden, sind von der Wahl im Masterstudiengang ausgeschlossen.

Nebenfach	Verantwortlicher Fachbereich	Module	Bemerkungen
Astronomie	Physik	ASTRO1 (8 CP) ASTRO2 (8 CP) ASTRO3 (13 CP)	
Betriebswirtschaftslehre (s. Erläuterung)	Wirtschaftswissenschaften	entweder OFIN (5 CP) plus OMAR (5 CP) oder OFIN (5 CP) plus OMAR (5 CP) plus BACC (6 CP) plus BMGT (6 CP)	Die Module OFIN und OMAR sind verpflichtend. Es können zusätzlich die Module BACC und BMGT gewählt werden, die dann beide absolviert werden müssen.
Chemie	Chemie	Siehe separate Tabelle	
Elektronik	Physik	ELEK-A (9 CP) ELEK-D (8 CP)	
Geophysik	Geowissenschaften/ Geographie	BP12 (7CP) BWp1 (8CP) BWp2 (8CP) Gph1 (8CP) Gph2 (8CP) Gph3 (8CP)	Bei erstmaliger Wahl von Geophysik als Nebenfach ist das Modul BP12 verpflichtend, die anderen nach Wahl. Eventuelle Teilnahmevoraussetzungen für die fortgeschrittenen Module sind mit den Dozenten bzw. Dozentinnen zu besprechen.
Informatik	Informatik und Mathematik	B-EPI (12 CP) B-PPDC (5 CP) B-PDB (6 CP) B-ARA (9 CP) B-RTKS (6 CP) B-ALGO-1 (8 CP) B-ALGO-2 (8 CP)	Bei erstmaliger Wahl von Informatik als Nebenfach ist Modul B-EPI verpflichtend, alle anderen nach Wahl.
Mathematik	Mathematik	BaM-LA2 (9 CP) BaM-ES (9 CP) BaM-NM (11 CP) BaM-TOP-g (9 CP) BaM-FA-g (9 CP) BaM-PDGL-g (9 CP) BaM-STO-g (9 CP)	Andere Module können nach Absprache gewählt werden.
Meteorologie	Geowissenschaften Geographie	EMETA (10 CP), EMETB (12 CP), METV (5 CP), METPC (6 CP), METH (6 CP), METP (6 CP), METS (4 CP), METWA (5-16 CP)	Bei erstmaliger Wahl von Meteorologie als Nebenfach ist entweder EMETA oder EMETB verpflichtend.
Philosophie	Philosophie und Geschichtswissenschaften	BM1 (NF 10 CP, HF 12 CP), BM2 (NF: 10 CP, HF: 13 CP), BM3 (13 CP) AM1 (10 CP), AM2 (10 CP) AM3 (10 CP) VM1 (10 CP) VM2 (10 CP) VM3 (10 CP)	
Physikdidaktik	Physik	Physikdidaktik 1 (13 CP) Physikdidaktik 2 (14 CP)	Bei erstmaliger Wahl von Physikdidaktik als Nebenfach ist das Modul Physikdidaktik 1 verpflichtend.

Volkswirtschaftslehre (s. Erläuterung)	Wirtschaftswissenschaften	entweder OVWL (10 CP) oder OVWL (10 CP) plus BMAK (12 CP) oder BMAK (12 CP)	Das Modul OVWL ist verpflichtend, es kann zusätzlich noch BMAK oder BMAK gewählt werden.
--	---------------------------	---	--

Erläuterung: Zu den Nebenfächern Betriebswirtschaftslehre und Volkswirtschaftslehre existiert eine Ordnung, die beim Prüfungsamt des Fachbereichs 02 erhältlich ist. Die Belegung derselben Fachrichtung (BWL/VWL) des gewählten Nebenfaches, im Bachelor- und Masterstudiengang ist nicht möglich.

Nebenfach Chemie im Masterstudiengang Physik

Für das Nebenfach Chemie im Rahmen des Masterstudiengangs Physik empfiehlt der Studienkommission Chemie die folgenden Wahlpflichtmodule aus dem Masterstudiengang Chemie. Das erfolgreiche Bestehen eines Moduls beinhaltet in der Regel eine Abschlussprüfung; vereinzelt sind auch Modulteilprüfungen vorgesehen (siehe Modulbeschreibungen).

Modul	CP
Struktur und Funktion von Biomakromolekülen (K2.2)	7
Festkörper NMR-Spektroskopie (CW-N.2) Zugehörige Lehrveranstaltungen:	7 oder 10
Einführung in die Festkörper NMR-Spektroskopie (Pflicht)	4 CP
Festkörper NMR-Spektroskopie	3 CP
Seminar Moderne Anwendungen der Magnetischen Resonanz Spektroskopie (Das Seminar ist Teil der Module „Flüssigkeits NMR-Spektroskopie, EPR Spektroskopie“ und „Festkörper NMR“. Es kann nur einmal gewertet werden.)	3 CP
Flüssigkeits NMR-Spektroskopie (K3.3) Zugehörige Lehrveranstaltungen:	6 oder 9
Mathematischen Grundlagen der NMR-Spektroskopie (Pflicht)	3 CP
Vertiefung der Mathematischen Grundlagen der NMR-Spektroskopie	3 CP
NMR-Intensivkurs (1-2 Wochen)	3 CP
Seminar Moderne Anwendungen der Magnetischen Resonanz Spektroskopie (Das Seminar ist Teil der Module „Flüssigkeits NMR-Spektroskopie, EPR Spektroskopie“ und „Festkörper NMR“. Es kann nur einmal gewertet werden.)	3 CP
Laserchemie (K2.4)	5
Röntgenstrukturanalyse (K2.1) Zugehörige Lehrveranstaltungen:	5 oder 9
Vorlesung Röntgenstrukturanalyse (Pflicht)	5 CP
Praktikum Röntgenstrukturanalyse	4 CP
Röntgenpulverdiffraktometrie (CW-AAC.1) Zugehörige Lehrveranstaltungen:	5 bis 12
Vorlesung Röntgenpulverdiffraktometrie (Pflicht)	5 CP
Praktikum Röntgenpulverdiffraktometrie	4 CP
Seminar Röntgenpulverdiffraktometrie	3 CP
Einzelmolekülspektroskopie und hochauflösende Mikroskopie (K2.3)	6
Moderne Methoden der Theoretischen Chemie (K3.2)	7
Materialchemie (CW-AAC.3)	4

Anlage 3: Liste der Import- und Exportmodule

Herkunftsstudiengang	Modul (Titel, Nummer)	FB	SoSe / WiSe	CP
MSc Chemie	Struktur und Funktion von Biomakromolekülen	FB14	WiSe	7
MSc Chemie	Festkörper NMR-Spektroskopie	FB14	SoSe	7-10
MSc Chemie	Flüssigkeits NMR-Spektroskopie	FB14	WiSe/ SoSe	6-9
MSc Chemie	Laserchemie	FB14	SoSe	5
MSc Chemie	Röntgenstrukturanalyse	FB14	WiSe	5-9
MSc Chemie	Röntgenpulverdiffraktometrie	FB14	WiSe	5-12
MSc Chemie	Einzelmolekülspektroskopie und hochauflösende Mikroskopie	FB14	SoSe	6
MSc Chemie	Moderne Methoden der Theoretischen Chemie	FB14	SoSe	7
MSc Chemie	Materialchemie	FB14	WiSe	4
BSc Geowissenschaften	Geophysik (BP12)	FB11	WiSe/ SoSe	7
BSc Geowissenschaften	Geophysikalische Methoden (BWp1)	FB11	WiSe/ SoSe	8
BSc Geowissenschaften	Vertiefung Geophysik (BWp2)	FB11	WiSe/ SoSe	8
BSc Geowissenschaften	Kristallographische Mineralogie (BWp3)	FB11	SoSe/ WiSe	8
MSc Geowissenschaften	Geophysik 1 (Gph1)	FB11	WiSe	8
MSc Geowissenschaften	Geophysik 2 (Gph2)	FB11	SoSe	8
MSc Geowissenschaften	Geophysik 3 (Gph3)	FB11	WiSe	8
MSc Geowissenschaften	Mineralogie-Kristallographie 2	FB11	WiSe/ SoSe	8

BSc Informatik	Einführung in die Praktische Informatik (B-EPI)	FB12	WiSe	12
BSc Informatik	Programmierparadigmen und Compilerbau (B-PPDC)	FB12	SoSe	5
BSc Informatik	Programmierung von Datenbanken (P-PDB)	FB12	SoSe	6
BSc Informatik	Automaten und Rechnerarchitekturen (B-ARA)	FB12	SoSe	9
BSc Informatik	Rechnertechnologie und kombinatorische Schaltungen (B-RTKS)	FB12	SoSe	6
BSc Informatik	Algorithmen und Datenstrukturen 1 (B-ALGO-1)	FB12	SoSe	8
BSc Informatik	Algorithmen und Datenstrukturen 2 (B-ALGO-2)	FB12	WiSe	8
MSc Informatik	Hochleistungsrechnerarchitektur (M-HL)	FB12	WiSe	6
BSc Mathematik	Lineare Algebra 2 (BaM-LA2)	FB12	SoSe	9
BSc Mathematik	Elementare Stochastik (BaM-ES)	FB12	SoSe	9
BSc Mathematik	Numerische Mathematik (BaM-NM)	FB12	WiSe	11
BSc Mathematik	Topologie (BaM-TOP-g)	FB12	WiSe/ SoSe	9
BSc Mathematik	Funktionalanalysis (BaM-FA-g)	FB12	WiSe/ SoSe	9
BSc Mathematik	Partielle Differentialgleichungen (BaM-PDGL-g)	FB12	WiSe/ SoSe	9
BSc Mathematik	Stochastik (BaM-STO-g)	FB12	WiSe/ SoSe	9
BSc Meteorologie	Allgemeine Meteorologie und Klimatologie (EMETA)	FB11	WiSe	10
BSc Meteorologie	Atmospheric Dynamics (EMETB)	FB11	WiSe	12

BSc Meteorologie	Numerical Weather Prediction (METV)	FB11	WiSe	5
BSc Meteorologie	Physik und Chemie der Atmosphäre 1 (METPC)	FB11	SoSe	6
BSc Meteorologie	Atmosphärendynamik 3 (METTH)	FB11	WiSe	6
BSc Meteorologie	Meteorologische Praktika (METP)	FB11	SoSe	8
BSc Meteorologie	Meteorologisches Seminar (METS)	FB11	WiSe	4
BSc Meteorologie	Meteorologisches Pflichtwahlmodul (METWA)	FB11	WiSe/ SoSe	5-16
MSc Meteorologie	Numerische Methoden (SPV2)	FB11	WiSe/ SoSe	5
BSc Philosophie	Einführung in die Geschichte der Philosophie (BM1/ NF Philosophie)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Einführung in die Geschichte der Philosophie (BM1/ HF Philosophie)	FB08	WiSe/ SoSe	12
BSc Philosophie	Einführung in die Philosophie (BM2/NF Philosophie)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Einführung in die Philosophie (BM2/HF Philosophie)	FB08	WiSe/ SoSe	13
BSc Philosophie	Logik (BM3)	FB08	WiSe/ SoSe	13
BSc Philosophie	Geschichte der Philosophie (AM1)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Theoretische Philosophie (AM2)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Praktische Philosophie (AM3)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Geschichte der Philosophie (VM1)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Philosophie	Theoretische Philosophie (VM2)	FB08	WiSe/ SoSe	10

BSc Philosophie	Praktische Philosophie (VM3)	FB08	WiSe/ SoSe	10
BSc Wirtschaftswissenschaften	Finanzen 1 (OFIN)	FB02	WiSe/ /SoSe	5
BSc Wirtschaftswissenschaften	Marketing 1 (OMAR)	FB02	Wi- Se/SoSe	5
BSc Wirtschaftswissenschaften	Accounting 1 (BACC)	FB02	WiSe/ SoSe	6
BSc Wirtschaftswissenschaften	Management (BMGT)	FB02	WiSe/ SoSe	6
BSc Wirtschaftswissenschaften	Einführung in die Volkswirtschafts- lehre (OVWL)	FB02	WiSe/ SoSe	10
BSc Wirtschaftswissenschaften	Mikroökonomie 1 (BMIK)	FB02	WiSe/ SoSe	12
BSc Wirtschaftswissenschaften	Makroökonomie 1 (BMAK)	FB02	WiSe/ SoSe	12

Anlage 4: Modulbeschreibungen

Inhaltsverzeichnis

4.1	Pflichtmodule	52
4.1.1	Praktika und Seminare	52
4.1.2	Fachliche Spezialisierung und Masterarbeit	54
4.1.3	Zusätzliche Pflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i>	57
4.2	Wahlpflichtmodule: I) Jährlich angebotene Module	58
4.2.1	Fachgebietsübergreifende Module	58
4.2.2	Astrophysik und Kosmologie	62
4.2.3	Kern- und Elementarteilchenphysik	72
4.2.4	Festkörperphysik	86
4.2.5	Optik, Laser- und Atomphysik	93
4.2.6	Beschleuniger-, Plasma- und angewandte Physik	97
4.2.7	Biophysik	107
4.2.8	Neurowissenschaften	113
4.3	Wahlpflichtmodule: II) Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module	117
4.3.1	Fachgebietsübergreifende Module	117
4.3.2	Astrophysik und Kosmologie	128
4.3.3	Kern- und Elementarteilchenphysik	131
4.3.4	Festkörperphysik	138
4.3.5	Atomphysik und Quantenoptik	147
4.3.6	Plasmaphysik	149
4.3.7	Neurowissenschaften	150
4.4	Schlüsselqualifikationsmodule	151
4.5	Nebenfachmodule angeboten vom FB Physik	154
4.5.1	Nebenfach Astronomie	154
4.5.2	Nebenfach Elektronik	157
4.5.3	Nebenfach Didaktik der Physik	160

4.1 Pflichtmodule

4.1.1 Praktika und Seminare

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
PEXFL	Forschungs- und Laborpraktikum	Pflichtmodul	12
Inhalte			
Praktikumsversuche aus allen experimentellen Instituten des Fachbereiches, sowie Versuche an Forschungsgeräten der einzelnen Arbeitsgruppen. Zusätzlich können auch Computereperimente in der theoretischen Physik durchgeführt werden.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul soll an Beispielen eine Einführung in die Arbeitsweisen der modernen experimentellen und theoretischen Physik geben. In Zweiergruppen üben die Studierenden Experimente im Labor bzw. Computersimulationen nach Anleitung durchzuführen und zu protokollieren. Es wird das Erstellen von kurzen schriftlichen Berichten ("Protokollen") geübt.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme am Praktikum	
Leistungsnachweise		Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen, Seminarvortrag (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)	
Lehr- / Lernformen		Praktikum	
Modulprüfung			
keine			

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
SMSC	Masterseminare	Pflichtmodul	6
Inhalte			
<p><i>Proseminar:</i> In jedem Semester können verschiedene Veranstaltungen als Proseminar angeboten werden, die beliebigen Themen der Physik gewidmet sind. Der Prüfungsausschuss prüft die Eignung der angebotenen Themen und die Gestaltung der Seminare und entscheidet über ihre Zulassung als Proseminar. Die Studierenden können eines dieser Angebote auswählen.</p> <p>Das Proseminar kann zum Beispiel als "Journal Club" gestaltet werden, in dem Studierende ausgewählte Artikel aus aktuellen physikalischen Zeitschriften vorstellen und die Hintergründe erläutern. Eine andere Möglichkeit ist ein Seminar, in dem ein physikalisches Gebiet gemeinsam erarbeitet wird, indem verschiedene Themen zu Teilaspekten von den Studierenden vorgetragen werden. Arbeitsgruppenseminare sind nicht als Proseminare zulässig.</p> <p><i>Arbeitsgruppenseminar:</i> Themen aus einem aktuellen Gebiet der Forschung</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden sind in der Lage, sich physikalische Sachverhalte, die nicht in ihrem engeren Spezialisierungsgebiet liegen, aus der Literatur zu erschließen und anderen zu erklären. Die Studierenden haben einen vertieften Einblick in dasjenige Forschungsgebiet, auf dem sie ihre Masterarbeit anfertigen. Die Studierenden sind in der Lage, ihre wissenschaftlichen Ergebnisse und Projekte einem Fachpublikum in einem Vortrag vorzustellen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an beiden Seminaren	
Leistungsnachweise		Seminarvortrag über ein Thema aus der aktuellen Literatur in der Lehrveranstaltung <i>Proseminar</i> (unbenotet), Seminarvortrag über die eigenen Forschungsergebnisse im Rahmen der Masterarbeit in der Lehrveranstaltung <i>Arbeitsgruppenseminar</i> (unbenotet)	
Lehr- / Lernformen		Proseminar, Seminar	
Modulprüfung			
keine			

4.1.2 Fachliche Spezialisierung und Masterarbeit

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
FS	Fachliche Spezialisierung	Pflichtmodul	15
Inhalte			
Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen an einem Beispiel aus einem Forschungsgebiet. Eigenständige Literaturrecherche zum Stand der Forschung.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul vermittelt die fachlichen und methodischen Grundlagen für die eigenständige Bearbeitung eines Forschungsprojektes und führt damit auf die Masterarbeit hin. Diese Hinführung erfolgt durch die selbstständige Erarbeitung von Hintergrundwissen sowie die selbstständige Einarbeitung in das Spezialgebiet, auf dem die Masterarbeit geplant ist, angeleitet durch den vorgesehenen Betreuer der Masterarbeit. Durch die Einbindung in eine Arbeitsgruppe wird gleichzeitig die Arbeit in einem Forschungsteam und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld gelernt. Die Betreuung erfolgt dabei in Form von Betreuungsgesprächen im wöchentlichen Rhythmus.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		Vortrag über das für die Masterarbeit ausgewählte Spezialgebiet, unbenotet	
Lehr- / Lernformen		Praktikum	
Modulprüfung			
keine			

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
EP	Erarbeiten eines Projekts	Pflichtmodul	15
Inhalte			
Schriftliche Ausarbeitung einer Projektskizze auf einem aktuellen Gebiet der Forschung.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Nach der allgemeinen Beschäftigung mit dem Forschungsgebiet, in dem die Masterarbeit angefertigt werden soll, im Rahmen des Moduls FS, führt dieses Modul unmittelbar auf die Masterarbeit hin. Studierende erarbeiten selbstständig ein wissenschaftlichen Projekt, das als Ausgangspunkt für die geplante Masterarbeit dienen kann (angeleitet durch den Betreuer bzw. die Betreuerin der Masterarbeit). Das Modul mündet in der schriftlichen Darlegung der wissenschaftlichen Grundlagen des Themas der Masterarbeit und der Formulierung der gewählten Fragestellung und der Methoden, mittels derer die Bearbeitung angegangen werden soll. Die Betreuung erfolgt dabei in Form von Betreuungsgesprächen im wöchentlichen Rhythmus.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		schriftliche Ausarbeitung einer Projektskizze, unbenotet	
Lehr- / Lernformen		Praktikum	
Modulprüfung			
keine			

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
MA	Masterarbeit	Pflichtmodul	30
Inhalte			
Eigenständige wissenschaftliche Arbeit zu einem mit dem Betreuer bzw. der Betreuerin vereinbarten aktuellen Problem der Forschung, unter Anleitung durch den Betreuer bzw die Betreuerin			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Masterarbeit dient der wissenschaftlichen Ausbildung. In ihr zeigt die oder der Studierende, dass sie oder er in der Lage ist, eine definierte Aufgabenstellung selbstständig mittels wissenschaftlicher Methoden zu bearbeiten. In der für das Masterprojekt gewählten Fachrichtung bearbeitet der oder die Studierende unter Anleitung einer Betreuerin oder eines Betreuers eine aktuelle wissenschaftliche Fragestellung. Im Fall von Studierenden mit dem Schwerpunkt <i>Physik der Informationstechnologie</i> ist das Thema der Arbeit entsprechend §13 Abs. 2 der Studienordnung zu wählen. Im Fall von Studierenden mit dem Schwerpunkt <i>Computational Physics</i> ist das Thema der Arbeit entsprechend §14 Abs. 3 der Studienordnung zu wählen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
Zulassungsvoraussetzungen gemäß §41 Abs.4.			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		angeleitete wissenschaftliche Projektarbeit	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		ausführliche, schriftliche Darstellung des Masterprojekts und seiner Ergebnisse in Form einer Masterarbeit	

4.1.3 Zusätzliche Pflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Computational Physics*

Das Absolvieren der Import- bzw. Teilimportmodule

- *Numerische Mathematik*
(Modul BAM-NM des BSc Mathematik),
- *Hochleistungsrechnerarchitektur*
(Modul M-HL des MSc Informatik)
- *Praktikum Hochleistungsrechnen*
(Modul PHL — Modulbeschreibung im Anschluss)

ist Pflicht. Für die Teilnahme an diesen Import- bzw. Teilimportmodulen gelten die Regelungen des jeweiligen Herkunftsstudiengangs.

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
PHL	Praktikum Hochleistungsrechnen	Pflichtmodul	8
Inhalte			
<p>Programmierung von SMP Maschinen, MPP Clustern und GPGPUs. Praktischer Umgang mit verschiedenen Programmierbibliotheken wie Vektor Klassen, OpenMP, MPI, CUDA oder OpenCL. Entwicklung eigener paralleler Algorithmen, und Untersuchung derer Skalierbarkeit. Für die praktischen Übungen stehen verschiedene Parallelrechner des Frankfurter CSC, einschließlich der LOEWE-CSC Hochleistungsrechner für ausgewählte Übungen zur Verfügung.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Praktische Erfahrung und Routine in der parallelen Programmierung. Verständnis des Zusammenspiels von Algorithmus, Cache und Netzwerk. Praktische Erfahrung mit Nebenläufigkeitsproblemen, Synchronisation und der Fehlersuche in parallelen Algorithmen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme am Praktikum	
Leistungsnachweise		termingerechte Abgabe der Praktikumsaufgaben, Vorstellung und Demonstration der Ergebnisse	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Praktikum	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		Abschlusskolloquium (ca. 20 Min.)	

4.2 Wahlpflichtmodule: I) Jährlich angebotene Module

4.2.1 Fachgebietsübergreifende Module

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VHQM	Höhere Quantenmechanik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
Grundlagen der relativistischen Quantenmechanik, Klein-Gordon-Gleichung, Dirac-Gleichung, Symmetrien in der Quantenmechanik, Vielteilchentheorien im Fock-Raum, Näherungsmethoden für wechselwirkende Quantenvielteilchensysteme, elementare Streutheorie.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul behandelt ausgewählte höhere Methoden der Quantenmechanik, wie sie für die moderne Physik grundlegend sind, insbesondere relativistische Quantenmechanik, Vielteilchentheorie, Symmetrien in der Quantenmechanik und Streutheorie. Damit werden die Studierenden befähigt, in ihren Abschlussarbeiten theoretische Probleme auf modernem Niveau anzugehen. Auf diese Weise werden insbesondere auch die Grundlagen für die Erweiterung der Quantenmechanik zur Quantenfeldtheorie gelegt.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VHEX	Höhere Experimentalphysik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
<p><i>Höhere Experimentalphysik 1:</i> Freie Elektronen und Ionen: Erzeugung freier Ladungsträger, Bewegung freier Ladungsträger in zeitabhängigen Feldern, Gasentladung, Plasmen, Plasmawellen Festkörperphysik: Metalle, klassisches Elektronengas, Fermi-Gas, Energiebänder, Wärmeleitung, Supraleitung, HF-Supraleitung, nichtlineare Dynamik und Stabilität</p> <p><i>Höhere Experimentalphysik 2:</i> Theorie und Experimente zur Elektrodynamik: Energiedichte und Energieströmung, zeitabhängige und statische magnetische und elektrische Felder, Elektromagnetische Wellen, Wellenleiter und Resonatoren, Hochfrequenzdiagnose Thermodynamik: Thermodynamische Systeme und Zustandsgrößen, Hauptsätze, kinetische Gastheorie, ideales Gas, Entropie und Gleichgewichtszustände, Aggregatzustände und Phasen</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>In diesem Modul sollen die Grundlagen der Elektrodynamik, Thermodynamik, Plasmaphysik und Festkörperphysik hauptsächlich durch Experimente veranschaulicht werden. Ziel dieses Moduls ist es, den Studierenden einen Zugang zu den unterschiedlichen physikalischen Systemen schwerpunktmäßig durch experimentelle Veranschaulichung zu geben. Durch das Vorführen und die Beteiligung an den Experimenten, die deutlich über dem Niveau der Grundvorlesungen liegen, sollen abstrakte Inhalte verständlicher und wichtige, elementare Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Bereichen der Physik hergestellt werden. Dadurch versteht sich die Vorlesung als Bindeglied zwischen den Basisvorlesungen im Grundstudium und den Spezialvorlesungen im Masterstudiengang.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen, Übungen	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VPSOC	Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>Dieses Modul gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der Physik sozio-ökonomischer Systeme. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica), deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den endlichen Zweipersonen-Spielen und N-Personen-Spielen wird auch auf die evolutionäre Entwicklung ganzer Spieler-Populationen eingegangen (evolutionäre Spieltheorie). Die zeitliche Entwicklung der Entscheidungen der Spieler wird zusätzlich durch die zugrunde liegende Struktur des sozio-ökonomischen Netzwerks der Spielergruppen bestimmt. Der zweite Teil des Kurses befasst sich deshalb mit der Theorie sozio-ökonomischer Netzwerke und deren mathematischen Beschreibung mittels graphentheoretischer Konzepte. Hierbei wird zusätzlich auf die computerbasierte Simulation unterschiedlicher Netzwerkstrukturen eingegangen und ein Programm, welches das Barabasi-Albert Modell eines skalenfreien Netzwerks numerisch simuliert, gemeinsam mit dem Betreuer erstellt. Der dritte Teil gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung und behandelt neuere Entwicklungen dieses Forschungsfeldes. Es wird hierbei einerseits speziell auf die evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken und die Quanten-Spieltheorie eingegangen, andererseits wird ein breiter Überblick der diversen Anwendungsfelder sozio-ökonomischer Systeme vermittelt.</p> <p>Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Grundlagen der Spieltheorie, Definition eines Spiels, Strategiemenge der Spieler, reine und gemischte Strategie, dominante Strategie und Nash-Gleichgewicht, Zweipersonen Spiele, N-Personen–M-Strategien Spiel, Koordinationsspiele, Anti-Koordinationsspiele und dominante Spiele, evolutionäre Spieltheorie und Replikatorgleichung, Theorie der komplexen Netzwerke, skalenfreie, exponentielle, zufällige und kleine Welt Netzwerke, Anwendungsfelder und Beispiele real existierender sozio-ökonomischer und biologischer Netzwerke, Einführung in die Quanten-Spieltheorie, Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica. Bei Bedarf: Python/Matplotlib, C/C++ bzw. Java.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Grundlagen der Spieltheorie und die Theorie der komplexen Netzwerke und haben diese in mehreren Anwendungsbeispielen mittels numerischer Rechnungen angewendet. Die Studierenden sind nach Abschluss des Moduls in der Lage, die evolutionäre Entwicklung von Populationen in einem sich zeitlich wiederholenden Spiel zu beschreiben und dilemma-artige Konstellationen zu analysieren. Des weiteren beherrschen die Studierenden nach Abschluss des Moduls die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple und Python/Matplotlib.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VNLQM	Quantum Theory from a Nonlinear Perspective	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p><i>Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?:</i> Nichtlinearitäten in konventioneller Quantenmechanik; Welle-Teilchen Aspekte bei Wellenpaketlösungen der zeitabhängigen Schrödingergleichung; dynamische Invariante; Zusammenhänge mit zeitabhängiger Green Funktion, Wigner Funktion, Supersymmetrie, ver- allgemeinerten Erzeugungs-/Vernichtungsoperatoren und Kohärenten Zuständen; entsprechende Beziehungen bei zeitunabhängiger Quantenmechanik, Bose-Einstein-Kondensaten, Nichtlinearer Dynamik, statistischer Thermodynamik, Kosmologie u.s.w..</p> <p><i>Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics:</i> Konventionelle Methoden zur Beschreibung offener dissipativer Systeme, z.B. Langevin- und Fokker-Planck Gleichungen, verallgemeinerte Mastergleichung; alternative Wellenpaketansätze; nichtlineare Schrödingergleichungen, modifizierte Lagrange-/Hamilton-Formalismen, nichtunitäre Transformationen zwischen formalen und physikalischen Beschreibungsebenen.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden sollen nach Absolvieren des Moduls verstehen, dass die Ergebnisse der konventionellen Formulierung der zeitabhängigen Quantenmechanik nicht nur mittels zeitabhängiger Schrödingergleichung, sondern auch mittels einer komplexen nichtlinearen Riccati-Gleichung erhältlich sind. Dabei hat die nichtlineare Formulierung den Vorteil, dass sie nicht nur die Sensibilität bezüglich gewählter Anfangsbedingungen deutlich herausstellt, sondern auch die Verknüpfungen zwischen verschiedenen anderen Formulierungen von Quantendynamik klar aufzeigt. Es soll erkannt werden, dass die Ausnahmestellung der Riccati-Gleichung auf ihrer Linearisierbarkeit basiert, was letztlich erlaubt, Quantendynamik als komplexe klassische Mechanik zu formulieren. Das Verständnis dieser Zusammenhänge soll dann die Übertragung dieser Konzepte auf zeitunabhängige Quantensysteme, z.B. in deren supersymmetrischer Formulierung, aber auch auf völlig andere Bereiche der Physik, über statistische Thermodynamik, Soliton-Theorie bis hin zur Kosmologie ermöglichen. Schließlich soll offensichtlich werden, dass sich der nichtlineare Formalismus zwanglos auch auf offene Quantensysteme mit dissipativer, irreversibler Dynamik verallgemeinern lässt.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		Fachgespräch (ca. 30 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung <i>Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics</i>	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (30 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung <i>Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?</i>	

4.2.2 Astrophysik und Kosmologie

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VART	Allgemeine Relativitätstheorie	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Riemannsche Geometrie, Bewegungsgleichung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, experimentelle Tests, Schwarzschild-Lösung, schwarze Löcher, Gravitationswellen, Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung und Sternstruktur.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul soll die Grundlagen für das moderne Verständnis der Rolle der Gravitation in der Natur vermitteln. Dazu werden die notwendigen mathematischen Hilfsmittel bereitgestellt (Tensorrechnung im gekrümmten Riemannschen Raum) und auf verschiedene Beispielprobleme angewandt. Die im Modul vermittelten Kenntnisse sollen den Teilnehmern den Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Astrophysik ermöglichen und dienen auch als Grundlage für die Beschäftigung mit der Kosmologie.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VAGR	Advanced General Relativity	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>The 3+1 decomposition of spacetime. Formulations of the Einstein equations. Lagrangian formulations. The ADM formulation. Conformal traceless formulations. Gauge conditions in 3+1 formulations. Constraint equations. initial data and constrained evolution. Hyperbolic systems of partial differential equations. Quasi-linear formulation. Conservative formulation. Characteristic equations for linear systems. Riemann invariants. Characteristics and caustics. Domain of determinacy. region of influence. Linear hydrodynamic waves. Sound waves. Nonlinear hydrodynamic waves. Rarefaction waves. Shock waves. Contact discontinuities. The Riemann problem. Solution of the one-dimensional Riemann problem. Formulations of the hydrodynamic equations. The Wilson formulation. The importance of conservative formulations. The "Valencia" formulation. Finite-Difference Methods. The discretisation process. Numerical errors. Consistency. convergence and stability. The upwind scheme. The FTCS scheme. The Lax-Friedrichs scheme. The leapfrog scheme. The Lax-Wendroff scheme Kreiss-Oliger dissipation. Artificial-viscosity approaches. HRSC Methods and Conservative schemes. Rankine-Hugoniot conditions. Finite-volume conservative numerical schemes. Finite-difference conservative numerical schemes. Upwind methods. Monotone methods. Total variation diminishing methods. Godunov methods. Reconstruction techniques. Slope-limiter methods Approximate Riemann solvers. HLLC. Roe Riemann solvers. The method of lines. Explicit Runge-Kutta methods. Implicit-explicit Runge-Kutta methods.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>At the end of the course the students will have been exposed to many of the most active areas of research in general relativity and relativistic astrophysics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in numerical relativity, the students will be able to carry out quantitative studies of relativistic compact objects. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in relativistic astrophysics.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VARTC	Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>In diesem Modul werden die mathematisch anspruchsvollen Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) in diversen Programmierumgebungen analysiert. Im ersten Teil des Kurses erlernen die Studierenden die Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica). Die oft komplizierten und zeitaufwendigen Berechnungen der tensoriellen Gleichungen der ART können mit Hilfe dieser Programme erleichtert werden. Diverse Anwendungen der Einstein- und Geodätengleichung werden in Maple implementiert, quasi analytische Berechnungen durchgeführt und entsprechende Lösungen berechnet und visualisiert. Der zweite Teil des Kurses befasst sich mit der numerischen Berechnung von Neutronensternen und Weißen Zwergen mittels eines C/C++ Programms. Nach einer kurzen Auffrischung der grundlegenden Programmierkenntnisse, erstellen die Studierenden, gemeinsam mit dem Betreuer, ein Programm, das die Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung numerisch löst und visualisieren die Ergebnisse. Zusätzlich wird hierbei in die Grundkonzepte der parallelen Programmierung eingeführt und eine MPI- und OpenMP-Version des C/C++ Programms erstellt. Im dritten Teil des Kurses werden zeitabhängige numerische Simulationen der ART mittels des Einstein Toolkit durchgeführt und deren Ergebnisse mittels Python/Matplotlib visualisiert. Inhaltlich wird hierbei ebenfalls auf den, dem Programm zugrunde liegenden (3+1)-Split der ART eingegangen und, abhängig von den Vorkenntnissen der Studierenden, mehrere fortgeschrittene, astrophysikalisch relevante Probleme simuliert. Mögliche Themen dieses abschließenden Teils könnten die folgenden Systeme darstellen: Oszillationen eines Neutronensterns, Kollaps eines Neutronenstern zu einem Schwarzen Loch oder die Kollision zweier Neutronensterne unter Berücksichtigung der Aussendung von Gravitationswellen. Der Schwerpunkt der gesamten Veranstaltung liegt sowohl auf der Allgemeine Relativitätstheorie als auch auf der Vermittlung spezieller Programmierkenntnisse. Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Kovariante Ableitung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, Geodätengleichung, Schwarzschild- und Kerr-Lösung, Raumzeitdiagramme in Schwarzschild und Eddington-Finkelstein Koordinaten, Penrose-Diagramme, Bewegung eines Teilchens um ein rotierendes schwarzes Loch, Herleitung der Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung, Weiße Zwerge, Neutronen- und Quarksterne, (3+1)-Split der ART, (Optional: Oppenheimer-Snyder-Collapse einer Staubwolke zu einem schwarzen Loch), Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica und Python/Matplotlib, Programmieren in C/C++, paralleles Programmieren mit MPI und OpenMP, Grundlagen des Einstein Toolkit, numerische Simulationen auf dem Linux-basierte Rechen-Cluster FUCHS.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Allgemeine Relativitätstheorie besser, da sie in mehreren Anwendungsbeispielen die Eigenschaften der Raumzeitkrümmung und die Bewegung von Probenkörpern und Licht in gekrümmter Raumzeit selbst mittels numerischer Rechnungen simuliert haben. Unter anderem können sie die Einsteinsche Feldgleichung und die Geodätengleichung auf nicht-rotierende und rotierende schwarze Löcher anwenden, Raumzeitverformungen in kompakten Objekten analysieren und sie verstehen die aktuell in der Literatur diskutierten Gravitationswellendetektionen von Neutronenstern und schwarze Loch Kollisionen. Des weiteren beherrschen die Studierenden die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple, Python/Matplotlib, C/C++, MPI, OpenMP und Einstein Toolkit.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur
(90 Min.)

Modul VKOSMO	Modulname Kosmologie	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Beobachtungstatsachen, kosmologisches Prinzip, Rotverschiebung, Hubble-Expansion und Hintergrundstrahlung, Robertson-Walker-Metrik, Friedman-LeMaître-Gleichungen, kosmologische Konstante, Friedman-Lösungen, Big Bang, Nukleosynthese, inflationäres Universum, dunkle Energie und dunkle Materie			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Ziel des Moduls ist die Vermittlung des aktuellen naturwissenschaftlichen Weltbilds zur Beschreibung von Aufbau und Dynamik des Universums. Auf der Basis der Allgemeinen Relativitätstheorie einerseits und der astronomischen Beobachtungen andererseits werden die Erkenntnisse des kosmologischen Standardmodells vermittelt. Die Teilnehmer des Moduls werden in die Lage versetzt, den aktuellen Forschungsstand der Kosmologie zu verfolgen (z.B. Urknall, dunkle Materie, dunkle Energie).			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKTHASTM	Spezielle Themen der theoretischen Astrophysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	5–12

Inhalte

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:

Theoretische Astrophysik: Theoretische Grundlagen der Physik, Strahlung, Hydrodynamik, Plasmaphysik, Magnetohydrodynamik, Stellare Dynamik

Fortgeschrittene Kosmologie: Korrelationsfunktionen und Leistungsspektrum in der Kosmologie, kosmologische Störungstheorie, kosmische Hintergrundstrahlung, Beobachtete Evidenzen für Dunkle Energie, Modelle für Dunkle Energie, Quintessenz und kosmische Skalarfelder, kosmologische Strukturbildung

Astroteilchenphysik: Elemente des Standardmodells der Teilchenphysik, Grundlagen der Thermodynamik der Quantengase, die Zustandsgleichung der Materie bei extremen Dichten (Wigner-Seitz und Thomas-Fermi Modelle) Hydrostatisches Gleichgewicht in Newtonscher Theorie, Chandrasekhar-Masse für Weiße Zwerge, Kühlung der Weißen Zwerge, die Dichtefunktionaltheorie der Kernmaterie, Hypernukleare Materie, Struktur der Sterne in der ART, Oppenheimer-Volkoff-Gleichungen, Kühlung der Neutronensterne, Suprafluidität und Supraleitung in Neutronensternen, Kosmologische Modelle, Teilchenphysik des frühen Universums.

Quantum Field Theory in Curved Spacetime: basis of quantum fields in curved spacetimes, quantum fields in expanding universes, Unruh effect, quantum fluctuations and inflation, quantum perturbations in the early universe, particle creation by black holes, Hawking radiation, black hole thermodynamics

Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme: Innere Struktur und Physik extragalaktischer Systeme (Galaxien, Galaxienhaufen, Intergalaktische Materie) sowie ihre räumliche Verteilung und Dynamik. Großräumige Struktur und Entwicklung des Kosmos. Relevante Beobachtungen und Modelle.

AGN physics: Signatures of AGN activity, AGN classification, relativistic effects around supermassive black holes, models for the extreme X-ray variability, Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies as the extreme of Seyfert activity, origin of the soft X-ray excess and the power law component, relativistic Fe $K\alpha$ studies, Accretion and Planck luminosity derivation, AGN unification through physical processes, gravitational wave physics, light bending and flux boosting effects, the standard accretion disc and deviations, advection dominated accretion flows and accretion above the Eddington limit, the efficiency limit, black hole growth, the light bending model in the Kerr black hole space time, X-ray periodicity and the Bardeen-Petterson effect, Comptonization effects, standard theory of General Relativity and its pseudo-complex extension.

Verteilungsfunktionen in der Astrophysik: Definition thermodynamisches Gleichgewicht, Erläuterung der Verteilungsfunktion $dN_p = (dgp)/(exp(-n + E/kT) \pm 1)$ und verständliche mathematische Ableitung der Maxwell-, Boltzmann, Saha-Verteilung und der Planckfunktion, anschauliche Beispiele für die Besetzungszahlen verschiedener Energiezustände für die Boltzmann- und Saha-Verteilung, Ableitung des Stefan-Boltzmann Gesetzes aus dem Planck'schen Strahlungsgesetz, Rayleigh-Jeans und Wien-Näherungen des Planck'schen Strahlungsgesetzes, Beispiele für Entartung in der Astrophysik, Unterschiede zwischen dem thermodynamischen Gleichgewicht und dem lokalen thermodynamischen Gleichgewicht, Erläuterung der Lösung der Strahlungstransportgleichung in der Astrophysik und verständliche mathematische Ableitung von vier grundlegenden elektromagnetischen spektralen Energieverteilungen in Abhängigkeit von Strahlungsintensität und der optischen Tiefe der Materie im Universum.

Dynamik des Planetensystems: Stern- und Planetenentstehung, die Frühphase des Planetensystems, Komponenten und Vermessung des Planetensystems, Dynamik des Planetensystems, Ableitung der drei Kepler'schen Gesetze und astrophysikalisch relevante Anwendungen.

Astrophysikalische Beschreibung von Strahlung und Materie: Beschreibung elektromagnetischer Strahlung, atomare Strahlungsprozesse, Streuprozesse in der Astrophysik, Absorption von Strahlung und Materie, Strahlungstransportgleichung und deren Lösung, Thermodynamisches Gleichgewicht und Strahlung, astronomische Helligkeits- und Farbsysteme.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei müssen mindestens 5 CP erreicht werden. Ansonsten kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Astronomie/Astrophysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle astrophysikalische Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden können aktuelle astrophysikalische Fachbegriffe verstehen.
- Die Studierenden besitzen die vertiefenden Grundlagen, die diversen astrophysikalische Systeme basierend auf verschiedenen theoretischen Ansätzen einzuordnen.
- Die Studierenden gewinnen ein umgreifendes Konzept für astronomische Größenordnungen.
- Die Studierenden können Verknüpfungen zwischen Mikro- und Makrokosmos erstellen.
- Die Studenten können aktuelle Fragestellungen der modernen Astrophysik wissenschaftlich untersuchen.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) plus Vortrag

Prüfungsvorleistungen

Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll

Lehr- / Lernformen

Vorlesungen, Übungen

Modulprüfung**Modulabschlussprüfung, benotet**

Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKEXASTM	Spezielle Themen der experimentellen Astrophysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–10
Inhalte			
<p>abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:</p> <p><i>Thermodynamik im Alltag:</i> Die Vorlesung beleuchtet eine Reihe von alltäglichen Phänomenen und Konstrukten unter thermodynamischen Gesichtspunkten, z.B.: Wärmebilanz von Lebewesen, Temperatur der Atmosphäre, Kältemaschinen, Verbrennungsmotoren, Wärmetauscher, Kochen, Sterne, Planeten</p> <p><i>Stern- und Planetenentstehung:</i> Physikalische Prozesse in sternbildenden Wolken, gravitative Instabilität, Strahlungstransport, Sternentstehung auf verschiedenen Skalen, Entstehung von interstellaren Wolken deren Entwicklung, Fragmentation und Kollaps, Vor-Hauptreihenentwicklung, Scheibenbildung, Planetenentstehung</p> <p><i>Experimentelle Tests der Relativitätstheorie:</i> Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie, Experimente zur speziellen Relativitätstheorie, Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, Experimente zur allgemeinen Relativitätstheorie</p> <p><i>Experimente zur nuklearen Astrophysik:</i> Messung von Reaktionen mit geladenen Teilchen, Messung von photoneninduzierten Reaktionen, Messung von neutroneninduzierten Reaktionen</p> <p><i>Physik und Chemie des Interstellaren Mediums:</i> Dynamik des interstellaren Gases, hydrodynamische Instabilitäten, Turbulenz. Entstehung und Strahlung des interstellaren Gases, Staubs, PAHs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). Energiegleichgewicht des ISM, Phasen des ISM, chemische Phasenübergänge. Chemische Prozesse, Bildung und Zerstörung von Atomen und Molekülen im ISM, Wechselwirkung Physik und Chemie. Spezielle interstellare Regionen: HII Regionen, diffuse Galaktische Wolken, Molekülwolken, Photonendominierte Regionen, X-Ray Dominierte Regionen, interstellare Schocks und Supernova-Überreste, Planetare Nebel. The dynamics of the interstellar gas, hydrodynamic instabilities, turbulence. Formation of and radiation from interstellar gas, dust and polycyclic aromatic hydrocarbons. The energy balance of the ISM, phases of the ISM and chemical phase transitions. Chemical processes, formation and destructions of atoms and molecules in the ISM, Interaction physics-chemistry. Special interstellar regions: HII regions, diffuse Galactic clouds, molecular clouds, photon-dominated regions and X-ray dominated regions, interstellar shocks and supernova remnants, planetary nebulae.</p> <p><i>Datenanalyse in Physik und Astronomie:</i> In der Vorlesung werden die Grundlagen der Datenanalyse sowie die Anwendung statistischer Methoden auf Daten aus der Astronomie und anderen Gebieten vorgestellt. Der Kurs behandelt folgende Themen: Deskriptive Statistik, Fehler und Unsicherheiten, Fehlerfortpflanzung, Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, mathematische Statistik (induktive Statistik bzw. Inferenzstatistik), Datenglättung, Interpolationsverfahren, Regressionsanalyse, Multivariate Verfahren, Methode der kleinsten Quadrate, Korrelationsanalyse, Hypothesentests und Anpassungstests. Praktische Aspekte, wie Datenvisualisierung, Datenformate sowie die Arbeit mit realen Daten spielen eine wichtige Rolle. Bei ausreichend Zeit werden zusätzliche Themen wie Bildbearbeitung, astronomische Datenreduktion und andere vorgestellt. Vorlesungsinhalte werden oft anhand realer, astronomischer Daten vorgestellt. Die Inhalte der Vorlesung sind aber auf alle wissenschaftlichen Gebiete anwendbar.</p> <p>The lecture introduces the basic aspects of data analysis and the application of statistical methods to data in astronomy and other sciences.</p> <p>The course covers the following topics: Descriptive statistics, uncertainties and errors, error propagation, probability distributions, statistical inference, data smoothing, interpolation, regression, multivariate analysis, least-squares fitting, correlation analysis, hypothesis testing, correlation and testing fits. We will also cover practical aspects, such as plotting and presenting data, data formats, and work with real data. If time allows additional topics like image processing, astronomical data reduction, and others will be introduced.</p> <p>The course will often use real astronomical data or applications from astronomy, but the contents of the course are of course applicable to all physical sciences.</p>			

Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie:

- Einführung und Kernphysikalische Grundlagen: Grundbegriffe, Kernreaktionen, Radioaktiver Zerfall
- Industrielle Anwendungen in Materialentwicklung und Analyse: Historische Anwendungen, Materialforschung, Sterilisation und Mutations Anwendungen, Tiefbohrungsanalyse
- Kernenergie und erneuerbare Energien: Fusion und Spaltung, Reaktoren, Reaktorgefahren und Speicher, Fusionsreaktoren, Erneuerbare Energien;
- Medizinische Anwendungen in Diagnostik and Behandlung: Radiographie, Bildgebende Verfahren, Bestrahlungsmethoden und Techniken;
- Isotopenanalyse und Iso-scapes: Isotopenverteilung und Fraktionierungsprozesse, Iso-Scapes, Klimaanalyse mit ^{18}O , Forensische und biologische Anwendungen
- Anwendung in Kunst und Archäologie: Radiologie, XRF und PIXE, Raman Spektroskopie, Radiokarbon Methode, Thermolumineszenz
- Der Bombenpeak: Ursprung des Bombenpeaks, Anwendungen des Bombenpeaks
- Gesellschaftliche Ängste: Zukunftshoffnungen mit und Zukunftsängste vor neuen Techniken

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Ziel des Moduls ist es, experimentelle Methoden kennen zu lernen, die im großen Rahmen der Astrophysik angewandt werden. Den Studierenden werden die grundlegende Herangehensweise der beobachtungsorientierten Modellbildung und der daraus resultierenden Notwendigkeit für experimentelle Belege an Beispielen dargelegt. Mit dem Abschluss des Moduls sollen die Studierenden in der Lage sein, Experimente zu konzipieren sowie deren Signifikanz und systematische Unsicherheiten zu diskutieren.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen

keine

Lehr- / Lernformen

Vorlesungen, Übung

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) zu den Inhalten aller von dem oder der Studierenden besuchten Lehrveranstaltungen des Moduls

4.2.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHKP1	Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<ul style="list-style-type: none"> • Nuclear models: liquid drop model, Fermi-Gas Model, Shell Model, Deform Shell Model • Collective Nuclear Models • Nucleon-Nucleon Interaction • Hartree-Fock Theory • The Klein-Gordon equation • Covariant electrodynamics • The Dirac equation • Quantum chromodynamics • Symmetries of QCD 			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden im Bereich der elementaren Kernphysik und relativistischen Quantenmechanik in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten. Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. Die Studierenden können forschungsnahen Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. Die Studierenden besitzen das theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul VTHKP2	Modulname Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Quantum Chromodynamics (QCD): The constituent quark model, basic hadrons in the quark model; Non-abelian gauge field theory – QCD; SU(N) symmetry; Approximate symmetries of QCD – chiral symmetry; Feynman diagrams • Effective Models: Thermodynamic models; String model; Non-equilibrium models and transport approaches to strongly interacting systems • Heavy Ion Interactions: relativistic heavy-ion collisions at GSI, FAIR, CERN, LHC; Quark-Gluon-Plasma (QGP), Observables for the QGP 			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden im Bereich der modernen Schwerionen- und Teilchenphysik in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten. Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. Die Studierenden können forschungsnahen Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. Die Studierenden besitzen das theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VQFT1	Modulname Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 8
Inhalte			
Relativistische Wellengleichungen, klassische Feldtheorie im Lagrangeformalismus, Symmetrien und Noethersches Theorem; Einführung Quantenfeldtheorie: kanonische Quantisierung für Skalar-, Spinor- und Vektorfelder, Störungstheorie, Feynman-Diagramme; Abelsche und nichtabelsche Eichfelder, Quantenelektrodynamik und Quantenchromodynamik, Berechnung einfacher Prozesse, die schwache Wechselwirkung, vereinigte Beschreibung der Wechselwirkungen im Standardmodell.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul befähigt Studierende zur Behandlung von relativistischen Quantensystemen mit unendlich vielen Freiheitsgraden. Sie können den allgemeinen Formalismus auf die fundamentalen Wechselwirkungen des Standardmodells der Teilchenphysik anwenden und sind in der Lage, Streuquerschnitte für alle elementaren Prozesse in führender Näherung zu berechnen. Nach Abschluss des Moduls können Studierende Bachelor- oder Masterarbeiten in der theoretischen Teilchenphysik bearbeiten.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VQFT2	Modulname Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 8
Inhalte			
Feldquantisierung im Pfadintegralformalismus, Feynmanregeln der QCD und perturbative Auswertung, Renormierung und Renormierungsgruppe, asymptotische Freiheit und nichtperturbative Physik, Einführung in die Gittereichtheorie			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Einführung sehr allgemeiner theoretischer Konzepte (Pfadintegrale, Renormierungstheorie) und ihre Anwendung auf konkrete, beobachtbare Systeme. Erkennen der Analogien zwischen statistischen und quantenfeldtheoretischen Systemen. Erlernen nichtperturbativer Techniken zur Evaluation von Feldtheorien.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VKT1	Modulname Quarkstruktur der Materie	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Elastische und inelastische Elektron- und Neutrinostreuung, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, Phänomenologie der Quantenchromodynamik, Farben, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul vermittelt Kenntnisse über die elementare Struktur der Materie auf der Ebene von Quarks und Gluonen und gibt einen Einblick in die Phänomenologie der elementaren starken Wechselwirkung. Ziel der Vorlesung ist insbesondere die Vermittlung des Konzeptes des Streuexperimentes. Es soll herausgearbeitet werden, wie aus den ermittelten Streudaten die jeweilige Information zur Struktur der Materie gezogen werden kann.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKT2	Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Schwache Wechselwirkung: Leptonen, Quarkmischungen, Neutrinooszillationen, Paritätsverletzung, Vektor-Axialvektor Kopplung, Neutrale Kaonen, CP-Verletzung, elektroschwache Vereinheitlichung.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Vorlesung behandelt die Eigenschaften der schwachen Wechselwirkung, anhand derer die wichtigsten Merkmale des Standardmodells und seine freien Parameter diskutiert werden. Wichtige Konzepte der modernen Teilchenphysik wie Mischung und Oszillation werden behandelt. Die Vorlesung endet mit einem Ausblick auf die aktuellen offenen Fragen des Feldes wie der elektroschwachen Symmetriebrechung und Physik jenseits des Standardmodells. Die ausführliche Diskussion von Schlüsselexperimenten soll die Fähigkeit schärfen, eine Verknüpfung zwischen experimenteller Beobachtung und physikalischem Sachverhalt herzustellen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VKT3	Modulname Starke Kernkraft und Kernmodelle	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Starke Kernkraft, Deuteron, Streuexperimente, Streulänge, Fermigasmodell und Schalenmodell, Transferreaktionen, Elektromagnetische Kernübergänge, Kollektive Kernanregungen			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses weiterführende Modul richtet sich an Studierende, die sich auf eine Abschlussarbeit im Bereich Kern- und Teilchenphysik vorbereiten. In ihm werden vorhandene Kenntnisse der Kernphysik vertieft und mit aktuellen Forschungsthemen verknüpft. Die Studierenden werden in die Lage versetzt,			
<ul style="list-style-type: none"> - forschungsnahe Problemstellungen thematisch einzuordnen und mit den vermittelten Methoden zu bearbeiten; - die Grenzen der Gültigkeit verschiedener kernphysikalischer Konzepte zu erkennen und geeignete Ansätze zu benennen; - Aufbau und Konzept aktueller kernphysikalischer Experimente zu beurteilen und zu deren Optimierung beizutragen; - Themen der aktuellen kernphysikalischen Forschung eigenständig in der Fachliteratur zu recherchieren und wiederzugeben. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKT4M	Kern- und Teilchenphysik 4 für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie:</i> Photonselbstenergie, Elektronenstreuung, Paarvernichtung, zeitartige/raumartige Photonen, Parton-Verteilungsfunktionen, elektromagnetische Formfaktoren, Dalitz-Zerfälle, Übergangsformfaktoren von Hadronen, In-Medium Spektralfunktionen von Hadronen, thermische Photonen, Di-Leptonen.</p>			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas:</i> Das Phasendiagramm der Quanten-Chromodynamik, Experimente der ultra-relativistischen Schwerionenphysik, Reaktionsdynamik und globale Observablen, Sonden des Quark-Gluon Plasmas: Seltsame Teilchen, Jets, Photonen und J/ψ</p>			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen:</i> QCD-Bindungszustände (klassische, angeregte und exotische Systeme); Reaktionsmechanismen (Produktion und Zerfall von Hadronen); Statisches Quarkmodell und SU(3) und die Konsequenzen; Realistische Quarkmodelle; Analysemethoden und Systematik (sehr ausführlich); Experimente zur Hadronenspektroskopie (gestern, heute und morgen)</p>			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia:</i> Produktionsprozesse schwerer Quarks (pQCD), Hadronen mit schweren Quarks (D/B Mesonen, Baryonen und Quarkonia), Verteilungsfunktion, Flavoroszillationen, nicht-relativistische Schrödingergleichung, Zerfälle, experimentelle Messungen, theoretische Modelle (FONLL, CSM, CEM, NRQCD) und Simulationen (PYTHIA, POWHEG) in Nukleon-Nukleon Kollisionen, Energieverlust und Thermalisierung schwerer Quarks im QGP, Unterdrückung und Regeneration von Quarkonia im QGP.</p>			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen:</i> Strangeness als Signatur für das Quark-Gluon-Plasma, schwache Zerfälle, Identifikation von Teilchen, Hadronenproduktion im statistischen-thermischen Modell, Strangeness-Enhancement bzw. Alternativen (Energie- und Multiplizitätsabhängigkeit), Kaon-Nukleon-Potential, Kaonen in Kernen und kaonische Atome, Hyperkerne, Transportmodelle, Kaonische Cluster, Strangeness-Produktion unterhalb der Schwelle.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. Dazu stehen vier Lehrveranstaltungen zur Auswahl, von denen eine absolviert werden muss. In diesen wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden des jeweiligen Spezialgebietes gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.) in der von dem oder der Studierenden gewählten Vorlesung	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VDP	Physik der Teilchendetektoren	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>Das Modul dient der fachlichen Spezialisierung auf dem Gebiet der experimentellen Kern- und Teilchenphysik. Die Vorlesung dient als Ergänzung zu den Modulen VEX4A und VKT1–4 und ist eine Vorbereitung auf das Fortgeschrittenenpraktikum und eine BA/MA-Arbeit in diesem Spezialgebiet. Es werden die physikalischen Grundlagen zum Nachweis von Teilchenstrahlung vermittelt. Neben der Diskussion der Wechselwirkungen von Strahlung mit Materie werden die wichtigsten Detektortypen und ihre Anwendungen in aktuellen und geplanten Experimenten der Kern- und Teilchenphysik vorgestellt. Erworbenes Wissen kann auf andere Bereiche der experimentellen Physik angewendet werden.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Aufgrund seiner inhaltlichen Verbindung der Gründe und Techniken für den Teilchennachweis, den Grundlagen der elementaren Wechselwirkung von Teilchen mit Materie und Engineering-Aspekten sind die Studierenden auf die Konzeption und den Umgang mit modernen Teilchendetektoren vorbereitet. Die Studierenden kennen die wesentlichen Techniken des Teilchennachweises. Den Studierenden sind die grundlegenden Konzepte und technologischen Randbedingungen geläufig. Die Studierenden kennen komplexe moderne Detektorarrangements.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VANAHEP	Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
Concepts of Data Analysis in High-Energy Physics, Modular Programming, Control Structures, Basic Variables, Functions, Objects, Encapsulation, Histograms, Trees and NTuples, Monte-Carlo Techniques and Random Number Generators, Analysis of Experimental Data (Exemplary Data Analysis, Acceptance & Efficiency Corrections)			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Einführung in die Datenanalyse von Hochenergieexperimenten mit C++ und ROOT. Neben einer Einführung in die Grundlagen der Programmierung werden grundlegende Techniken in der Datenanalyse exemplarisch erarbeitet.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VANAHEP2	Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<ul style="list-style-type: none"> • Signal- und Systemtheorie: Analyse von Systemen, Fourier- und Laplace-Transformation, Signalformung, Abtasttheorem, Digitalisierung, Rauschen, DFT, FFT • Moderne Multi-Level Triggersysteme, Bestimmung von Triggereffizienzen durch Monte-Carlo Simulationen, Moderne Datennahmesysteme • Methoden und Algorithmen zur Rekonstruktion von Kollisionspunkt und Teilchenspuren (Vertexing und Tracking) • Clusterfindungsalgorithmen und Jetrekonstruktion (Jet-Finding algorithms) • Spezielle Statistische Methoden: Bestimmung von Signifikanz-Intervallen und oberen Schranken, p-Value, Likelihood, Bayesian Analysis, Unfolding • Multivariate Analysemethoden (MVAM) und Machine Learning • Debugging-Werkzeuge und Skriptsprachen • ROOT und Interfaces zu speziellen Softwarepaketen 			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden beherrschen im Detail verschiedene Analysemethoden, die in der aktuellen Forschung im Bereich der experimentellen Hochenergiephysik angewandt werden und in der Basislehrveranstaltung <i>Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik</i> nur kurz andiskutiert werden können.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKHEPM	Spezielle Themen der Kern- und Elementarteilchenphysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–12
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Gittereichtheorie:</i> Gitterdiskretisierung von skalaren Feldern, fermionischen Feldern und Eichfeldern; Kontinuumsimes; grundlegende Monte-Carlo-Simulationsalgorithmen (Metropolis, Heatbath, HMC); Berechnung typischer QCD-Observablen (Wilson-Loops und das statische Quark-Antiquark-Potential, Hadronmassen, Zerfallskonstanten); Hopping-Parameter-Expansion; Gitterstörungstheorie; Verbesserung von Gitterwirkungen und -operatoren.</p> <p><i>Transporttheorie:</i> Verteilungsfunktionen, Boltzmannsche kinetische Gleichung, Relaxationszeitnäherung, Transportkoeffizienten, kinetische Prozesse in externen Felder, Virial-Entwicklung, kinetische Theorie der Plasmen, Landau Dämpfung, Lorentz-Plasma, kinetische Koeffizienten in starken Magnetfeldern, elektromagnetische Wellen, Fermi-Flüssigkeiten, thermische Leitfähigkeit und Viskosität der Fermi-Flüssigkeiten, Schalldämpfung in Fermi-Flüssigkeiten, kinetische Gleichung für Bose Teilchen, Nichtgleichgewichts-Greensfunktionen, Fluktuations-Dissipations Theorem, statistischer Operator im Nichtgleichgewicht, Variationsrechnungen für Transportkoeffizienten, Anwendungen der Kubo Formel.</p> <p><i>Thermische Quantenfeldtheorie:</i> Pfadintegral und thermische Zustandssumme, „imaginary-time“ Formalismus, Störungstheorie, Feynmandiagramme und Temperatur, Skalar-, Dirac- und Eichfelder bei endlichen Temperaturen, Anwendungen im Standardmodell (QED, QCD), Phasenübergänge. Optional: endliche Dichte, magnetische Hintergrundfelder, effektive Theorien; „real-time“ Formalismus, Resummation und Grenzen der Störungstheorie, Linear Response.</p> <p><i>Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1:</i> Rückblick gewöhnlicher Hamilton-Lagrange-Formalismus, Erweiterung, so dass die Zeit von einem Parameter zu einer dynamischen Variablen wird, erweiterte, kanonische Transformation, Beispiele: Lorentz-Transformation. verallgemeinertes Noether Theorem, Anwendung: relativistisches Pfadintegral, Hamilton-Lagrange Formalismus in der Feldtheorie: kanonische Transformationen, Poisson-Klammern, Liouville-Theorem, Anwendung: Noether Theorem in der Feldtheorie, Eichtheorien, Feynman Formalismus, Ausblick: Erweiterte kanonische Transformationen in der Feldtheorie (dynamische Raumzeit)</p> <p><i>Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 2:</i> Rückblick Erweiterter Hamilton-Lagrange-Formalismus der Punktmechanik, erweiterte, kanonische Transformation, Beispiele: Lorentz-Transformation. verallgemeinertes Noether Theorem. Anwendung: relativistisches Pfadintegral, Hamilton-Lagrange Formalismus in der Feldtheorie: kanonische Transformationen, Poisson-Klammern, Liouville-Theorem, Anwendung: Noether Theorem in der Feldtheorie, Eichtheorien Erweiterte kanonische Transformationen in der Feldtheorie (dynamische Raumzeit)</p> <p><i>Spezielle Relativitätstheorie:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vierer-Vektoren, relativistische Kinematik, Anwendungsbeispiele • Lorentz-Transformation, Poincare-Gruppe, Noether-Theorem • Relativistische Formulierung der Elektrodynamik und Hydrodynamik • Einführung in relativistische Wellengleichungen <p><i>Konzepte der modernen theoretischen Physik:</i> Darstellung übergreifender Zusammenhänge in der Physik an Beispielen aus der Mechanik, Elektrodynamik, und Quantenmechanik. Grundlegende Einführung und Vertiefung der Begriffe der speziellen Relativitätstheorie und in Symmetrien und Gruppen am Beispiel der Rotationsgruppe und der Lie-Gruppen. Formulierung der Theorien im (relativistischen) Lagrangeformalismus.</p>			

Renormierung in der Quantenfeldtheorie: Nach einer kurzen Rekapitulation der Formulierung relativistischer Quantenfeldtheorien im Pfadintegralformalismus und die Herleitung der Feynman-Diagrammregeln für die Störungstheorie wird in die grundlegenden Techniken der Renormierung divergenter "Schleifenintegrale" eingeführt. Es werden sowohl die dimensionale Regularisierung und die "minimal subtraction"-Renormierungsschemata als auch die BPHZ-Renormierung zunächst am Beispiel einer einfachen skalaren Feldtheorie besprochen. Diese Techniken werden dann auf Eichtheorien (QED und QCD) angewendet und deren Renormierbarkeit in der "Background-Field Gauge" bewiesen. Danach werden die Renormierungsgruppengleichungen und die asymptotische Freiheit nichtabelscher Eichtheorien (insbesondere der QCD) besprochen. Die Vorlesung schließt mit einer Behandlung von Anomalien, d.h. Symmetrien der klassischen Feldtheorie, die durch die Quantisierung explizit gebrochen werden.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Kern- und Elementarteilchenphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen

Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll

Lehr- / Lernformen

Vorlesungen, Übungen

Modulprüfung**Modulabschlussprüfung, benotet**

Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.2.4 Festkörperphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VEXFP1	Experimentelle Festkörperphysik 1	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden können eine Bewegungsgleichung für die gekoppelte Bewegung aller Atome im Festkörper aufstellen und Näherungsverfahren entwickeln, um sie zu lösen. Sie können außerdem die Schwierigkeiten identifizieren, die die Beschreibung vieler (insbesondere wechselwirkender) Teilchen (Elektronen) in einem periodischen Potential, z.B. des Kristallgitters, mit sich bringt und ein Konzept zur Lösung des Problems erarbeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse können sie kritisch bewerten und deren Gültigkeitsbereich im Vergleich mit experimentellen Beobachtungen, gewonnen durch moderne physikalische Messmethoden, verifizieren. Die Studierenden lernen dabei, sich die Grundlagen für die weitere Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus und Halbleiterphysik, sowie der technischen Anwendung von Festkörpermateriale, auf breiter Basis zu erarbeiten. Das Modul bereitet Studierende auf eine Bachelor- oder Masterarbeit in experimenteller Festkörperphysik vor.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VEXFP2	Experimentelle Festkörperphysik 2	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Nach erfolgreicher Beendigung des Moduls sind die Studierenden sehr gut mit komplexeren festkörperphysikalischen Eigenschaften, die sich aus der Fermi-Statistik und der elektronischen Bandstruktur ergeben, vertraut. Sie sind in der Lage, eine grundlegende Integro-Differentialgleichung, wie die Boltzmannsche Transportgleichung, aufzustellen und mittels eines Näherungsverfahrens zu lösen. Sie können selbständig die relevanten Fragestellungen identifizieren, die mit der Wechselwirkung von Ladungsträgern mit elektromagnetischer Strahlung oder mit kollektiven elektrischen und magnetischen Ordnungsphänomenen zusammenhängen, und Lösungswege aufzeigen. Insbesondere sind sie in der Lage, experimentelle Ansätze zu ermitteln und deren Ergebnisse zu interpretieren, um diese theoretischen Beschreibungen zu überprüfen. Die Studierenden lernen dabei, sich die Grundlagen für die weitere Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus und Halbleiterphysik, sowie der technischen Anwendung von Festkörpermaterialeien, auf breiter Basis zu erarbeiten. Das Modul bereitet Studierende auf eine Bachelor- oder Masterarbeit in experimenteller Festkörperphysik vor.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKRISZ	Grundlagen der Kristallzuchtung	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p><i>Grundlagen der Kristallzuchtung:</i> Charakteristika des kristallinen Zustands der Materie; Physikalische Grundlagen der Kristallzuchtung: Phasendiagramme, Keimbildung, Segregation, Hydrodynamik; Methoden zur Kristallzuchtung aus verschiedenen ungeordneten Ausgangsphasen; Kristallzuchtung ausgewählter Systeme aus der Festkörperforschung; Verfahren zur Material- und Kristallcharakterisierung: Differentielle Thermoanalyse, Röntgendiffraktometrie, Optische und Elektronenmikroskopie.</p> <p><i>Praktikum Grundlagen der Kristallzuchtung:</i> Im Rahmen des Laborpraktikums werden die in der Vorlesung gelernten Züchtungs- und Charakterisierungsmethoden konkret auf ein System angewendet.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul vermittelt die erforderlichen Grundlagen zur erfolgreichen Mitarbeit in einem experimentellen Projekt zur Kristallzuchtung. Die Studierenden besitzen dann die</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fähigkeit, den hier angestrebten kristallinen Zustand von anderen Erscheinungsformen fester Materie abgrenzen zu können. • Fähigkeit zur Beurteilung der Machbarkeit von Kristallzüchtungsvorhaben auf Grundlage von Phasendiagrammen. • Kenntnis der experimentellen Vorgehensweise zur Bestimmung von Phasendiagrammen. • Kenntnis der Mechanismen der Keimselektion und Einsicht in die Bedingungen unter denen eine erfolgreiche Keimbildungskontrolle möglich ist. • Kenntnis der typischen Grenzschichten während des Kristallwachstums und Einsicht in die hierdurch vermittelten Einwirkungen hydrodynamischer Instabilitäten auf die Materialeigenschaften. • Kenntnis typischer Kristallzüchtungsmethoden und Fähigkeit, diese nach spezifischen Schwierigkeiten und Realisierungsaufwand zu beurteilen. • Fähigkeit, kristalline Proben über Mikroskopie und Röntgenmethoden so zu charakterisieren, dass sie erfolgreich in die Festkörperforschung eingebracht werden können. • Kenntnis der Kristallzüchtungsmethoden in der Festkörperphysik 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen und am Praktikum		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung, Praktikum		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (60 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHFP1	Einführung in die Theoretische Festkörperphysik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
Struktur von Festkörpern, Born-Oppenheimer Näherung, Gitterschwingungen, nichtwechselwirkende Elektronen, Bloch Theorem, Bandstruktur, Halbleiter, elektronischer Transport, Elektron-Elektron-Wechselwirkung, Modelle für wechselwirkende Elektronen			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden haben einen Überblick über die grundlegenden Konzepte der theoretischen Festkörperphysik. Sie kennen die kristalline Struktur von Festkörpern, wissen um die Existenz unterschiedlicher kondensierter Phasen und sind mit den elektronischen und thermodynamischen Eigenschaften von Festkörpern sowie den elementaren Anregungen in ihnen vertraut. Sie beherrschen die heute gebräuchlichen fortschrittlichen Methoden zur theoretischen Beschreibung dieser Phänomene.</p> <p>Die Studierenden lernen insbesondere, wie physikalische Beobachtungen in der Festkörperphysik mit mathematischen Gleichungen dargestellt werden können. Außerdem fördert die Behandlung der Gleichungen die Kreativität der Studierenden bei ihren Überlegungen, wie sie zu lösen sind.</p> <p>Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich der theoretischen Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind sie in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung in der theoretischen Festkörperphysik einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.</p> <p>Das Modul kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (Module VEXFP1 & 2) absolviert werden.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VTHFP2	Modulname Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Wechselwirkende Elektronen, Hartree-Fock Theorie, Magnetismus, Supraleitung, Fermi-Flüssigkeitstheorie und Quasi-Teilchen-Konzept, Quanten-Hall-Effekt			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden sind im Detail mit dem quantenmechanischen Hintergrund des Magnetismus vertraut. Sie wissen um die Existenz kollektiver Phänomene in Festkörpern wie der Supraleitung und können diese von 1-Teilchen-Quanteneffekten abgrenzen. Sie beherrschen die in der modernen theoretischen Festkörperphysik üblicherweise verwendeten Vielteilchenmethoden, insbesondere die Dichtefunktional-Theorie, aber auch Zugänge zur Beschreibung hochkorrelierter Zustände. Im Zusammenspiel der behandelten physikalischen Probleme mit den verschiedenen für die Beschreibung wechselwirkender Vielteilchensysteme eingesetzten Methoden gewinnen die Studierenden ein tiefes Verständnis für die fundamental nicht-klassischen Phänomene in Festkörpern. Die Studierenden können auf dieser Basis physikalische Fragestellungen in abstrakte mathematische Gleichungen übersetzen und sind in der Lage, mit den resultierenden, zunehmend komplexeren mathematischen Methoden auch praktisch umzugehen.</p> <p>Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Masterarbeit in der theoretischen Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind sie in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung in der theoretischen Festkörperphysik einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.</p> <p>Das Modul kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (Module VEXFP1 & 2) absolviert werden.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKEXFPM	Spezielle Themen der experimentellen Festkörperphysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–10
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien:</i> Auswahl aus folgenden Themen: Historischer Überblick, Magnetostatik, Magnetismus lokalisierter Elektronen, Ferromagnetismus und Austauschwechselwirkung, Molekularfeldtheorie, Antiferromagnetismus und andere Arten magnetischer Ordnung (z.B. Skyrmionen), magnetische Domänen, Magnetisierungsdynamik, Magnetismus von Nanostrukturen, moderne Messmethoden aus der aktuellen Forschung, magnetische Materialien für technische Anwendungen.</p>			
<p><i>Einführung in die Supraleitung:</i> Auswahl aus folgenden Themen: Grundlegende supraleitende Eigenschaften, Phänomenologie und Thermodynamik, phänomenologische Modelle: London- und Ginzburg-Landau-Theorie, Typ-I- und Typ-II-Supraleiter, Quanteninterferenzphänomene (Josephson-Effekte), Grundzüge der BCS-Theorie, Konsequenzen der BCS-Theorie, Bose-Einstein-Kondensation, Anwendungen der Supraleitung (z.B. Quanten-Computing), neue supraleitende Materialien, konventionelle und unkonventionelle Supraleiter.</p>			
<p><i>Experimentelle Tieftemperaturphysik:</i> Auswahl aus folgenden Themen: Temperaturskalen, Thermometrie, Quantenflüssigkeiten $^4\text{He}/^3\text{He}$: Phasendiagramme, Superfluidität, Kühltechniken im Kelvin- sowie Subkelvin- und Submillikelvin-Bereich.</p>			
<p><i>Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik:</i> Tieftemperaturphysik/Kryotechnik, Probenherstellung, Streuexperimente/Spektroskopie (Neutronen, optische Methoden, Photoemission), thermodynamische Methoden (z.B. spezifische Wärme, thermische Ausdehnung), magnetische Messungen (auf der Makro-, Mikro- und Nanoskala), elektrischer und thermischer Transport (auch zeitaufgelöst) und dielektrische Messungen, Rastersondenmethoden (Elektronenmikroskopie, Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie), etc. Beispiele aus folgenden Forschungsbereichen: stark korrelierte Elektronensysteme, Metall-Isolator-Übergänge, Physik der Gläser, Magnetismus, Supraleitung, Nanoelektronik, (magnetische) Halbleiter, Spintronics, u.a.</p>			
<p><i>Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen:</i> Ausgewählte Kapitel der Quantentheorie (Sub-Bänder und niedrig-dimensionale Systeme, Quantenbox, Quantenpunkt, Quantenreflexion/Transmission/Tunneln, etc.), Materialien (Halbleiter-Heterostrukturen, Organische Halbleiter, Kohlenstoff-Nanoröhren und Fullerene, Graphen, Granulare Systeme, etc.), Fabrikations- und Charakterisierungstechniken (Dünnschichttechniken, Nanostrukturierung, Selbstorganisation, Rasterkraftmikroskopie, etc.), Elektronischer Transport in Nanostrukturen (Streulängen, Diffusion, Dephasierung, Landauer-Formel, etc.), Einzelelektronentunneln und Bauelemente (Coulomb-Blockade, Einzelelektronentransistor, Coulomb-Oszillationen, etc.).</p>			
<p><i>Halbleiter- und Bauelementephysik:</i> Einführung der festkörperphysikalischen Besonderheiten von Halbleitern (Materialeigenschaften, Bandstruktur, Exzitonen, Dotierung, DC-Leitfähigkeit); Übergänge und Kontakte (p-n-Übergang, Schottky-Kontakt, Ohmscher Kontakt, Heterostruktur-Übergang); Feldeffekt, Tunneleffekt; Halbleiterbauelemente (Diode, Bipolartransistor, Feldeffekttransistor, Leuchtdiode, etc); Hochfrequenzeigenschaften und -bauelemente (Gunn-Effekt, Schottkydiode), Quantisierungseffekte und ihre Nutzung (Resonante Tunnelndiode, HEMT-Transistor, HBT-Transistor, etc.); Bauelementemodellierung und Schaltungsentwurf; Bauelemente auf Nicht-Standardhalbleitern (Graphen, Kohlenstoffröhren).</p>			
Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.			

Lernergebnisse/Kompetenzziele	
<p>Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten. 	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	
Vorlesungen, Übung	
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.2.5 Optik, Laser- und Atomphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKATOM	Spezielle Themen der Atomphysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Atomphysik 1:</i> Atome als quantenmechanische Teilchen: Quantenoptik mit Atomen, Doppelspalt mit Materiewellen, Dekohärenz, Verschränkung, Quantenkryptographie, Quantenradierer. Wechselwirkung von Atomen und Molekülen mit einzelnen Photonen, Photoeffekt, Wirkungsquerschnitt, Drehimpulse, Wechselwirkung von Atomen mit starken Laserfeldern</p>			
<p><i>Atomphysik 2:</i> Moleküle: quantenmechanische Beschreibung, Superposition von atomaren Zuständen (LCAO), Born/Oppenheimer-Näherung, Beschreibung molekularer Potentiale, Franck/Condon-Prinzip, Photoionisation von Molekülen, zeitlicher Ablauf und Wigner-Phase, Emissionswinkelverteilung im molekularen Bezugssystem, Auger-Zerfall in Atomen und Molekülen, Post Collision Interaction, nicht-lokale molekulare Zerfallsprozesse, Interatomic Coulombic Decay und verwandte Prozesse, stationäre Zustände und "Bewegung in der Quantenmechanik"</p>			
<p><i>Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik:</i> Vor- und Nachteile verschiedener typischer Messsonden (geladene Teilchen, kurze intensive Laser Pulse, Synchrotronstrahlung). Targets: insbes. effusive Gastargets, Atom- und Molekularstrahlen, Überschallgasjets. Detektoren: u. a. Channeltrons, MCPs, Phosphorschirme, CCDs, Delaylineanoden. Aktuelle Techniken: Impulsspektroskopie, velocity map imaging, magnetische Flasche, Coulomb Explosion Imaging, Flugzeitspektrometer, dispers. Elektronenspektrometer, Röntgenbeugung, PEEM, Photoelectron diffraction</p>			
<p><i>Laser- und Optoelektronik:</i> Mathematische Beschreibung elektromagnetischer Felder, Fourier-Transformationen, zeitliche und räumliche Wellenausbreitung, Gauß-Strahlen, geometrische Optik, optische Resonatoren, Wellendispersion. Lasergrundlagen: Strahlende Übergänge, spektrale Verbreiterung, Verstärkungssättigung, Dauerstrich- und gepulster Laserbetrieb, Modenkopplung, verschiedene Lasertypen (Gas, Festkörper, Farbstoff), Halbleiterlaser. Nichtlineare Optik: Oberwellenerzeugung, Phasenanpassung, elektrooptische Modulation, Selbstphasenmodulation, Messung optischer Pulse, Detektion optischer Strahlung.</p>			
<p><i>Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen:</i> Modelle für niederenergetische Kernreaktionen; niederenergetische Teilchenbeschleuniger; Detektoren für den Nachweis von Ionen, Röntgen- und Gammastrahlung; Bremsvermögen von Ionen in Materie; Grundlagen der Ionenimplantation; Berechnung von Implantationsprofilen; Beispiele für die Oberflächenmodifizierung mittels Ionenimplantation; Überblick über die Verfahren der Ionenstrahlanalytik (RBS, PIXE, PIGE, NRA, Channeling); Tiefenprofilierung leichter Elemente mittels PIGE; Anwendung der Oberflächenmodifizierung in der Materialforschung und Medizin.</p>			
<p><i>KurzpulsLasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen:</i> Kurzpulse, Propagation, Erzeugung, Verstärkung (CPA); Strahl- und Pulsparameter (Strahlprofil, Polarisation, Fokussierbarkeit, CEP); Optik (Linsen, Spiegel, AR-Beschichtung: dielektrische Spiegel, Strahlteiler und Dünnschichtpolarisatoren, Wellenplatten, Teleskope), Aberrationen; Nichtlineare Optik: Frequenzverdoppelung, Weißlichterzeugung, Optisch-parametrische Verstärkung (TOPAS), Pulskompression; Strahl- und Pulscharakterisierung (Strahlprofil-Analyse, Autokorrelator, SPIDER, FROG, M²); Optische Feldsynthese: Puls-Shaper, Zwei-Farben- und OAM-Felder; Pump-Probe Technik; Tunnel- und Multiphotonenionisation, Elektronen Impulsverteilungen, ADK Theorie, Semi-klassische Simulation, Nichtadiabatische Effekte, Elektronenspin, Photonenimpuls, MO-ADK; Anwendungen der Starkfeldionisation: Messung der Laserfeldintensität, Coulomb-Explosion Imaging, Erzeugung der hohen Harmonischen, Laser-Induced Electron Diffraction, Photoelectron Circular Dichroism</p>			
Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.			

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Atomphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen

Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll

Lehr- / Lernformen

Vorlesungen

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKPHSM	Photonik und Spektroskopie für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Nano-Optik und Kohärente Optik:</i> Optische Abbildung im Wellenbild; Abbildung und Fourier-Transformation; nichtkonventionelle linsenfremde Abbildungsmethoden (Nahfeldverfahren, Synthetische Apertur); Holographie; Kohärenz und Korrelation, Eigenschaften von Laserlicht; Tomographie; Kristall-Optik; negativer Brechungsindex; Metamaterialien; Transformationsoptik; "Tarnkappe" aus Metamaterial; Nichtlineare Optik</p> <p><i>Laser- und Optoelektronik:</i> Mathematische Beschreibung elektromagnetischer Felder, Fourier-Transformationen, zeitliche und räumliche Wellenausbreitung, Gauß-Strahlen, geometrische Optik, optische Resonatoren, Wellendispersion. Lasergrundlagen: Strahlende Übergänge, spektrale Verbreiterung, Verstärkungssättigung, Dauerstrich- und gepulster Laserbetrieb, Modenkopplung, verschiedene Lasertypen (Gas, Festkörper, Farbstoff), Halbleiterlaser. Nichtlineare Optik: Oberwellenerzeugung, Phasenanpassung, elektrooptische Modulation, Selbstphasenmodulation, Messung optischer Pulse, Detektion optischer Strahlung.</p> <p><i>Einführung in die Terahertz-Spektroskopie:</i> Optoelectronic generation and detection of THz pulses, spectroscopic quantities (refractive index, complex dielectric function, optical conductivity) and their extraction from THz transmission measurements, probing the high-frequency conductivity in semiconductors and nano-materials, fundamentals of the physics of charge carriers in semiconductors (effective mass, optical transitions, carrier transport in the band picture, carrier relaxation), optical-pump/THz-probe spectroscopy, Gunn effect; basics of superconductivity, high-frequency conductivity of superconductors, Cooperpair breaking and reformation, Rothwarf-Taylor model; semiconductor quantum-well structures, intra-subband transitions, semiconductor superlattices, Bloch oscillations, THz-emission spectroscopy; non-linear THz spectroscopy, phenomena at high THz fields/intensities for the example of graphene and semiconductors.</p> <p><i>Terahertz-Elektronik:</i> Verfahren und Bauelemente der Terahertz Elektronik werden studiert und experimentelle Methoden in der Terahertz Elektronik untersucht. Folgende Themen werden vorgestellt: elektronische Bauelemente bei Terahertz Frequenzen; elektronische Signalerzeugung; elektronische Pulserzeugung; Verfahren und Grenzen; Terahertz-Signaldetektion mit elektronischen Bauelementen; Betriebsparameter; Komponenten und Verfahren der Terahertz-Elektronik in der Kommunikation, Bildgebung und Sensorik; elektronische Terahertz Systeme.</p> <p><i>(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden:</i> Experimentelle Methoden werden vorgestellt aus den Bereichen: Ultrakurzzeitspektroskopie; nichtlineare Laserspektroskopie; Einzelmolekülspektroskopie; Einzelmolekülmikroskopie; Kraftmikroskopie; Optische Pinzetten; zeitaufgelöste NMR-Spektroskopie; Massenspektrometrie; zeitaufgelöste Röntgenbeugung, Kristallographie und Elektronenbeugung. Der Informationsgehalt der verschiedenen Experimente wird anhand wichtiger Beispiele erläutert. Diese umfassen unter anderem: Protonentransfer; Bruch und Bildung chemischer Bindungen; Katalysatoren; Bildung transientser Strukturen in Flüssigkeiten; Energietransfer in Molekülen; Proteinfaltung; Enzymfunktion; Photorezeptoren; Molekulare Motoren; Photosynthese.</p> <p>Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.</p>			

Lernergebnisse/Kompetenzziele	
<p>Dieses Modul bereitet Studierende auf ein Forschungsprojekt im Bereich der Photonik und Spektroskopie mit kohärenter Strahlung vor, das den Spektralbereich von Mikrowelle bis Ultraviolett abdeckt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden lernen, die Möglichkeiten und Grenzen herkömmlicher Methoden zur Erzeugung, Detektion und spektroskopischen Verwendung von Strahlung zu verstehen und wie moderne Techniken neue Potenziale für Forschung und Anwendungen eröffnen. • Die Studierenden lernen, sowohl den Einsatz von Hochfrequenz-Elektronikbauteilen als auch quantenmechanische Mechanismen der Licht-Materie-Interaktion zu beschreiben und zu quantifizieren, einschließlich Aspekten der erreichbaren zeitlichen, spektralen und räumlichen Auflösung. • Je nach Wahl der Lernveranstaltungen vertiefen die Studierenden ihre Kenntnisse in der Dynamik von Festkörpermateriale (einschließlich nanoskaliger Bauelemente), chemischen und/oder biologischen Systemen. • Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Realisierung von Versuchsgeräten, Diagnosegeräten und modernsten technologischen Geräten. 	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test oder Präsentation
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	
Vorlesungen	
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.2.6 Beschleuniger-, Plasma- und angewandte Physik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VVAK	Vakuumphysik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
<p><i>Vakuumphysik I:</i> Kinetic theory of gases (pressure, velocity distribution, mean free path). Gas flow types: molecular, laminar and turbulent regimes. Compressible flow. Flow resistance (conductance), connection of resistances. Pumping speed. Choked flow. Transitional flow. Evaporation condensation. Pumping processes. Physics of vacuum pumps: Positive Displacement Pumps (liquid ring, rotary, roots). Multistage Pumps. Example of Pump down with Leak. Kinetic pumps (Molecular drag, Turbo Molecular, Diffusion Pump). Capture Pumps (Getter Pump + Example, Sputter-ion pump, Cryo-pump). Gauges: Short introductory to statistics of measurements (error-bars, Chi squared test), Liquid manometers (McLeod), Piston gauge, Capacitance Gauge.</p> <p><i>Vakuumphysik II:</i> Introduction of Kinetic theory of gases: Pressure and Temperature. Viscosity Gauges: Kinematic model of viscosity, Momentum transport, Effect of Boundary. Spinning Rotor Gauge. Thermal conductivity Gauges: Kinetic model of heat conductivity in gases, Effect of Boundary. Heat flux in a cylinder. Energy loss mechanisms (by radiation, by conduction, by gas transport). Pirani Gauge. Ionization Gauges: Hot Cathode Gauge, Bayard- Alpert Gauge. Cold Cathode Gauge: Penning Gauge. Inverted Magnetron Gauge. Partial Pressure Analysis: Quadrupole Mass Spectrometer, Magnetic Sector Analyzer, Time of Flight Mass Analyzer, Trochoidal Mass Analyzer, Omegatron. Leak Detection. Gas-Surface interactions and Diffusion: Adsorption, Absorption, Outgassing. Pressure Profile: equation of pressure evolution (x,t) and application to Accelerators. Beam collimation and Vacuum pressure. Vacuum instability.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden sind vertraut mit Berechnungsmethoden und Konzepten zur Auslegung von Vakuumkammern sowie zur Ausstattung mit Vakuumpumpen und Messgeräten. Die Studierenden sind nach Absolvieren dieses Moduls vorbereitet für diejenigen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind.</p> <p>Methoden zur Analyse der Restgasverteilung werden vermittelt. Oberflächenprozesse allgemein sowie speziell Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei intensiven Teilchenstrahlen werden vorgestellt.</p> <p>Die Vorlesung ist für alle Themengebiete hilfreich, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind und ergänzend zum erten Teil. Bei vielen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik werden die hier vermittelten Kenntnisse angewandt.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen, Übungen	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKBEP	Beschleunigerphysik	Wahlpflichtmodul	8–12
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<i>Einführung in die Beschleunigerphysik:</i> Beschleunigungsmechanismen, Linear- und Kreisbeschleuniger, Strahlerzeugung, Fokussierung, elektrostatische und hochfrequente Strukturen, HF-Erzeugung, Beschleunigeranwendungen			
<i>Linearbeschleuniger:</i> Elektronen- und Ionenquellen, Separationstechniken, Strahltransportelemente, Überblick über vielzellige Resonatoren, hochfrequenzphysikalische Grundlagen, Strahllast, Liouvillescher Satz, Vlasov- und Fokker-Planck-Gleichungen, raumladungsdominierte Strahlen, Raumladungskompensation, Anwendungen			
<i>Ringbeschleuniger und Speicherringe:</i> Kreisbeschleunigerkomponenten, Emittanz, Alternierende Gradienten Fokussierung, Strahltransport intensiver Strahlen, Strahlstabilität, Strahlkühlung, HF-Systeme, Ringstrahldynamik (transversal, longitudinal), selbstkonsistente Teilchenverteilungen			
Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Beschleunigerphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll	

Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKBEK	Beschleunigerkonzepte	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie:</i> Grundlagen und Phänomene der Supraleitung, wichtigste Verbindungen, Leiterherstellung, Spulenaufbau, Magnete, Hochfrequenzsupraleitung, supraleitende Resonatoren, Herstellung und Oberflächenpräparation, Tuning, Ankopplung, Messverfahren, aktuelle Forschungsprojekte</p> <p><i>Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik:</i> The lecture focuses on laser applications in particle accelerators. The contents of the lecture are: Introduction to lasers with a focus on high power lasers in the TW and PW range; Laser-plasma interactions and laser-matter interactions with the special application laser ion source"; Different methods of particle acceleration with high power lasers such as TNSA (Target Normal Sheath Acceleration), LWFA (Laser Wakefield Acceleration), and Dielectric Laser Accelerators with an overview of current research activities; The potential of laser driven accelerator concepts for the design of future research facilities and the applications of laser-accelerated beams; Beam matching of laser-accelerated beams to conventional linac structures and laser based beam diagnostics;</p> <p>Other topics of this lecture are free electron lasers (FELs) and their applications. Important mechanisms in FELs like undulators, self-amplified spontaneous emission, micro-bunching and seeding will be explained.</p> <p><i>Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose:</i> Es werden folgende Themen behandelt: Aufgaben der Strahldiagnostik an Beschleunigern, Messgeräte zur Strahlstrom-Messung, Verfahren der transversalen Profilmessung, Methoden der Emittanzbestimmung, Physik und Technik der Beam Position Monitore, Messung longitudinaler Strahlparameter, Strahlverlust-Detektion. Die Herleitung der Funktionsprinzipien der Instrumente wird ausführlich behandelt. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Durchführung von Messaufgaben mit praxis-relevanten Methoden als Teil der Übungen, d.h. mess-technischer Demonstrationen der Instrumente mit Oszilloskop, Spektrum- und Netzwerkanalysatoren.</p> <p><i>High Intensity Accelerators and their Applications:</i> Das Modul behandelt Hochintensitäts-Beschleuniger. Nach einer allgemeinen Einführung liegt der Schwerpunkt auf hohen Intensitäten und den assoziierten Effekten. Grundlagen der Strahldynamik, transversale und longitudinale Strahldynamik, Raumladungseffekte, spezielle Effekte in raumladungs-dominierten Beschleunigern, Hochstrom-Ionenquellen, HF-Parameter, RFQ-Strukturen, Driftröhrenstrukturen, supraleitende HF-Strukturen, FRANZ-Projekt, MYRRHA-Projekt, IFMIF, FRIB, ESS, FAIR, HBS.</p> <p>Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.</p>			

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Beschleunigerphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen

Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll

Lehr- / Lernformen

Vorlesungen

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKPLAM	Spezielle Themen der Plasmaphysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	8–12
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Plasmaphysik:</i> Plasmen im Universum und Labor, grundlegende Plasmamparameter, Plasmadichte und -temperatur, Ionisationsgrad, Plasmaerzeugung mit Hilfe von Entladungen, Ionen- oder Laserstrahlen, Einteilchenbewegung, Gyrationradius, Driftbewegungen, magnetische Spiegel, Townsend-Koeffizienten einer Entladung, Paschenkurve, Debye-Länge, Plasmafrequenz, Landau-Länge, Gamma-Parameter, lokales und partielles thermodynamisches Gleichgewicht, Boltzmann-Verteilung, Saha-Gleichung, weltweiter Energiebedarf, Umweltaspekte der Energieerzeugung, Brennstoffvorrat, Fusion in der Sonne, magnetischer Einschluss, Trägheitseinschluss, Bindungsenergie von Atomkernen, Schwellenenergie und Energiefreisetzung verschiedener Fusionsreaktionen, Fusionswirkungsquerschnitte und Reaktionsrate, Energiebilanz eines Fusionsplasmas, Lawson- und $\rho \cdot r$-Kriterium für Fusion, Kompression und Energiegewinn, magnetische und hydrodynamische Instabilitäten, Anforderungen an Reaktorkonzepte.</p>			
<p><i>Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik:</i> Aufgaben und Anwendungen der Hochspannungstechnik, Perspektiven der Hochspannungstechnik, Wechsel- und Drehstromtechnik, Energieübertragung, Grundlagen elektrischer Felder, technische Beanspruchungen, statische, stationäre und quasistationäre Felder in homogenen Dielektrika, Gasentladungskennlinien, raumladungsfreie Entladung im homogenen Feld (nach Townsend und Paschen), raumladungsbeschwerte Entladung, Kanalentladung (Streamer-Mechanismus), Entladeverzug, Stoßkennlinien und Hochfrequenzdurchschlag, Entladungen im inhomogenen Feld, Oberflächenentladungen, Funken-, Bogen- und Blitzentladung, Entladungen in flüssigen und festen Dielektrika, Entladungen in festen Stoffen, Teilentladungen (TE), Vakuumdurchschlag, Isolierstoffe, Typische Isoliersysteme für Gleich-, Wechsel-, und Impulsspannungen, Prüfen, Messen, Diagnose, Hochspannungsprüfungen, Überspannungsableiter, Erzeugung hoher Spannungen, weitere Anwendungen, Blitzschutz, Sicherstellung der EMV, Hochleistungsimpulstechnik.</p>			
<p><i>Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor:</i> Grundlagen Plasmaphysik, hydrodynamische Gleichungen, Erzeugung und Eigenschaften von Plasmen hoher Energiedichte, Anwendung in Planetenmodellen, Erzeugung im Labor (Schockwellen, Röntgen- und Teilchenstrahlen), Laser-erzeugte Plasmen, Hochenergielaser, Inertialfusion</p>			
<p><i>Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II:</i> Strahlungsmechanismen, Diagnostiken, technische und astrophysikalische Anwendungen. Verschiedene Strahlungsmechanismen. Elementare Prozesse in Plasma. Röntgen-Spektren aus Plasmen - Informationsquelle über Plasmeneigenschaften. Methoden und Techniken von Röntgendiagnostiken. Anwendungen für Lasererzeugten Plasmen.</p>			
Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.			

Lernergebnisse/Kompetenzziele	
<p>Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Plasmaphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten. 	
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben sowie Vortrag über ein ausgegebenes Thema oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	
Vorlesungen, Übungen	
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKTECM	Spezielle Themen der angewandten und technischen Physik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–12
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung:</i> Einführung Signal- und Systemtheorie, Signalverarbeitungsmethoden im Zeitbereich, Frequenzbereich und Zeitfrequenzbereich (z.B. Waveletanalyse), statistische Signalverarbeitung, Mustererkennung</p> <p><i>Complex Renewable Energy Networks:</i> Physics of renewable energy generation (including weather-dependent modeling); stochastic modeling; physics of general complex networks; system design; power transmission; storage; physics of coupled networks; the role of energy in society.</p> <p><i>Physik der Energiegewinnung:</i> Sozioökonomische Zusammenhänge hinsichtlich Energieverbrauch, Wirtschaftsleistung usw., historische Entwicklung des Energieverbrauchs, Energie als physikalische Größe, Energieerntefaktor, fossile Energieträger (Entstehung, Vorkommen, Abbau), Treibhauseffekt, Kreisprozesse und Wärmekraftmaschinen (Motoren, Turbinen), Kraft-Wärme-Kopplung, Regenerative Energieformen (Photovoltaik, Photothermik, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermik), Kernspaltung (Grundlagen, Reaktortypen, Neutronenbilanz, Aufarbeitung), Transmutation, Fusion, Risikobegriff, Speicherung von Energie, Transport von Energie</p> <p><i>Energietechnik:</i> Stationäre/instationäre Systeme, Euler-Lagrange-Transformation, Primär- und Sekundärenergieträger, Bilanzräume, techn. und chemische Thermodynamik, technische Kreisprozesse, Wärmepumpen und Kältemaschinen, Tieftemperaturprozesse, Elektrolyse und Brennstoffzellen, Transportvorgänge, Extremalprinzipien, Überschallströmungen, Energiespeicher, Brennstoffe, Pi - Theorem und Ähnlichkeit, Optimierung technischer Systeme.</p> <p><i>Maschinenlern-Verfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Suchmaschinen-Technik:</i> Grundbegriffe der Informationstheorie und der Wahrscheinlichkeitstheorie, Bayes-Methoden und statistisches Schließen, Einführung in die grundlegenden Fragestellungen beim Maschinenlernen, Modellwahl, -anpassung und -validierung, lineare Klassifikationsmethoden, nicht-parametrische Techniken (k-nächste Nachbarn), naive Bayes-Klassifikation und Erweiterungen, Bayes-Netze, Entscheidungsbäume, Ensemble-Lerner (Bagging und Boosting), (randomisierte) Entscheidungswälder, Support-Vektor-Maschinen, neuronale Netze.</p> <p><i>Maschinenlern-Verfahren II und ihr Einsatz in KI und Robotik:</i> Reinforcement-Learning, logisches und (statistisches) relationales Lernen, Cluster-Verfahren, Dimensionsreduktion, Independent-Component-Analysis und blinde Signaltrennung; Flankierende Grundlagenthemen: Heuristische Optimierungs- und Suchverfahren, Bayes-Methoden und statistisches Schließen, (algorithmische) Informationstheorie, Ähnlichkeitsmetriken</p> <p><i>Musterklassifikation und Signalschätzung:</i> Musterklassifikation mit Support-Vector-Machines, Musterklassifikation basierend auf Topologischen Merkmalskarten, mehrschichtigen Perzeptrons und Radial-Basis-Funktionen; Theoretische Grundlagen statistischer Musterklassifikation, Klassifikation dynamischer Muster mit Hidden-Markov-Modellen.</p> <p><i>Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung:</i> Akustische und artikulatorische Grundlagen der Sprachproduktion; phonetische Konzepte; Modellbeschreibungen der Spracherzeugung; Anwendungen der Sprachverarbeitung: Sprachsynthese, Spracherkennung, Sprachkodierung und Störgeräuschsunterdrückung; anwendungsbezogene Konzepte und Verfahren der Systemtheorie und statistischen Signalverarbeitung: Wellendigitalfilter, Lineare Prädiktion, MFCCs, DTW, Hidden Markov Modelle, Dynamische Programmierung, Unit Selection usw.; praxisrelevante Herausforderungen der Sprachtechnologien.</p>			

Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond: The theoretical part of the lecture includes an introduction to the basics of statistics, Bayes-Theorem and discrete as well as continuous probability distributions. From this, the mathematical foundations of (supervised) Machine-Learning algorithms like: Linear Models, Support Vector Machines, Decision trees, Ensemble Methods, The Perceptron and Artificial Neural Networks will be derived. The concept of statistical learning will be introduced. A particular emphasis will be here on the gradient descent and its relation to Newton's method. The theoretical basics of Deep learning and different neural net architectures (Deep fully connected Neural Networks, Convoluted Neural Networks, Recurrent Neural Networks) will be introduced and it will be shown how the relevant equations for the forward and (error) back-propagation within these networks can be derived. An applied lecture part is dedicated to:

- The numerical Implementation and programming of the discussed machine-learning methods with PYTHON and especially Tensor Flow.
- The application of codes to example problems.

Statistik, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Datenverarbeitung, Einführung in PYTHON, Lineare Modelle für Klassifikation und Regression, Entscheidungsbäume, Ensemble Methoden, Support-Vector-Machines, Überfitten, der Fluch der hohen Dimensionalität, Logistische Regression, Künstliche Neuronale Netzze, Tiefe Neuronale Netze, *Convolutional* Neuronale Netze, *Recurrent* Neuronale Netzze, Autoencoder, GANs

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich angewandte und technische Physik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

Teilnahmenachweise

abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika

Leistungsnachweise

erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test

Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übungen
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.2.7 Biophysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VEBP	Einführung in die Biophysik	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
Struktur, Dynamik und Funktion von Proteinen und Nukleinsäuren, z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik; Eigenschaften biologischer Membranen; Erregungsleitung; Reaktionsmechanismen; experimentelle Methoden zur Untersuchung von Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle; theoretische Methoden zu ihrer Beschreibung.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden erlangen Kenntnisse von Struktur und Aufbau biologischer Makromoleküle und Membranen (z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik), von Grundlagen der Dynamik dieser Systeme, Grundlagen der Funktionen von Proteinen, Grundlagen der Reaktionskinetik, Grundlagen der Bioenergetik, von spektroskopischen Techniken, bildgebenden Techniken und Beugungstechniken zur Untersuchung von Struktur und Dynamik biologischer Makromoleküle. Die Studierenden können biophysikalische Zusammenhänge verstehen, diskutieren und Modelle zur Lösung von biophysikalischen Problemen einsetzen. Das Modul führt die Studierenden in die Biophysik ein und kann auf die Bachelorarbeit oder Masterarbeit vorbereiten.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul BPH3N	Modulname Biophysik 3: Methoden	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Mikroskopie: optische Mikroskopie, hochauflösende Mikroskopie, Elektronenmikroskopie; Einzelmolekültechniken: Fluoreszenzmethoden, Rastersondenmethoden, Patch-Clamp-Techniken, Optical Tweezer; Spektroskopie: UV/Vis-Spektroskopie, IR-Spektroskopie, NMR-Spektroskopie, EPR-Spektroskopie; Beugungsmethoden: Röntgenbeugung, Röntgenkristallstrukturanalyse, Elektronenbeugung, Neutronenbeugung, Röntgenkleinwinkelstreuung, statische und dynamische Lichtstreuung; Simulationsverfahren: Moleküldynamische Verfahren, quantenchemische Verfahren; Weitere: Massenspektroskopie, analytische Ultrazentrifugation			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden haben ein vertieftes Verständnis der biophysikalischen Methoden, insbesondere ihrer Funktionsprinzipien, Anwendungsbereiche und Limitationen. Sie sind in der Lage, für konkrete Fragestellungen ein sinnvolles Vorgehen zur Bearbeitung zu wählen und die richtigen Methoden zu wählen. In Übungen wird der Stoff selbstständig vertieft.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		Bearbeitung der Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ELMIK	Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p><i>Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung:</i> Elektronenmikroskopie, Kryo-Elektronenmikroskopie, Einzelpartikelanalyse, Kryo-Elektronentomographie, Zelluläre Kryo-Elektronentomographie, Korrelative Licht- und Elektronenmikroskopie, Bildgebende Verfahren, Methoden der Bildrekonstruktion, Methoden zur Vermeidung des Hintergrundrauschens, Methoden der Bildmanipulation, Fourier Transformation, Programmieren mit MATLAB, Programmieren mit C/C++</p> <p>In der Übung wenden die Studierenden ihre theoretischen Kenntnisse an und erlernen moderne Programmiersprachen (z.B. MATLAB, C/C++) und moderne Software-Entwicklung. Es werden Hausaufgaben gestellt, die in der nächsten Stunde besprochen werden.</p> <p><i>Einführung in die biologische Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung:</i> In der Blockveranstaltung werden nach jeweils 2-stündiger Einführungsvorlesung praktische Aspekte der biologischen Elektronenmikroskopie und Bildverarbeitung direkt an den Forschungsgeräten in Kleingruppen bearbeitet.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>In der Vorlesung <i>Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</i> lernen die Studierenden die theoretischen Grundlagen der biologischen Elektronenmikroskopie (insbesondere der Einzelpartikel Kryo-Elektronenmikroskopie und der zellulären Elektronentomographie). Begleitend werden die grundlegenden Algorithmen der Bildverarbeitung eingeführt und die Studierenden können anhand dieser Grundlagen selbst neue und fortgeschrittene Algorithmen entwerfen. Es werden die mathematischen Grundlagen und Anwendungen diskutiert. Ziel der Vorlesung ist es, fundiertes Hintergrundwissen der Elektronenmikroskopie zu vermitteln, wodurch die Studierenden ihre zukünftigen Elektronenmikroskopie-Projekte erfolgreich verfolgen können.</p> <p>In den zugehörigen Übungen können die Studierenden ihre theoretischen Kenntnisse anwenden. Sie werden mit (a) allgemeinen Methoden der Prozessierung elektronenmikroskopischer Daten und (b) der Bildverarbeitung in MATLAB vertraut gemacht. In den Hausaufgaben vertiefen die Studierenden ihre Kenntnisse und präsentieren ihre Ergebnisse in der nächsten Stunde.</p> <p>Der Vorlesungsteil des Praktikums vermittelt die Grundlagen der Transmissions- und Rasterelektronenmikroskopie (TEM und SEM) und gibt eine Übersicht über Probenvorbereitungstechniken. Weiterhin werden Bildverarbeitungstechniken vorgestellt, die in der strukturellen biologischen Elektronenmikroskopie angewendet werden. Im praktischen Teil wird in Kleingruppen (3–4 Studierende) gearbeitet. Die Studierenden werden Negativfärbung und Kryo-Fixationsmethoden anwenden, die Ultramikrotomie mit Diamantmessern ausführen und praktische Erfahrungen an TEMs sammeln.</p> <p>In the lecture <i>Electron Microscopy with Image Processing</i> the students learn the theoretical basics of biological electron microscopy (in particular of single-particle cryo-electron microscopy and cellular electron-tomography). Accompanying, the basic algorithms of image processing are introduced and students can use these basics to design new and advanced algorithms themselves. The mathematical basics and applications are discussed. The aim of the lecture is to provide a sound background in electron microscopy, enabling students to successfully pursue their future electron microscopy projects.</p> <p>In the accompanying exercises students can apply their theoretical knowledge. They will be familiarized with (a) general methods of processing electron microscopic data and (b) image processing in MATLAB. In the homework, the students deepen their knowledge and present their results in the next lesson.</p> <p>The lecture part of the practical course teaches the basics of transmission and scanning electron microscopy (TEM and SEM) and gives an overview of sample preparation techniques. Furthermore, image processing techniques used in structural biology electron microscopy are presented. In the practical part we work in small groups (3–4 students). Students will apply negative staining and cryofixation techniques, perform ultramicrotomy with diamond knives, and gain hands-on experience at TEMs.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			

Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	<i>Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</i> : regelmäßige Teilnahme an den Übungen <i>Einführung in die biologische Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</i> : regelmäßige Teilnahme am Praktikum
Leistungsnachweise	<i>Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</i> : kommentierte Hausaufgabe <i>Einführung in die biologische Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</i> : Präsentation eines Forschungsartikels als Nachfolgetermin zum <i>Praktikum</i>
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung, Praktikum
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) zur <i>Vorlesung</i>

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKBPHM	Spezielle Themen der Biophysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
<p>abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:</p> <p><i>(Bio-)molekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden:</i> Experimentelle Methoden werden vorgestellt aus den Bereichen: Ultrakurzzeitspektroskopie; nichtlineare Laserspektroskopie; Einzelmolekülspektroskopie; Einzelmolekülmikroskopie; Kraftmikroskopie; Optische Pinzetten; zeitaufgelöste NMR-Spektroskopie; Massenspektrometrie; zeitaufgelöste Röntgenbeugung, Kristallographie und Elektronenbeugung. Der Informationsgehalt der verschiedenen Experimente wird anhand wichtiger Beispiele erläutert. Diese umfassen unter anderem: Protonentransfer; Bruch und Bildung chemischer Bindungen; Katalysatoren; Bildung transientser Strukturen in Flüssigkeiten; Energietransfer in Molekülen; Proteinfaltung; Enzymfunktion; Photorezeptoren; Molekulare Motoren; Photosynthese.</p> <p><i>Biochemische Methoden in der Biophysik:</i> Die vorgestellten Techniken beinhalten: Methoden der Molekularbiologie (Identifikation und Isolierung von Genen, Sequenzierung, Synthese, Klonierung, Mutagenese, Expression von rekombinanten Genen); Proteinchemische Methoden (lösliche Expression, Rückfaltung von denaturierten Proteinen, Besonderheiten bei Membranproteinen, chromatographische Trennverfahren, Pufferaustausch und Konzentrieren, Immobilisieren, Kristallisieren); Analytische Methoden (Konzentrations- und Reinheitsbestimmung, Elektrophorese, Bestimmung von Bindungskonstanten und Aktivitäten); Markierungstechniken (<i>Tags</i>, chemische Label, Isotopenlabel, künstliche Aminosäuren); biochemisch relevante Datenbanken und Software</p> <p><i>Strahlen- und Umweltbiophysik:</i> Grundlagen der Wechselwirkung ionisierender und nichtionisierender Strahlung mit Materie; Grundbegriffe von Dosis, Dosimetrie; gesetzliche Grundlagen des Strahlenschutzes; Anwendungen von Teilchenstrahlung und elektromagnetischer Strahlung in der Medizin; natürliche und künstliche Radioaktivität; nicht-ionisierende Strahlung. Übungen sind in die Vorlesung integriert.</p> <p>Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul vermittelt vertiefende Kenntnisse aus Themengebieten der Biophysik und kann als Vorbereitung auf eine biophysikalische Abschlussarbeit dienen. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.</p> <p>Die Studierenden kennen Präparations- und Untersuchungsmethoden für biomolekulare Systeme und können geeignete Verfahren für eine gegebene Fragestellung auswählen, insbesondere für die Untersuchung von dynamischen Eigenschaften.</p> <p>Sie können den theoretischen Hintergrund für die experimentellen Untersuchungsmethoden erläutern und Vor- und Nachteile einer Methode im Vergleich mit möglichen Alternativen abwägen.</p> <p>Darüberhinaus können die Studierenden Mechanismen der biologischen Strahlenwirkung erläutern und die Auswirkung von elektromagnetischer und Teilchenstrahlung quantifizieren. Sie kennen deren medizinische Anwendungsmöglichkeiten und die Grundlagen der Dosimetrie und des gesetzlichen Strahlenschutzes.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika	

Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.2.8 Neurowissenschaften

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHNEU	Theoretical Neuroscience	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
<p><i>Theoretical Neuroscience</i>: basic models of neurons and neural networks, network dynamics, introduction to neural coding and decoding, synaptic plasticity and Hebbian learning, associative memory</p> <p><i>Brain Dynamics: From Neuron to Cortex</i>: Brain dynamics is described at the level of single neurons, microcircuits, and global cortical dynamics. Beginning from the discussion of harmonic oscillators, we introduce the basic knowledge needed to describe spiking dynamics of neurons. This is then used to classify neurons according to different spiking behaviors. We then describe universal architectural aspects of microcircuits that connect the single neurons into functional substructures. Finally, we describe generation, stability, and possible functionality of cortical oscillations. The latter are observed in the context of cognitive processing.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul vermittelt die grundlegenden Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Es erlaubt insbesondere auch Studierenden ohne umfangreiche Vorkenntnisse den Einstieg in das Vertiefungsfach. Es führt dabei insbesondere in Methoden zur Modellierung von Neuronen und neuronalen Netzen und deren kollektiver Dynamik ein. Das Modul gibt gleichzeitig einen Überblick über das breite Angebot an Wahlpflichtveranstaltungen im Bereich Neuroscience, um den Studierenden die weitere Orientierung im Vertiefungsfach zu erleichtern. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen grundlegende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		<i>Theoretical Neuroscience</i> : regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		<i>Brain Dynamics: From Neuron to Cortex</i> : keine <i>Theoretical Neuroscience</i> : erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben <i>Brain Dynamics: From Neuron to Cortex</i> : Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise zur Lehrveranstaltung <i>Theoretical Neuroscience</i>	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen, Übung	

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience*

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHNEU2	Advanced Theoretical Neuroscience	Wahlpflichtmodul	6–9
Inhalte			
<p><i>Theoretical Neuroscience 2</i>: advanced models of neurons and neural networks, network dynamics, information theory and coding, neuronal and synaptic plasticity, self-organization in neural networks, theories of learning, analysis of neural data</p> <p><i>Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function</i>: Electromagnetic spectrum and light as visual stimulus; structure of eye, retina, and optic nerve; the thalamus as relay station to cortex and recurrent modulator; primary and secondary visual cortex; hypercolumns as modules of information processing; microcircuits; what- and where-paths; feedback connections; maps of cortical visual areas in monkey and human; representations of color, form, motion, and location; analysis of semantic categories; attention; psychological theories; capacity of working memory; visual search, illusory conjunctions, and binding problem; distractor interference phenomena; priming; attentional gating of information flow; oscillations and synchrony.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul vermittelt fortgeschrittene Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Dabei werden fortgeschrittene Methoden zur Beschreibung von Nervenzellen und Netzwerken und zur Analyse biologischer Daten vermittelt. Das Modul führt die Studierenden an die aktuelle Forschung heran und bereitet sie auf das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten in diesem Bereich vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, fortgeschrittene Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen grundlegende und weiterführende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Methoden zu lösen. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	<i>Theoretical Neuroscience 2</i> : regelmäßige Teilnahme an den Übungen <i>Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function</i> : keine		
Leistungsnachweise	<i>Theoretical Neuroscience 2</i> : erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben <i>Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function</i> : Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise zur Lehrveranstaltung <i>Theoretical Neuroscience2</i>		
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung		

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.) zum Inhalt der Lehrveranstaltung *Theoretical Neuroscience2*

4.3 Wahlpflichtmodule: II) Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module

4.3.1 Fachgebietsübergreifende Module

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VHSTATP	Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung, Keldysh-Formalismus, Funktionalintegral- Formulierung der Nicht-Gleichgewichts-Vielteilchentheorie, Quantenkinetische Gleichungen.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden sind mit dem Übergang von der theoretischen Beschreibung von thermodynamischen Gleichgewichtssystemen zu solchen außerhalb des Gleichgewichts vertraut. Sie sind damit in der Lage, physikalische Nichtgleichgewichtssituationen zu kategorisieren, den entsprechenden Gleichungssystemen zuzuordnen und diese zu lösen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VNUMP	Numerische Methoden der Physik	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Darstellung von Zahlen, Rundungsfehler; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Anfangswertprobleme; Einheitenbehaftete/dimensionslose Größen; Nullstellensuche, lösen nicht-linearer Gleichungen; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Randwertprobleme; Lösen linearer Gleichungssysteme; Numerische Integration; Eigenwertprobleme; Verwendung numerischer Bibliotheken; Interpolation, Extrapolation, Approximation; Funktionsminimierung, Optimierung; Monte Carlo-Simulation statistischer Zustandssummen.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul vermittelt auf einer praktischen Ebene die wichtigsten numerischen Verfahren, die in physikalischen Rechnungen eingesetzt werden. Die Studierenden erlangen die Kompetenz, selbst Methoden zu implementieren und aus Programmbibliotheken kritisch die für ein Problem geeigneten Verfahren auszuwählen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VCPSM	Computational Physics and Simulations in Matlab	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>Programmieren und Visualisieren in Matlab, numerische Simulationen physikalischer Fragestellungen: Ableitung und Integration, Optimierung and Minimierung, gewöhnliche Differentialgleichungen, chaotische Dynamik, Fraktale, Zufallsbewegungen, Eigenwertprobleme, Matrixzerlegungen, partielle Differentialgleichungen, Perkolation, Monte-Carlo-Methoden, neuronale Netze.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Im Rahmen des Tutoriums wird die Anwendung der vorgestellten Algorithmen auf konkrete physikalische Problemstellungen vermittelt. Dabei erlernen und verwenden die Studierenden die Programmierumgebung MATLAB, die auch bei geringen Vorkenntnissen effiziente Simulationen und Visualisierung ermöglicht.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VCADS	Complex Adaptive Dynamical Systems	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
<p><i>Foundations:</i> Graph Theory, Information Theory, Neural Networks, Bifurcation Theory, Game Theory, Branching Theory, Cognitive System Theory</p> <p><i>Models:</i> Small-World Network, Cellular Automata, Boolean Networks, Sandpile Model, Kuramoto Model, Quasispecies Model, Galton-Watson Process</p> <p><i>Phenomena:</i> Self-Organized Criticality, Deterministic Chaos, Stochastic Resonance and Escape, Synchronization, Dynamical Phase Transitions, Error Catastrophe, Small-World Phenomenon</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Students are familiar with the basic concepts of modern dynamical systems theory, including the time-series analysis and game and branching theory. They can analyze and set up neural networks. They are aware of standard complexity models and can determine whether systems are chaotic and/or self-critical. After completion of this module students are well prepared for research in computational neuroscience, theoretical biology, ecology, epidemiology and network sciences in general.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VSELFORG	Self-Organization: Theory and Simulations	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
<p>The course will be a combination of lectures on complex system theory with a focus on self-organization, together with a computer lab. The lectures will treat topics like pattern formation in reaction-diffusion systems, opinion dynamics, swarm intelligence, Darwinian evolution and cognitive system theory. An introduction to dynamical system theory will be given, including bifurcation theory, chaos and dissipative systems. In the computer lab an introduction to programming in general will be given and students are expected to write their own codes and to perform then a series of simulations for self-organizing systems.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>To comprehend the basics of the complex system theory and the principles leading to self-organizing processes in physics and nature. Both an analytic and mathematical understanding and the capability to perform numerical simulations and experiments testing the respective phenomena.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VCPMML	Modulname Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 8
Inhalte			
Einführung in Linux und C++; Datentypen, Kontrollfluss, Exceptions, Pointers, Funktionen, Templates, Klassen, Konstruktoren, Destruktoren, Vererbung, String- und Filestreams, IO Manipulation, Containers, Assoziative Datenstrukturen. Zusätzlich werden die grundlegenden numerischen Methoden und Konzepte behandelt wie Summation, Rekursion, Stabilität, Auswertung von Integralen, Lösung von Differentialgleichungen, das Runge-Kutta Verfahren, Elimination, Gauss Verfahren, Monte Carlo- und Metropolis Verfahren. Weiterhin wird eine Einführung in die grundlegenden Konzepte des Maschinellen Lernens gegeben, wie überwachtes, nicht-überwachtes und verstärktes Lernen, Klassifikation, Regression, Klustering, Dimensionalitätsreduktion und Neuronale Netze.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Für den Physiker ist es wichtig, sich in jeder Programmier-Umwelt zurechtzufinden, sei es wissenschaftliches Rechnen, Web-Programmierung oder Maschinelles Lernen. Ziel der Vorlesung ist es, das hierfür notwendige Basiswissen zu vermitteln. Dafür soll das eigenständige Programmieren in C++ anhand von Übungen und von größeren numerischen Projekten erlernt werden. Mit den Grundlagen numerischer Methoden und vom Maschinellen Lernen soll die Fähigkeit erworben werden, moderne Programmpakete nicht nur zu benutzen, sondern auch zu verstehen nach welchen Prinzipien diese arbeiten.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben; erfolgreicher Abschluss von Programmierprojekten	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VKOED	Modulname Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Abriss der speziellen Relativitätstheorie und der relativistischen Mechanik; relativistische Elektrodynamik: Einführung des Feldstärketensors, kovariante Maxwell-Gleichungen, Lagrange-Formalismus für Teilchen und Felder, Energie-Impuls-Tensor; kovariante Formulierung des elektromagnetischen Strahlungsfeldes; Weizsäcker-Williams-Methode und Photonenspektrum			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte der Elektrodynamik in einer kovarianten, relativistischen Beschreibung. Nach der erfolgreichen Belegung des Kurses wissen die Studierenden, dass sich die Maxwell-Gleichungen zwanglos aus einer einfachen relativistischen klassischen Feldtheorie ergeben. Die relativistischen Transformationen der Systemgrößen betrachtet aus verschiedenen Bezugssystemen sind den Studierenden dann offensichtlich. Auf der Basis der vielen Beispiele aus der Vorlesung und den Aufgaben der Übungen ist den Studierenden der Umgang mit dem relativistische Potential zur Berechnung des Feldstärke-Tensors und des Energie-Impulstensors für verschiedenste Fragestellungen der Elektrodynamik nun völlig vertraut. Die Studierenden können jetzt auch elektromagnetische Strahlungsphänomene mittels der kovarianten Darstellung der Lienard-Wiechert Potentiale vollständig relativistisch beschreiben. Die Studierenden sind am Schluss in der Lage, sich selbständig in die einschlägige fortführende Literatur einzuarbeiten. Die erfolgreiche Belegung der Vorlesung bereitet die Studierenden insbesondere auf die Konzepte der Allgemeinen Relativitätstheorie und von relativistischen Quanten-Feldtheorien vor.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VNGTD	Nichtgleichgewichtsthermodynamik	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Terminologie stochastischer Prozesse (Gauß'scher Prozess, Markov-Prozess), Transportprozesse (Brownscher Prozess, Langevin-Gleichung, Fokker-Planck-Gleichung, Boltzmann-Gleichung), (ggf. kl. Hierarchien von Korrelationen, Nicht-Gleichgewichts-Vielteilchentheorie), random walk to finance, modelling of risk free financial market (classical option pricing, Black-Scholes equation)			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe von stochastischen Prozessen in der (theoretischen) Physik. Die Studierenden wissen im Besonderen um die Bedeutung von Gauß'schen Prozessen und speziell um die Bedeutung eines Wiener Prozesses. In der Physik können die Studierenden nun nach erfolgreicher Belegung des Kurses die verschiedenen bekannten dynamischen Konzepte als Markov-Prozesse formulieren, wie die Master-Gleichung, die Fokker-Planck-Gleichung, die Langevin-Gleichung und die Boltzmann-Gleichung. Die Studierenden sind in der Lage, diese Konzepte für verschiedene Fragestellungen mittels der vielen Beispiele des Kurses und der Übungen anzuwenden, wie das Erreichen vom thermodynamischen Gleichgewicht eines Systems, die Begründung des H-Theorems, die Beschreibung von (einfachen) Birth- and Death-Populationen, die Transporteigenschaften von Systemen uvm. Die Studierenden können die erlernten Methodiken der stochastischen Prozesse auch in die Ökonomie ("Écophysis") übertragen und anwenden: Sie kennen die Bedeutung von Levy-Verteilungen zur Betrachtung der Fluktuationen von Preisen von Aktien, und sie verstehen die zeitliche Dynamik (Black-Scholes-Gleichung) zur Berechnung der Preise von Optionen als einem effektiven Fokker-Planck-Prozess. Die Studierenden sind nun in der Lage, sich selbständig in die einschlägige fortführende Literatur und in wissenschaftlichen Publikationen einzuarbeiten.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VQI	Quantenwahrscheinlichkeit und Informationsverarbeitung	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p><i>Wahrscheinlichkeit und Information in der Quantentheorie:</i> Logik, klassische Wahrscheinlichkeitstheorie, Wahrscheinlichkeiten in der Quantentheorie, Kochen-Specker-Theorem, Geometrie des Zustandsraums, empirische Rekonstruktion von Quantenzuständen, Entropie und Information, Holevo-Schranke, Gibbs-Modelle, Optimierung der Beschreibungsebene, Symmetrien, Informationsübertragung mit und ohne gemeinsame Bezugssysteme</p> <p><i>Quantencomputer:</i> Qubits, Quantengatter, Schaltkreise, no-cloning-Theorem, Bell-Zustände, Verschränkung, Quanten-Teleportation, dense coding, Deutsch-Algorithmus, Fehlerkorrektur, Shor-Code, Quantenkryptografie, BB84-Protokoll, Quanten-Fouriertransformation, Faktorisierung (Shor-Algorithmus), Grover-Iteration, Datenbanksuche, experimentelle Realisierung, DiVincenzo-Kriterien, nichtlineare Optik, optische Kavitäten, Ionenfallen, Kernspinresonanz, Einweg-Quantencomputer</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul führt in die Grundlagen der klassischen und quantenmechanischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie ein sowie in die modernen Forschungsgebiete der Quanteninformationsverarbeitung, der statistischen Rekonstruktion von Zuständen und Prozessen sowie der Thermodynamik kleiner Systeme. Nach Absolvieren des Moduls kennen Studierende die Bedeutung von Wahrscheinlichkeit und Information für das moderne Verständnis der Quantentheorie sowie deren Ähnlichkeiten und Unterschiede zur klassischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie. Studierende sind in der Lage, einfache Quanten-Schaltkreise zu skizzieren und deren Funktionsweise zu erläutern. Insbesondere beherrschen Studierende die grundlegenden Protokolle zur Fehlerkorrektur, zur sicheren Verteilung kryptografischer Schlüssel, zur effizienten Faktorisierung sowie zur effizienten Datenbanksuche. Darüber hinaus sind Studierende mit den Möglichkeiten der Realisierung in realen physikalischen Systemen vertraut. Die Lehrveranstaltungen sind interaktiv und ermuntern die Teilnehmer zu aktiver Diskussion. Sie stärken somit über die reine Wissensvermittlung hinaus die Fähigkeit der Studierenden zur Argumentation und zur kritischen Auseinandersetzung mit physikalischen Fragestellungen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VIQMPT	Introduction to Quantum Many-Particle Theory	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>many-particle states and operators; Hartree-Fock approximation, correlation (Part I); 2nd quantization, Fock space; pictures in quantum theory; linear response; Green's functions, equations of motion for Green's functions; perturbation theory; Dyson equations, irreducible functions; Hartree-Fock approximation, correlation (Part II), conserving approximations.</p> <p>Vielteilchenzustände und -operatoren; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil I); 2. Quantisierung, Fockraum; Bilder in der Quantenmechanik; Lineare Antwort; Greensfunktionen und ihre Bewegungsgleichungen; Störungstheorie; Dyson-Gleichung, irreduzible Funktionen; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil II); erhaltende Näherungen.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>In this module students acquire a basic understanding of many-particle wave functions and operators, as well as of standard methods for studying the properties of many-particle systems. In particular, students become familiar with the fundamental differences between single- and many-particle systems (Pauli and Coulomb correlation) and make first contact with alternatives to the Schrödinger equation for dealing with quantum systems. In the tutorial students learn to translate the general many-body formalism to specific systems and gain versatility in explicitly calculating many-body matrix elements and Green's functions.</p> <p>The course is fully self-contained and emphasizes the structural and formal aspects of many-particle theory, rather than particular many-body systems. It is directly based on the mandatory theory courses <i>Theoretische Physik I-IV</i> and does not require additional preparation. Explicit examples are drawn from electronic structure theory, the material is, however, also relevant for atomic, molecular and nuclear physics. The module prepares students for attending more advanced theory courses which then lead to research projects in this field.</p> <p>Die Studierenden entwickeln ein grundlegendes Verständnis für Vielteilchenwellenfunktionen und -operatoren, sowie für Standardmethoden zur Untersuchung der Eigenschaften von Vielteilchensystemen. Insbesondere sind die Studierenden mit den fundamentalen Unterschieden zwischen Ein- und Vielteilchensystemen (Pauli und Coulomb-Korrelation) vertraut und kommen erstmals mit Alternativen zur direkten Lösung der Schrödinger-Gleichung bei der Diskussion von Quantensystemen in Kontakt. In den Übungen lernen die Studierenden, den allgemeinen Vielteilchenformalismus auf spezifische Problemstellungen zu übersetzen und gewinnen Erfahrung mit der Berechnung von Vielteilchenmatrixelementen sowie Greensfunktionen.</p> <p>Dieser Kurs ist in sich abgeschlossen und betont die strukturellen und formalen Aspekte des Vielteilchenformalismus, weniger dagegen die Physik konkreter Vielteilchensysteme. Er basiert unmittelbar auf den Pflichtmodulen <i>Theoretische Physik I-IV</i>, darüber hinausgehende Vorkenntnisse sind nicht erforderlich. Explizite Beispiele entstammen dem Gebiet der Elektronenstrukturtheorie, das Material der Vorlesung ist aber ebenso relevant in den Bereichen Atom-, Molekül- und Kernphysik. Das Modul bereitet Studierende auf die Teilnahme an fortgeschrittenen Lehrveranstaltungen in diesen Fachgebieten vor.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VMSDA	Modern Statistical Data Analysis for Practitioners	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>We introduce the basics of probability theory, classical statistics, and classical error analysis (p-values, confidence intervals), which serves as the starting point to explore modern methods of statistics (Maximum Likelihood, Bayes). We use these methods to extract information from noisy data through (non-)linear parameter estimation (fitting) and model comparison. We show how to analyze data containing dynamical information by time series analysis (correlation functions, error analysis) and Markov-Chain models and kinetic models described by rate equations.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>The overarching goal is to equip the students with the necessary statistical tools to extract information from noisy data reliably and with quantified uncertainties. The students should be able to identify the common pitfalls of statistical data analysis in their own work and be able to critically assess the quality of published data and statistical analyses. These goals will be practiced in the practical course on real world examples.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.3.2 Astrophysik und Kosmologie

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VHYMAG	Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>On the fluid approximation, Newtonian kinetic theory, The Boltzmann equation, The H-theorem, The moment equations, The Maxwell-Boltzmann equilibrium distribution, The zero-order approximation: perfect fluids, The first-order approximation: non-perfect fluids, Relativistic kinetic theory, The relativistic Boltzmann equation, Relativistic transport fluxes, The relativistic moment equations, The general-relativistic hydrodynamic equations, Relativistic equilibrium distributions, The laws of thermodynamics, Equations of state, Kinematic properties of fluids, Kinematic shear, expansion and vorticity, Evolution laws of the kinematic quantities, Mass current and energy-momentum of perfect fluids, Hydrodynamics equations of perfect fluids, Stationary flows, Bernoulli's theorem, Irrotational flows, Vorticity, Irrotational flows, Kelvin-Helmholtz theorem, Isentropic flows, Hyperbolic systems of partial differential equations, Quasi-linear formulation, Conservative formulation, Linear and nonlinear behaviour, Characteristic equations for linear systems, Riemann invariants, Characteristic curves and caustics, Domain of determinacy and region of influence, Linear hydrodynamic waves, Sound waves, Nonlinear hydrodynamic waves, Simple waves and discontinuous waves, Rarefaction waves, Shock waves, Contact discontinuities, The Riemann problem, Introduction to plasmas, The magnetohydrodynamic equations, Flux-freezing condition, Magnetohydrostatic solutions, Hydromagnetic waves, Magnetic reconnection.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>At the end of the course the students will have been exposed to the basic concept of modern hydrodynamics and magnetohydrodynamics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in the solution of the equations of hydrodynamics and magnetohydrodynamics, the students will be able to carry out quantitative studies employing the solution of these equations. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in plasma physics and relativistic astrophysics.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VASTBIO	Astrobiologie	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Entstehung der Elemente, Chemie im Weltraum, Habitable Erde, Eigenschaften von Leben, Terrestrische Biochemie, Ursprung des Lebens, Leben im All, Exoplaneten			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul vermittelt den Studierenden die Fähigkeiten,			
<ul style="list-style-type: none"> • das Phänomen Leben im astrophysikalischen Kontext einzuordnen, • die Entstehung des Lebens auf der Erde und im Universum gegenüber zu stellen, • Bezüge zwischen den naturwissenschaftlichen Bereichen Chemie, Biologie, Geowissenschaften, Physik und Astrophysik herzustellen, • die Komplexität der Definition von Leben zu verstehen, • das Konzept der Habitabilität von Exoplaneten einzuordnen, • die Frage der Zukunft des Lebens und der Möglichkeit des Lebens außerhalb der Erde zu untersuchen. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VGWAV	Modulname Gravitationswellen	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Einsteinsche Feldgleichungen, linearisierte Theorie der Allgemeinen Relativitätstheorie, Geometrischer Zugang zu Gravitationswellen, Feldtheoretischer Zugang zu Gravitationswellen, Erzeugung von Gravitationswellen in linearisierter Theorie, Anwendungen (binäre Systeme, rotierende Körper, freier Fall in Schwarze Löcher, beschleunigte Massen), experimentelle Beobachtung von Gravitationswellen			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden lernen die Eigenschaften von Gravitationswellen der Allgemeinen Relativitätstheorie in einem geometrischen Zugang und komplementär innerhalb des Wellenbegriffes eines klassischen Feldes kennen. Sie können mögliche Quellen für die Produktion von Gravitationswellen benennen und einen Bezug zu astrophysikalischen Systemen herstellen. Sie verstehen die Prinzipien hinter der experimentellen Messung von Gravitationswellen und mögliche Methoden zur Detektion. Sie kennen die gegenwärtigen Beobachtungen von Gravitationswellen und wissen die Implikation dieser Messungen für die Eigenschaften von kompakten Objekten einzuschätzen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.3.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VSTATP	Statistische Physik und kritische Phänomene	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Phasenübergänge und kritische Phänomene, Ginzburg-Landau-Theorie für Phasenübergänge 2. Ising-Modell und andere einfache Spinmodelle 3. Renormierungsgruppe 4. Monte-Carlo-Methoden 			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Aufbauend auf den Grundvorlesungen über Theoretische Physik vermittelt das Modul vertiefende Kenntnisse über Phasenübergänge. Am Ende des Moduls können die Studierenden zur Beschreibung von kritischen Phänomenen geeignete Modelle heranziehen und das Konzept der Universalität auf kritische Phänomene in allen Bereichen der Physik anwenden.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VSTAF7	Modulname Statistische Feldtheorie	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
<p>Kanonische und großkanonische Zustandssumme als Funktionalintegral; nichtwechselwirkende skalare Felder, Fermionen, Vektorfelder und Eichfelder im Imaginärzeitformalismus; wechselwirkende Felder in Störungstheorie, diagrammatische Entwicklung der Zustandssumme; vielteilchentheoretische Resummationsmethoden, 1PI- und 2PI-effektive Wirkung; Anwendungen für skalare Felder (Nambu–Jona-Lasinio–Modell), Suprafluidität und Supraleitung; Eichtheorien und Hard-Thermal-Loop–Approximation</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Ziel des Moduls ist es, den Studentinnen und Studenten die wesentlichen Konzepte der quantenfeldtheoretischen Beschreibung von Systemen bei nichtverschwindenden Temperaturen und Dichten zu vermitteln. Sie können diese auf Systeme im Bereich der kondensierten Materie, beispielsweise die Bose-Einstein-Kondensation, und im Bereich der Elementarteilchenphysik, beispielsweise die Entwicklung des frühen Universums, die Dynamik von Schwerionenkollisionen, sowie das Innere kompakter stellarer Objekte, anwenden. Nach Abschluss des Moduls haben sie die Fertigkeiten erworben, die Techniken der Statistischen Feldtheorie für ihre eigenen Forschungsarbeiten nutzen zu können.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VHYDRO	Hydrodynamik und Transporttheorie	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>Hydrodynamik der idealen Flüssigkeiten; Schallwellen; Schock- und Verdünnungswellen; Zerfall der Unstetigkeit; selbstähnliche Lösungen; Zustandsgleichung hochverdichteter Materie; Phasengleichgewicht; Deflagrations- und Detonationswellen; Instabilitäten; Navier-Stokes-Gleichung; Wärme- und Strahlungstransport; kinetische Gastheorie; Einteilchen-Verteilungsfunktion; Boltzmann-Gleichung; Zweierstöße.</p> <p>Hydrodynamics of ideal fluids; sound waves; shock and rarefaction waves; decay of discontinuity; self-similar solutions; equation of state of matter at high pressure; phase equilibrium; deflagration and detonation waves; instabilities; Navier-Stokes equation; heat and radiation transport; kinetic theory of gases; single-particle distribution function; Boltzmann equation; two-body collisions.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul vermittelt die Grundkonzepte der klassischen Strömungsmechanik als nichtlinearer Feldtheorie. Die Studierenden lernen die Grundgleichungen kennen und erwerben die Kompetenz, das Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen unter verschiedenen Bedingungen zu beurteilen und in typische Lösungsklassen einzuordnen. In der Transporttheorie wird die fundamentale Einsicht vermittelt, wie aus einer reversiblen mikroskopischen Physik irreversibles makroskopisches Verhalten etwa in der Boltzmann-Gleichung entstehen kann und die Kompetenz erlangt, lokales und globales Gleichgewicht sowie Nichtgleichgewichtsprozesse zu erkennen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VSKTG1	Modulname Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 5
Inhalte			
Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; kanonische und Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Statistischer Operator; thermodynamisches Gleichgewicht im Matsubara-Imaginärzeit- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Störungstheorie und nicht-perturbative Methoden bei endlichen Temperaturen; Anwendung auf den chiralen Phasenübergang in der Schwerionenphysik			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden			
<ul style="list-style-type: none"> • beherrschen die grundlegenden Konzepte der relativistischen Quantenfeldtheorie, • können den Formalismus auf Vielteilchensysteme im thermodynamischen Gleichgewicht anwenden, • beherrschen mathematische Methoden zur perturbativen und nichtperturbativen Berechnung von Green-Funktionen im Matsubara- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus, • beherrschen funktionale Methoden zur Regularisierung und Renormierung im 2PI-Formalismus, • kennen die wichtigsten Anwendungen in der relativistischen Schwerionenphysik (Quark-Gluon-Plasma, Mediummodifikationen, chiraler Phasenübergang). 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VSKTG2	Modulname Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 5
Inhalte			
Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Kadanoff-Baym-Gleichungen; „Coarse-Graining“ und Gradientenentwicklung; Markov-Näherung; Quasiteilchennäherung; „Off-Shell-Transport“			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden			
<ul style="list-style-type: none"> • beherrschen die Grundlagen zur Beschreibung von Nichtgleichgewichtsprozessen im Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus, • können relativistische semiklassische Transportgleichungen mittels „Coarse-Graining“ von Kadanoff-Baym-Gleichungen für Wigner-transformierte Green-Funktionen herleiten, • verstehen den Zusammenhang mit relativistisch-hydrodynamischen Beschreibungen von Vielteilchensystemen, • können die theoretischen Techniken auf die Beschreibung von relativistischen Schwerionenstößen anwenden. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VFRG	Modulname Die Funktionale Renormierungsgruppe und ihre Anwendung auf QCD und Gravitation	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 6
Inhalte			
Fermionen im Pfadintegral, Eichfelder im Pfadintegral, Faddeev-Popov Quantisierung, Hintergrundfeldmethode, Funktionale Renormierungsgruppengleichung, Trunkierungsschemen, Nambu-Jona-Lasinio Modell, chirale Symmetriebrechung, perturbative Nichtrenormierbarkeit der Gravitation, Asymptotic Safety Szenario			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Ziel dieses Moduls ist es, den Studentinnen und Studenten die wesentlichen Konzepte der Funktionalen Renormierungsgruppe (FRG) zu vermitteln. Sie können diese auf Probleme der Quantenchromodynamik (QCD) und der Gravitation anwenden. Sie verstehen das Konzept der Symmetriebrechung und -restaurierung bei nichtverschwindenden Temperaturen und Dichten. Nach Abschluss des Moduls haben sie die Fertigkeiten erworben, die Techniken der Funktionalen Renormierungsgruppe für ihre eigenen Forschungsarbeiten nutzen zu können.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VDRIDE	Physik von Driftdetektoren	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>Grundlagen von Ionisation durch geladene Teilchen in Gasen, Photo-Absorptions Ionisations Modell, Energieverlustfluktuationen, Elektronen- und Ionendrift in elektrischen und magnetischen Feldern, Gasverstärkung, Signaleinkopplung, Positionsmessung. Teilchenidentifizierung durch Messung des spezifischen mittleren Energieverlusts. Impulsbestimmung im Magnetfeld. Statistische und systematische Limitierungen in realen Detektoren. Methoden zur Kalibrierung von großen Driftdetektoren.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Detaillierte Kenntnis der relevanten physikalischen Phänomene versetzt Studierende in die Lage, eigenständig reale Driftdetektorsysteme zu entwerfen und im Rahmen von Monte-Carlo Studien zu optimieren. Die Studierenden erlangen ein Verständnis für die komplexen Kalibrierungsschritte großvolumiger Detektoren. Das Modul bereitet Studierende für die Arbeit an kernphysikalischen Großexperimenten vor. Simulation, Entwicklung, Kalibrierung und Analyse von Driftdetektordaten sind typische Elemente von Bachelor-, Master-, und Doktorarbeiten auf diesem Gebiet.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.3.4 Festkörperphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VQMPT	Vielteilchenphysik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
Zweite Quantisierung, Vielteilchen-Modellsysteme, Greensche Funktionen, Diagrammatische Störungstheorie für $T = 0$ und $T > 0$, Random-Phase Approximation, Leiter-Näherung			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Studierenden lernen die grundlegenden Methoden der Vielteilchen-Theorie, um eigenständig auf dem Gebiet der Vielteilchenphysik arbeiten zu können.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VFSTATP	Fortgeschrittene Statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
Im ersten Teil der Vorlesung werden die grundlegenden Methoden und Gleichungen der statistischen Physik im Nicht-Gleichgewicht hergeleitet und diskutiert. Im zweiten Teil wird die Theorie der Renormierungsgruppe entwickelt und auf die Berechnung kritischer Phänomene angewandt.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die folgenden Themen der Nicht-Gleichgewichts Statistischen Physik werden behandelt: Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master-Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung. Anschließend werden kritischen Phänomene am Beispiel der Ising-Universalitätsklasse eingeführt und das Skalenverhalten in der Nähe des kritischen Punktes erklärt. Es folgt eine Einführung in die Wilsonsche Renormierungsgruppen-Methode. Schließlich wird die Funktionale Renormierungsgruppe entwickelt. Mit den in diesem Modul erworbenen Kenntnissen können die Studierenden viele aktuelle Forschungsthemen im Bereich der statistischen Physik und der wechselwirkenden Vielteilchensysteme verstehen. Die Vorlesung kann begleitend zur Anfertigung einer Bachelor- oder Masterarbeit auf diesen Gebieten gehört werden.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VDFT	Density Functional Theory	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
Hohenberg-Kohn theorem, interacting v -representability, spin/current-density functional theory, Kohn-Sham equations, noninteracting v -representability, exact exchange, virial theorems, adiabatic connection, local density approximation (LDA), (meta) generalized gradient approximation, LDA+ U , orbital-dependent functionals, relativistic density functional theory (optionally: time-dependent density functional theory)			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
In this module students are trained for doing research in the field of computational electronic structure theory. Both the complete theoretical background of one of the standard methods in this field, density functional theory, and more practical aspects are covered. In particular, students learn to distinguish the various aspects of electron correlation. Prototype results from a variety of fields illustrate the merits and limitations of density functional theory. As a result of this course, students understand the significance and implications of various approximations and are able to operate standard density functional codes. Students are ready for pursuing a bachelor's or master's project in this field.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VQMD	Quantum Molecular Dynamics	Wahlpflichtmodul	5
Inhalte			
<p>Born-Oppenheimer approximation; density functional theory (Hohenberg-Kohn theorem, Kohn-Sham equations, local density approximation, generalized gradient approximation, time-dependent density functional theory); Born- Oppenheimer versus Car-Parrinello dynamics; iterative diagonalization; optimization techniques (steepest descent, conjugate gradient dynamics, variable metric method); global energy minimization (Metropolis algorithm, Markov chains, dynamical simulated annealing); pseudopotentials; quantum molecular dynamics for periodic systems; Kleinman-Bylander transformation; supercell concept</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>This module provides a bridge between the electronic structure of atoms, familiar to students from the standard course(s) on quantum mechanics, and the electronic structure of molecules and solids. The course addresses both the fundamental physics involved as well as the theoretical concepts and computational techniques required for efficiently dealing with such systems. Students become familiar with the relevant lengths, time and energy scales, with the notion of hybridization and delocalization of states, and with the Born-Oppenheimer approximation. In addition, students make first contact with “counterintuitive” approaches, such as the pseudopotential approximation or the simulation of the Schrödinger equation by another differential equation. They learn about the interplay between the equations of motion and discretization. In this way students are trained to think more creatively about the representation of physics in terms of equations.</p> <p>The course is directly based on the mandatory theory courses <i>Theoretische Physik I-IV</i>. It is highly self-contained, preparation of students by attending additional courses e.g. in condensed matter theory is not required. The module prepares students for pursuing bachelor’s or master’s projects in computational electronic structure theory.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		keine	
Prüfungsvorleistungen		keine	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul VEFRG	Modulname Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe	Art des Moduls Wahlpflichtmodul	CP 8
Inhalte			
<p>In diesem Modul wird eine systematische Einführung in die Theorie der Funktionalen Renormierungsgruppe gegeben. Die folgenden Themen werden behandelt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Konzept der Renormierungsgruppe 2. Phasenübergänge und Skalenhypothese 3. Molekularfeld-Theorie und Gauß'sche Näherung 4. Die Wilsonsche Renormierungsgruppe 5. Kritische Exponenten des Ising-Modells in der Nähe von 4 Dimensionen 6. Funktional-Methoden 7. Exakte Renormierungsgruppen Flussgleichungen 8. Vertex-Entwicklung 9. Gradienten-Entwicklung 10. Anwendungen auf Vielteilchensysteme (Fermionen, Bosonen, Spinsysteme). 			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden erwerben in diesem Modul ein grundlegendes Verständnis der Idee der Renormierungsgruppe und ihrer modernen Formulierung durch formal exakte Flussgleichungen für erzeugende Funktionale. Die Studierenden sollen dabei die Fähigkeit erwerben, eigenständig Renormierungsgruppenmethoden zur Lösung physikalischer Probleme einzusetzen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VKTHFPM	Spezielle Themen der theoretischen Festkörperphysik für MSc-Studierende	Wahlpflichtmodul	6–10
Inhalte			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen; Inhalte können sein:			
<p><i>Topological States of Matter</i>: This module gives an overview over the field of topological phenomena in condensed matter systems.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geometry and topology of band structures and their physical implications (e.g., modern versions of the semiclassical equations of motion or the electric polarization). • Discussion of a variety of topological phases, including topological insulators in 2d and 3d, topological superconductors and Majorana states, topological metals (e.g., Weyl semimetals), quantum Hall systems and spin liquids. • Topological protection: effects of disorder and interactions. • Special emphasis on experimental observations such as the detection of topological edge modes as well as novel applications. <p><i>Introduction to physical kinetics, transport theory, and disordered systems</i>: Kinetic (Boltzmann) equation; Scattering by impurities and diffusion equation; Scattering of electrons by another electrons, viscosity, and Navier-Stokes equation; currents of charge and heat, kinetic coefficients, Onsager relations, Weidman-Franz law, and thermo-electric effect; Scattering by phonons and temperature dependence of the electric conductivity; Effect of magnetic field and classical Hall effect; Electron spin, scattering by magnetic impurities, spintronics, and spin-Seebeck effect (optionally: Kondo effect); Zero-temperature green functions, diagrammatic technique for disorder potential, Kubo formula, and current-current correlation function (optionally: weak localisation (interference) corrections to bulk conductivity).</p>			

Theorie starker Magnetfelder in der Festkörperphysik:

- Klassische Behandlung eines geladenen Teilchens im elektromagnetischen Feld im Hamilton- und Lagrange-Formalismus sowie die Lösung der Bewegungsgleichungen für ein konstantes Magnetfeld und im Fall eines gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldes
- Formulierung des quantenmechanischen Ein-Teilchen-Problems und dessen Lösung (Erhaltungsgrößen, symmetrische und Landau-Eichung, Landau-Niveaus, Entartung, Füllfaktor)
- Freies Teilchen im gitterperiodischen Potential ohne Magnetfeld (Bloch-Theorem) und das Bloch-Elektron im Magnetfeld, Näherung eines langsam veränderlichen Vektorpotentials und die Peierls-Substitution im Fall schwacher Felder
- Beschreibung eines Teilchens mittels eines tight-binding-Modells und Peierls-Substitution für ein quadratisches Gitter im Magnetfeld, Ableitung der Harper-Gleichung für schwache und starke Magnetfelder, Eigenschaften des Spektrums (Hofstadter-Schmetterling)
- Semiklassisches Modell (Gültigkeit, Ableitung der Bewegungsgleichungen) im homogenen Magnetfeld und im gitterperiodischen Potential, Bahnkurven und Fermiflächen
- Magnetische Suszeptibilität freier Elektronen im schwachen Feld (Trennung von diamagnetischem und paramagnetischem Anteil) und im starken Feld mit temperaturunabhängigen Oszillationen, deren Periode invers zur Stärke des Magnetfeldes ist
- Bohr-Sommerfeld-Quantisierung der semiklassischen Theorie im periodischen Potential und konstanten Magnetfeld und die Onsagersche Quantisierungsbedingung, experimenteller Nachweis und theoretische Erklärung des de Haas-van Alphen-Effekts, Aussagen über die Form der Fermi-Fläche eines Metalls
- Transporterscheinungen im Magnetfeld (Hall-Effekt im Rahmen der Drude- und Boltzmann-Theorien, Schubnikow-de Haas-Effekt der Leitfähigkeit und die Quanten-Hall-Effekte bei ganzzahligem und gebrochentlichem Füllfaktor)
- Quanten-Hall-Effekt in Graphen

Theorie der Supraleitung: Grundlegende Experimente der Supraleitung, supraleitende Materialien, Thermodynamik und London-Gleichung, Ginsburg-Landau-Theorie, Supraleiter 1. und 2. Art, magnetische Eigenschaften, Fröhlich-Hamiltonian, BCS-Modell, Cooper-Paare, Grundzustand und Thermodynamik von BCS-Supraleitern, Meißner-Effekt, Josephson-Effekt.

Pfadintegrale in der Quantenmechanik und in der Statistischen Physik:

- Einordnung der Pfadintegraldarstellung der Quantenmechanik im Vergleich zu den Formulierungen der Quantenmechanik mit Wellenfunktionen und Matrizen, Vorteile dieser Formulierung
- Definition des Pfadintegrals zur Berechnung der Übergangsamplitude (Zeitentwicklungsoperator, kanonisches Pfadintegral und Feynmans Formulierung, verschiedene Methoden der Berechnung der Fluktuationsamplitude für das freie Teilchen und den harmonischen Oszillator)
- Zusammenhang zwischen Übergangsamplitude und Wellenfunktion, Ableitung der Schrödingergleichung und Bestimmung der Eigenwerte aus der Amplitude
- die Übergangsamplitude als Greensche Funktion und der Zusammenhang zu den Greenschen Funktionen der Quantenstatistik
- Pfadintegral und kanonische Zustandssumme (analytische Fortsetzung, klassischer Limes)
- Näherungen bei der Berechnung von Pfadintegralen (WKB-Näherung, Sattelpunktsnäherung als semiklassischer Grenzfall, Störungstheorie und Korrelationsfunktionen, Variationsprinzip zur Lösung des Polaron-Problems)
- Pfadintegral für Systeme mit topologischen Beschränkungen (Teilchen auf einem Kreis)

Computational Methods in Solid State Theory: The lecture will focus on methods that are suitable for solving problems in solid state theory. The students will apply these methods and as far as possible implement programs for them in the accompanying exercises. Possible topics are the application of density functional theory (DFT) to crystalline materials, the tight binding method, extraction of Hamiltonian parameters from DFT band structures. Approximate methods of solution for manybody Hamiltonians like mean field theory will be covered. Greens functions on real and imaginary frequency axes as well as methods of analytic continuation will be discussed in practical terms. Response functions will be calculated for example in random phase approximation. Part of the lecture can deal with dynamical mean field theory, a method that is approximate in finite dimension but has been increasingly successful over the last twenty years. The final part of the lecture can introduce numerically exact methods like exact diagonalization and quantum Monte Carlo. The lecture will be enriched by discussion of available software or libraries and methods of implementation.

Die Studierenden müssen mindestens zwei und können maximal drei Lehrveranstaltungen absolvieren. Dabei kann frei aus den verfügbaren Lehrveranstaltungen ausgewählt werden.

Lernergebnisse/Kompetenzziele

Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen:

- Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.
- Die Studierenden können forschungsnahe Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.
- Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.
- Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.
- Die Studierenden besitzen das experimentelle oder theoretische Rüstzeug, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung selbst quantitativ zu untersuchen und zu beantworten.

Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls	
keine	
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen	
Teilnahmenachweise	abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen: regelmäßige Teilnahme an den Übungen im Fall von Lehrveranstaltungen mit Übungen, regelmäßige Teilnahme am Seminar im Fall von Seminaren, regelmäßige Teilnahme am Praktikum im Fall von Praktika, keine im Fall von Vorlesungen ohne begleitende Übungen, Seminare oder Praktika
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise in der Lehrveranstaltung, zu der die lehrveranstaltungsbezogene Modulprüfung stattfinden soll
Lehr- / Lernformen	Vorlesungen, Übung
Modulprüfung	
Modulabschlussprüfung, benotet	Die Modulprüfung zu diesem Modul erfolgt lehrveranstaltungsbezogen: In einer Lehrveranstaltung des Moduls nach Wahl der oder des Studierenden werden sowohl die konkreten Inhalte der jeweiligen Lehrveranstaltung als auch die übergeordneten Lernziele des Moduls abgeprüft. Alle anderen von der oder dem Studierenden in diesem Modul absolvierten Lehrveranstaltungen werden mit den oben aufgeführten Leistungsnachweisen abgeschlossen.
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)

4.3.5 Atomphysik und Quantenoptik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VUKQG	Quanteninformation und Ultrakalte Atome	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
Suprafluidität und Bose-Kondensation, Theorie wechselwirkender Bosonen (Bogoliubov, Gross-Pitaevskii), Quantenstatistik und Hanbury-Brown-Twiss Experiment, optische Gitter, Mott-Übergang, Bloch-Oszillationen, fermionische Kondensate und BCS-Theorie, Grundlagen der Quanteninformationstheorie, Bell'sche Ungleichung und Quantenteleportation, Verschränkung und Entropie, Quantenkryptographie, Schumacher-Codierungstheorem, Holevo-Bound, Quantenparallelismus und Quantencomputing, Grover-Algorithmus, Quanten-Fouriertransformation, Shor-Algorithmus, Quantenfehlerkorrektur			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
In diesem Modul lernen die Studierenden zentrale Themen der modernen Quantenphysik sowie ihre Anwendungen in der Quanteninformationsverarbeitung und dem Quantencomputing kennen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet. Nach Absolvieren des Moduls kennen Studierende die Grundlagen der Quanten-Informationsverarbeitung und wichtige Algorithmen des Quantencomputing, beispielsweise den Shor-Algorithmus zur effizienten Faktorisierung großer Zahlen. Studierende können selbst Quanten-Schaltkreise entwerfen und auf Quantencomputern (z.B. IBM Quantum Experience) implementieren. Studierende kennen wichtige Anwendungen der quantenmechanischen Verschränkung wie die Quantenteleportation oder Quantenkryptographie, und sie können die Übertragung und Kompression von klassischer und quantenmechanischer Information in Quantenkanälen beschreiben. Studierende können wechselwirkende Quantenvielteilchensysteme theoretisch modellieren und ihre Quantenphasen und Dynamik beschreiben, insbesondere im Hinblick auf moderne Realisierungen in ultrakalten Quantensimulatoren.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHQO	Theoretische Quantenoptik	Wahlpflichtmodul	8
Inhalte			
<p>Quantisierung und Kohärenzeigenschaften des elektromagnetischen Feldes, squeezed States, Phasenraumdarstellungen, Wigner-Funktion, Quantenmechanik offener Systeme, Lindblad- und Fokker-Planck-Gleichung, Quanten-Markov-Prozesse, Dekohärenz und Theorie der Messung, Quanteninformationsverarbeitung mit quantenoptischen Systemen, Cavity QED, Theorie des Lasers, Lichtkräfte, ultrakalte Quantengase</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>In diesem Modul lernen die Studierenden zentrale Themen der modernen Quantenoptik kennen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet. Nach Absolvieren des Moduls können Studierende quantisierte elektromagnetische Felder und ihre Kohärenzeigenschaften theoretisch beschreiben, unter anderem mit semiklassischen Methoden (Phasenraumdarstellungen). Sie beherrschen die semiklassische und die quantisierte Beschreibung von stark wechselwirkenden Ensembles aus Atomen und Licht mit Hilfe des Rabi- und des Jaynes-Cummings-Modells. Studierende kennen Anwendungen quantenoptischer Systeme für Quantencomputing, beispielsweise in Ionenfallen. Studierende können offene Quantensysteme modellieren und ihre zeitliche Dynamik berechnen, beispielsweise mittels Quantenoperationen und der Lindblad-Mastergleichung. Studierende kennen das Phänomen der Dekohärenz und seine Bedeutung für den quantenmechanischen Messprozess. Sie sind mit Anwendungen quantenoptischer Konzepte, beispielsweise Lichtkräften, in ultrakalten Quantensimulatoren vertraut.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.3.6 Plasmaphysik

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VTHPLAS	Theoretische Plasmaphysik	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
<p>Grundlagen, Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern, Wellen in Plasmen, Zweistrom-Instabilität, Fokker-Planck-Gleichung; Magnetohydrodynamik: Feldkonfigurationen, Wellen, Instabilitäten; stochastische Prozesse, Wechselwirkung von Teilchen mit Wellen; numerische Methoden.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Das Modul gibt einen elementaren Überblick über das theoretische Verständnis der Plasmen, ausgehend von der Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern über kollektive Effekte bis hin zu Instabilitäten. Es hilft beim Zugang zu theoretischen und experimentellen Arbeiten im Bereich der Labor- und astrophysikalischen Plasmen.</p> <p>Die Studenten erwerben ein grundlegendes Wissen über Vielteilcheneffekte in hochgradig nichtlinearen Situationen. Sie lernen, numerische Verfahren zu beurteilen und die Möglichkeit ihrer Anwendung in anderen Bereichen kritisch zu beurteilen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
Leistungsnachweise	erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben		
Prüfungsvorleistungen	Erbringen aller Leistungsnachweise		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Übung		
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:	mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)		

4.3.7 Neurowissenschaften

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VRLEARN	Reinforcement Learning	Wahlpflichtmodul	6
Inhalte			
Markov Decision Processes, Dynamic Programming, Monte Carlo Methods, Temporal Difference Learning, Value Functions, Bellman Equations, Function Approximation, Policy Gradient Methods, Deep Reinforcement Learning, Connection to Psychology and Neuroscience, Applications			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul bietet eine Einführung in die Theorie und Praxis des Gebiets Reinforcement Learning (Verstärkungslernen). Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, selbstständig gegebene Probleme durch Anwendung geeigneter Lernalgorithmen zu lösen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge. • Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren. • Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren. • Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben. • Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Algorithmen zu lösen. 			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.4 Schlüsselqualifikationsmodule

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
VIPY	Einführung in die Programmierung mit Python	Schlüsselqualifikationsmodul	3
Inhalte			
<p>Installation von Python und Erweiterungspaketen, Umgang mit Kommandozeile und interaktiver Shell, Datentypen und -operationen, wesentliche Sprachelemente, Funktionen, Klassen, Exceptions, Verwendung von Erweiterungsmodulen: NumPy, SciPy, Matplotlib, BioPython</p> <p>Übungen zur selbstständigen Bearbeitung und Vertiefung des Stoffs mit anschließender Besprechung sind in die Vorlesung integriert.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen.</p> <p><i>Ziele:</i> Der Umgang mit dem Computer ist in der Wissenschaft heute selbstverständlich, und die zusätzliche Kenntnis einer Programmiersprache ist außerordentlich hilfreich für die Durchführung der verschiedensten Tätigkeiten. Über die unmittelbare Nützlichkeit für die Arbeit hinaus fördert das Erlernen einer Programmiersprache das klare, logische, abstrakte Denken und Formulieren. Die Programmiersprache PYTHON ist frei verfügbar, leicht zu erlernen und im Wissenschaftsbetrieb zunehmend verbreitet. Das Modul vermittelt die Grundlagen von PYTHON mit einem Schwerpunkt auf Anwendungen in der Wissenschaft.</p> <p><i>Kompetenzen:</i> Die Studierenden kennen die wesentlichen Datentypen und Sprachkonstrukte und sind in der Lage, fertige Programme zu analysieren. Sie werden befähigt, für algorithmisch lösbare Aufgabenstellungen eigene Programme zu entwickeln. Sie können diese Kenntnisse auf studiumsrelevante Probleme anwenden, u.a. auf die Aufbereitung und Analyse von experimentellen Daten, die Datenvisualisierung sowie die Nutzung von Zusatzmodulen für wissenschaftliche Fragestellungen.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme am Praktikum	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Programmieraufgaben	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
keine			

Modul VPFEI1	Modulname Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I	Art des Moduls Schlüsselqualifikationsmodul	CP 3
Inhalte			
Handhabung geistigen Eigentums am Beispiel der gewerblichen Schutzrechte, insbesondere des Patents. Erhalten, Verteidigen und Durchsetzen von Patenten. Staatliche Innovationspolitik, unternehmerische Forschung und Entwicklung, Technologiemanagement.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen. In ihm werden grundlegende Kenntnisse über das Patentwesen erworben und die Kompetenz vermittelt, wissenschaftliche Forschung und Entwicklung in ein Unternehmensumfeld einzuordnen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
keine			

Modul VPFEI2	Modulname Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation II	Art des Moduls Schlüsselqualifikationsmodul	CP 3
Inhalte			
Bewertung der Patentierbarkeit einer Entwicklung und des Schutzbereichs eines Patents. Innovationsmanagement, Hochtechnologie-Unternehmensgründungen, Kooperation Hochschule — Wirtschaft.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen. In ihm werden Leitsätze wegweisender Entscheidungen zu Patentierbarkeit und des betrieblichen Innovationsmanagements vermittelt. Die Studierenden erwerben die Kompetenz zu entscheiden, welche Forschungsergebnisse patentierbar sind und wie man Patentschutz erlangt und durchsetzt. Außerdem erhalten sie einen Überblick darüber, wie der Übergang von der universitären Forschung zur kommerziellen Anwendung gestaltet werden kann.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise			
Teilnahmenachweise		keine	
Leistungsnachweise		Fachgespräch (ca. 30 Min.) oder Test	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung	
Modulprüfung			
keine			

4.5 Nebenfachmodule angeboten vom FB Physik

4.5.1 Nebenfach Astronomie

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ASTRO1	Astronomie I	Nebenfachmodul	8
Inhalte			
Koordinatensysteme, Strahlung, Planetensystem, Energieerzeugung in der Sonne, Aufbau der Sonne			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul bietet eine erste Einführung in die Astronomie. Der/die Studierende erlernen grundlegende Konzepte und Denkweisen der Astronomie. Themen sind Koordinatensysteme, Strahlung, Planetensystem, Energieerzeugung in der Sonne, Aufbau der Sonne.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ASTRO2	Astronomie II	Nebenfachmodul	8
Inhalte			
Sternentwicklung, Supernovae, Aufbau der Galaxis, Galaxien, Aktive Galaxien, Kosmologie			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Das Modul bietet eine weiterführende Einführung in die Astronomie. Der/die Studierende erlernen grundlegende Konzepte und Denkweisen der Astronomie. Themen sind Sternentwicklung, Supernovae, Aufbau der Galaxien, Aktive Galaxien, Kosmologie.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
Leistungsnachweise		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Übung	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ASTRO3	Astronomie III	Nebenfachmodul	13
Inhalte			
<p><i>Astronomisches Praktikum:</i> Computer- und Beobachtungspraktikum mit Beispielen, Simulationen und wichtigen softwaretools der Astronomie sowie einer Exkursion.</p> <p><i>Astronomische Spezialvorlesung:</i> zur Auswahl stehen Vorlesungen über Struktur und Dynamik der Sterne, Struktur und Dynamik der Galaxis, Struktur und Dynamik extragalaktischer Systeme, Nukleare und Astroteilchenphysik, Allgemeine Relativitätstheorie, Kosmologie, Experimentelle Astrophysik</p> <p><i>Astronomisches Seminar:</i> Auswahl aus Spezialthemen der modernen Astronomie (siehe Auflistung unter Ziele des Moduls)</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Der/die Studierende vertiefen ihr Wissen in der Astronomie. In einem am Computer basierten Praktikum lernen sie interaktiv die Anwendung von Wissen aus den Modulen ASTRO1,2. Sie lernen wichtige Software- Werkzeuge des Faches kennen und trainieren den selbstständigen Umgang damit. Themengebiete sind: Klassifikation extragalaktischer und galaktischer Objekte anhand spektraler Eigenschaften. Modellierung von Röntgenspektren aktiver galaktischer Kerne. Entfernungsbestimmung von Cepheiden. Hertzsprung - Russel Diagramm. Berechnungen zu Planetenbahnen und Koordinatensystemen. Dunkle Materie in der Milchstraße. Schließlich wählen sie aus einem Angebot von Spezialvorlesungen einen Themenbereich aus, in dem sie vertieftes Wissen erwerben wollen. In einem Seminar erarbeiten sie eigenständig ein Teilgebiet der Astronomie und üben die Präsentation in einem Seminarvortrag.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme am Praktikum und am Seminar	
Leistungsnachweise		Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen im <i>Astronomischen Praktikum</i> (weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt), Seminarvortrag im Rahmen des <i>Astronomischen Seminars</i>	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Praktikum, Vorlesung, Seminar	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.)	

4.5.2 Nebenfach Elektronik

Das Nebenfach Elektronik besteht aus zwei konsekutiven Modulen, die beide erfolgreich absolviert werden müssen. Von der Teilnahme an ELEK-D kann abgesehen werden, falls der oder die Studierende ein inhaltsgleiches Modul vorweisen kann, z.B. die Kombination der Module B-RTKS mit B-HWS-PR des BSc Informatik. Soweit letztgenannte Module bereits als Nebenfachmodule eingebracht wurden, werden für das Nebenfach Elektronik nur die CP und die Note des Moduls ELEK-A berücksichtigt. Das Nebenfach kann jederzeit im Studienverlauf begonnen werden.

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ELEK-A	Analogelektronik	Nebenfachmodul	9
Inhalte			
<p><i>Elektronik und Sensorik I:</i> Die Vorlesung <i>Elektronik und Sensorik I</i> bietet eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundschaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation.</p> <p><i>Elektronik und Sensorik II:</i> Die Vorlesung <i>Elektronik und Sensorik II</i> bietet, aufbauend auf die Vorlesung <i>Elektronik und Sensorik I</i>, eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundschaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation. Kern des Praktikums ist es, den Studierenden den Einsatz der wichtigsten Baugruppen der analogen Elektronik zu vermitteln und den Aufbau einfacher Schaltungen der Analogelektronik zu üben.</p> <p><i>Elektronikpraktikum (Analogteil):</i> Ladungstransport, Signale, lineare passive Netzwerke, physikalische Grundlagen der Halbleiter-Bauelemente, Diodenschaltungen, bipolare und FET-Transistoren, Gegenkopplung</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Die Studierenden erlernen grundlegende Konzepte des Faches und erwerben die Kompetenz zur eigenständigen Analyse elektronischer Bauelemente sowie zur Analyse und zum Aufbau elektronischer Schaltungen. Insbesondere im Rahmen des Praktikums sollen Fertigkeiten wie selbständiger Aufbau und Dimensionierung elektronischer Schaltungen, eigenständiges Lösen von Problemen sowie die Fähigkeit zur Dokumentation und Präsentation von Messergebnissen erworben werden.</p> <p>Das Modul richtet sich an Studierende aller Semester.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme an den Übungen und Praktika	
Leistungsnachweise			
Prüfungsvorleistungen		erfolgreiche Bearbeitung von Übungsaufgaben, Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen (Die Leistungsnachweise können nachgereicht werden, müssen also bei der Anmeldung zur Modulabschlussprüfung noch nicht vorliegen; weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)	
		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen, Übung, Praktikum	

Modulprüfung

Modulabschlussprüfung, benotet

bestehend aus:

mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur
(90 Min.)

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
ELEK-D	Digitalelektronik	Nebenfachmodul	8
Inhalte			
<p><i>Digitale Elektronik I:</i> In der Vorlesung <i>Digitale Elektronik I</i> werden zunächst die für das Digitalelektronikpraktikum benötigten Kenntnisse vorbereitet, so werden z.B. die boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien eingeführt. Hierbei wird Wert auf die praxisnahe Gestaltung der Vorlesung gelegt.</p> <p><i>Digitale Elektronik II:</i> In der Vorlesung "Digitalelektronik II" werden die Themen boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien vertieft. Die Vorlesung ist ergänzend zum Praktikum und dient zur Diskussion der konkreten Projekte.</p> <p><i>Elektronikpraktikum (Digitalteil):</i> In dem Praktikum, das durch eine ergänzende Vorlesung „Digitalelektronik II“ zur Diskussion der konkreten Projekte begleitet wird, werden die Studierenden zunächst durch den Aufbau von Schaltungen mit diskreten Bauelementen an die Materie herangeführt, so dass diese dann mit VHDL ein eigenständiges Projekt mit programmierbarer Logik definieren und implementieren können.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p>Den Studierenden wird ein grundlegendes Verständnis der Funktionsweise digitaler Schaltungen vermittelt, um in der Lage zu sein, zukünftige vertiefende Arbeiten und Aufgabenstellungen auf dem Gebiet sicher einzuordnen. Im Vordergrund des Praktikums steht die selbstständige Anwendung des Erlernten durch die selbstständige Durchführung eines in Teamarbeit frei zu gestaltenden Projektes. Das Modul richtet sich an Studierende aller Semester.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
<p>Modul Elek-A oder gleichwertige Vorkenntnisse. Das Praktikum kann ohne die gleichzeitige Teilnahme an den Vorlesungen <i>Digitale Elektronik I,II</i> oder eine bereits erfolgte erfolgreiche Modulabschlussprüfung für das Modul ELEK-D nicht begonnen werden.</p>			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise		regelmäßige Teilnahme am Praktikum	
Leistungsnachweise		Abgabe und Bestehen von Praktikumsprotokollen (Die Leistungsnachweise können nachgereicht werden, müssen also bei der Anmeldung zur Modulabschlussprüfung noch nicht vorliegen; weitere Details werden in der Praktikumsordnung festgelegt)	
Prüfungsvorleistungen		Erbringen aller Leistungsnachweise	
Lehr- / Lernformen		Vorlesungen, Übung, Praktikum	
Modulprüfung			
Modulabschlussprüfung, benotet			
bestehend aus:		mündliche Prüfung (ca. 30 Min.) oder Klausur (90 Min.)	

4.5.3 Nebenfach Didaktik der Physik

Für das Nebenfach Physikdidaktik im Rahmen des Masterstudiums Physik ist das Absolvieren des Moduls Physikdidaktik 2 verpflichtend, falls im Bachelorstudium Physik bereits Physikdidaktik als Nebenfach gewählt wurde. Anderenfalls ist das Absolvieren des Moduls Physikdidaktik 1 verpflichtend, das Modul Physikdidaktik 2 optional.

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
DIDA1	Physikdidaktik 1	Nebenfachmodul	13
Inhalte			
Ausgewählte fachdidaktische und methodische Themen wie Schülervorstellungen, Elementarisierung, Modellbildung, Experimentieren und exemplarische Anwendung im Physikunterricht.			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
Die Teilnehmer erwerben zu den verschiedenen Inhaltsbereichen handlungsrelevantes Wissen, das es ihnen erlaubt, diese Inhalte in die Gestaltung von Lehr-Lern-Umgebungen verantwortungsvoll, reflektiert und im Anschluss an wissenschaftliche Erkenntnisse einzubeziehen. Ferner erlangen sie im Sinne des exemplarischen Lernens Kompetenzen in der Erschließung zukünftig neuer naturwissenschaftsdidaktischer Inhaltsbereiche und ihrer Vernetzung mit bestehenden Wissens- und Kompetenzbereichen.			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
keine			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an den Seminaren und dem Praktikum		
Leistungsnachweise	keine		
Prüfungsvorleistungen	keine		
Lehr- / Lernformen		Vorlesung, Praktikum, Seminare	
Modulprüfung			
kumulative Modulprüfung, benotet bestehend aus:		eine Klausur (90 Min.) zu den Inhalten der beiden Lehrveranstaltungen LV1 und LV2, Protokolle und Ausarbeitung in LV3, Hausarbeit oder Präsentation und Ausarbeitung in LV4	
Bildung der Modulnote:		nach CP gewichtetes, arithmetisches Mittel der Einzelnoten	

Modul	Modulname	Art des Moduls	CP
DIDA2	Physikdidaktik 2	Nebenfachmodul	14
Inhalte			
<p><i>Fachdidaktische Vertiefung der Modernen Physik:</i> Grundlagen der Atomphysik, Kernphysik und Festkörperphysik; Grundlagen der Quantenphysik, Relativitätstheorie und Astrophysik; fachdidaktische Anforderungen an das Kommunizieren und Lehren im Themenfeld Moderne Physik.</p> <p><i>Methodik des Physikunterrichts:</i> Die Studierenden entwickeln Unterrichtsmaterialien unter Anwendung verschiedener methodischer Konzepte und Unterrichtsformen. Darauf basierend konzipieren sie eine konkrete Unterrichtseinheit zu einem ausgewählten Schwerpunkt.</p> <p><i>Praktikum Experimentelle Demonstrationen:</i> Grundlegende Experimente des Physikunterrichts der Sekundarstufe I und II; Gerätekunde schultypischer Geräte; Zielsetzung und didaktisches Potential von Demonstrationsexperimenten, Schülerexperimenten, Freihandexperimenten, Modellexperimenten, etc.; rechnergestütztes Experimentieren und computerbasierte Messwerterfassung; Präsentation von Experimenten; Sicherheit im Physikunterricht.</p>			
Lernergebnisse/Kompetenzziele			
<p><i>Fachdidaktische Vertiefung der modernen Physik:</i> Die Studierenden verfügen über ein grundlegendes Fachwissen zu den aufgeführten Themen und können dies in unterschiedlichen Kontexten anwenden. Die Studierenden kennen typische Lernschwierigkeiten aus den betreffenden Themenbereichen und können Folgerungen für Elementarisierungen, fachliche Reflektionen und Unterricht ziehen.</p> <p><i>Methodik des Physikunterrichts:</i> Die Studierenden kennen fachdidaktische Theorien und Forschung für Lehren und Lernen. Sie können fachdidaktische Ansätze zur Konzeption von Unterrichtsprozessen erläutern und in exemplarischen Unterrichtsentwürfen mit Blick auf Medienpädagogik umsetzen. Sie können schulische und außerschulische Praxisfelder erfassen und kritisch analysieren, sowie fachspezifische Lernschwierigkeiten berücksichtigen und Fördermöglichkeiten entwickeln.</p> <p><i>Experimentelle Demonstrationen:</i> Die Studierenden kennen Kategorien von Experimenten, ihre Funktion und ihr didaktisches Potential. Sie können mit handels- und schulüblichen Lehrgeräten und Experimentiermaterialien kompetent umgehen und Strategien zur systematischen Analyse von Fehlerquellen beim eigenen Experimentieren entwickeln. Sie können Experimente lernziel- und schülerorientiert auswählen, aufbauen und präsentieren.</p>			
Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls			
erfolgreicher Abschluss des Moduls <i>Physikdidaktik 1</i>			
Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen			
Teilnahmenachweise	regelmäßige Teilnahme an Seminar und Praktikum		
Leistungsnachweise	keine		
Prüfungsvorleistungen	keine		
Lehr- / Lernformen	Vorlesung, Praktikum, Seminar		
Modulprüfung			
kumulative Modulprüfung, benotet			
bestehend aus:	Hausarbeit oder Präsentation und Ausarbeitung in LV2 und LV3		
Bildung der Modulnote:	nach CP gewichtetes, arithmetisches Mittel der Einzelnoten		

Impressum

UniReport Satzungen und Ordnungen erscheint unregelmäßig und anlassbezogen als Sonderausgabe des UniReport. Die Auflage wird für jede Ausgabe separat festgesetzt.

Herausgeber ist die Präsidentin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.