



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Nr. 75 vom 2. September 2026

## **AMTLICHE BEKANNTMACHUNG**

Hg.: Der Präsident der Universität Hamburg  
Referat 31 – Qualität und Recht

### **Fachspezifische Bestimmungen für den Studiengang Physics and Chemistry of Nanomaterials (M.Sc.)**

**Vom 20. Mai 2026**

Das Präsidium der Universität Hamburg hat am 30. Juni 2026 die vom Fakultätsrat der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften am 20. Mai 2026 auf Grund von § 91 Absatz 2 Nummer 1 des Hamburgischen Hochschulgesetzes (HmbHG) vom 18. Juli 2001 (HmbGVBl. S. 171) in der Fassung vom 19. Februar 2025 (HmbGVBl. S. 241)) beschlossenen Fachspezifischen Bestimmungen für den Masterstudiengang Physics and Chemistry of Nanomaterials als Fach eines Studiengangs mit dem Abschluss „Master of Science“ (M.Sc.) gemäß § 108 Absatz 1 HmbHG genehmigt.

## **Präambel**

Diese Fachspezifischen Bestimmungen ergänzen die Regelungen der Prüfungsordnung der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften für Studiengänge mit dem Abschluss „Master of Science“ (M.Sc.) vom 20. Oktober 2021 in der jeweils geltenden Fassung und beschreiben die Module für das Fach Physics and Chemistry of Nanomaterials.

## **I. Ergänzende Bestimmungen**

### **Zu § 1**

#### **Studienziel, Prüfungszweck, Akademischer Grad, Durchführungen des Studiengangs**

##### **Zu § 1 Absatz 1:**

Der Masterstudiengang Physics and Chemistry of Nanomaterials

1. hat ein forschungsorientiertes Profil.
2. Die Masterprüfung bildet einen weiteren berufsqualifizierenden Abschluss einer vertiefenden und forschungsbezogenen, wissenschaftlichen Ausbildung im Studiengang Physics and Chemistry of Nanomaterials.
3. Die Studierenden sind in der Lage, komplexe Problemstellungen aufzugreifen und sie mit wissenschaftlichen Methoden auch über die Grenzen des aktuellen Wissensstandes hinaus zu lösen.
4. Unter Berücksichtigung der Anforderungen und Veränderungen in der Berufswelt und der fachübergreifenden Bezüge vermittelt das Studium die erforderlichen fachwissenschaftlichen Methoden und erweitert Fähigkeiten und Kenntnisse, die zu wissenschaftlicher Arbeit, zur Anwendung und kritischen Einordnung wissenschaftlicher Erkenntnisse und zu verantwortlichem Handeln befähigen.

Die Studienziele konzentrieren sich vor allem auf

- a) ein an den aktuellen Forschungsfragen orientiertes Fachwissen auf der Basis vertieften Grundlagenwissens,
- b) methodische und analytische Kompetenzen, die zu einer selbstständigen Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse befähigen, wobei Forschungsmethoden eine zentrale Bedeutung haben,
- c) Vermittlung fachlicher Vielseitigkeit und wissenschaftlicher Tiefe, um bisher noch nicht bearbeitete Probleme in Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Technik zu analysieren und lösen zu können.
- d) Befähigung, in der Auseinandersetzung mit Problemstellungen aus der aktuellen Forschung selbstständig, problemorientiert, fächerübergreifend und verantwortungsbewusst zu arbeiten und die Resultate schlüssig darzustellen.
- e) berufsrelevante Schlüsselqualifikationen.

##### **Zu § 1 Absatz 4:**

Die Durchführung des Studienganges erfolgt durch die Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften.

### **Zu § 4**

#### **Studien- und Prüfungsaufbau, Module und Leistungspunkte (LP)**

##### **Zu § 4 Absatz 1:**

- (1) Detaillierte Beschreibungen aller Module finden sich unter II. Modulbeschreibungen dieser Fachspezifischen Bestimmungen und im Modulhandbuch.

- (2) Der Masterstudiengang gliedert sich in drei Abschnitte, einer Aufbauphase, einer Fachlichen Vertiefungsphase und der Forschungsphase:
1. In der Aufbauphase werden die im Bachelorstudiengang erworbenen Grundlagen der Physik und Chemie von Nanomaterialien mit Pflichtmodulen aus der Festkörperphysik, Physikalischen Chemie sowie Festkörper- und Strukturchemie ergänzt. Dieser Bereich gilt auch zum Angleich des Vorwissens von Studiengangs- und Studienortswechslerinnen und -wechslern und sollte möglichst im ersten oder zweiten Semester durchgeführt werden. Die Aufbauphase umfasst 16 Leistungspunkte.
  2. Die Fachliche Vertiefungsphase dient dem Erarbeiten der für eine eigenständige produktive Arbeit in der Physik and Chemie von Nanomaterialien notwendigen fortgeschrittenen Kenntnisse. Sie umfasst Wahlpflichtmodule im Umfang von 53 Leistungspunkten, die sich an den Forschungsbereichen und -schwerpunkten der Fachbereiche Chemie und Physik orientieren.  
Hierbei sind aus den beiden Kernfächern Chemie und Physik mindestens je 21 Leistungspunkte zu belegen. Leistungspunkte von Modulen, die von beiden Fachbereichen gemeinsam durchgeführt werden, teilen sich hierbei gleichmäßig auf. Weitere Leistungspunkte, die zum Abschluss der Vertiefungsphase benötigt werden, können aus den fachlichen Vertiefungen Physik und/oder Chemie und/oder aus dem Bereich „weitere Vertiefungsmodule“ gewählt werden.
  3. Der Freie Wahlbereich hat einen Umfang von 6 Leistungspunkten. Die Module für den Freien Wahlbereich können aus dem für den Freien Wahlbereich und Crossdisciplinary Learning von den anbietenden Fächern geöffneten Lehrangebot der Universität Hamburg ausgewählt werden.
  4. Die Forschungsphase im Umfang von 45 Leistungspunkten setzt sich aus einer Projektstudie (15 LP) in der Chemie oder Physik und dem Abschlussmodul Masterarbeit (30 LP) zusammen. Die Projektstudie soll auf die Masterarbeit hinführen und muss mit der späteren Betreuerin bzw. dem Betreuer der Masterarbeit abgestimmt werden.
- (3) Die folgende Übersicht beschreibt den empfohlenen Studienverlauf für den Master of Science Physics and Chemistry of Nanomaterials:

|             |                                                 |                                              |                                                 |                       |
|-------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Semester | Advanced Phys. Chemistry<br>(6 LP)              | Solid-State & Structural Chemistry<br>(2 LP) | Wahlpflichtbereich Chemie/<br>Physik<br>(16 LP) | Wahlbereich<br>(6 LP) |
| 2. Semester | Advanced Solid-State Physics<br>(8 LP)          |                                              | Wahlpflichtbereich Chemie/Physik<br>(22 LP)     |                       |
| 3. Semester | Wahlpflichtbereich Chemie/<br>Physik<br>(15 LP) |                                              | Projektstudie Chemie oder Physik<br>(15 LP)     |                       |
| 4. Semester | Masterarbeit<br>(30 LP)                         |                                              |                                                 |                       |

## **Zu § 5**

### **Lehrveranstaltungsarten**

#### **Zu § 5 Absatz 1:**

Die Anwesenheitspflicht gilt nicht für die Zulassung zu Wiederholungsprüfungen.

#### **Zu § 5 Absätze 2 und 3:**

- (1) Für folgende Lehrveranstaltungsarten besteht Anwesenheitspflicht:
  - a) Seminare und Proseminare, da diese auch zum Ziel haben, die Kritikfähigkeit und die Fähigkeit, Diskussionen zu führen, zu verbessern;
  - b) Praktika, da die Studierenden unter Anleitung zum Lösen praktischer Problemstellungen befähigt werden sollen;
  - c) Projekte, da diese auch dem Erwerb von Sozialkompetenzen dienen, z. B. der Befähigung zur Projektarbeit im Team;
  - d) Übungen, in denen die Qualifikationsziele des zugehörigen Moduls außerhalb der Übungen in der Regel nicht vollständig erreicht werden können.

## **Zu § 7**

### **Prüfungsausschuss**

#### **Zu § 7 Absatz 1:**

Bei den Mitgliedern aus der Gruppe der Hochschullehrerinnen und Hochschullehrer soll jeweils eine Vertretung sowie eine Stellvertretung aus den Fachbereichen Chemie und Physik kommen. Das Mitglied aus der Gruppe des akademischen Personals soll dem Fachbereich Chemie oder Physik angehören. Alle zwei Jahre sollen die jeweiligen Fächer die Vertretungs- und Stellvertretungspositionen wechseln.

## **Zu § 13**

### **Studienleistungen und Modulprüfungen**

#### **Zu § 13 Absatz 4:**

- (1) Der Umfang des Projektabschlusses in Form des Abschlussberichts umfasst 15 bis 30 Seiten.
- (2) Weitere Prüfungsarten sind:

Ein Kolloquium bestehend aus einem Vortrag und einer wissenschaftlichen Diskussion zu den Inhalten des Vortrages. Der Gesamtumfang des Kolloquiums liegt zwischen 30 und 60 Minuten.

#### **Zu § 13 Absatz 10:**

Prüfungsleistungen werden in englischer Sprache erbracht. Im Einvernehmen mit Prüferin bzw. Prüfer und Prüfling kann die Prüfung in einer vom Modul abweichenden Sprache abgehalten werden.

## **Zu § 14**

### **Masterarbeit**

#### **Zu § 14 Absatz 1:**

Verpflichtender Bestandteil des Abschlussmoduls ist neben der Masterarbeit ein Kolloquium bestehend aus einem Vortrag und einer wissenschaftlichen Diskussion zu den Inhalten der Arbeit im Rahmen eines wissenschaftlichen Seminars. Das Kolloquium geht zu einem Anteil von einem Sechstel in die Bewertung des Abschlussmoduls ein und muss mindestens mit der Note 4,0 bestanden sein. Das Kolloquium soll bis spätestens sechs Wochen nach Abgabe der schriftlichen Arbeit gehalten werden. Die Bewertung der Masterarbeit soll unverzüglich, spätestens innerhalb der sechs Wochen nach Einreichung der schriftlichen Arbeit, erfolgen.

**Zu § 14 Absatz 2:**

Zur Masterarbeit kann zugelassen werden, wer alle Pflichtmodule erfolgreich abgeschlossen und mindestens 75 Leistungspunkte, inklusive der Projektstudie, erworben hat. Die Projektstudie soll auf die Masterarbeit hinführen und muss mit der späteren Betreuerin bzw. dem Betreuer der Masterarbeit abgestimmt werden.

**Zu § 14 Absatz 4:**

Die Masterarbeit wird in englischer Sprache abgefasst.

**Zu § 14 Absatz 5:**

Der Arbeitsaufwand für die Masterarbeit beträgt 30 Leistungspunkte. Der Bearbeitungszeitraum der Masterarbeit beträgt 6 Monate.

**Zu § 15**

**Bewertung der Prüfungsleistungen**

**Zu § 15 Absatz 3:**

Wenn ein Modul durch mehrere Teilprüfungen abgeschlossen wird, wird die Note des Moduls als ein mittels Leistungspunkten gewichtetes Mittel der Noten für die Teilleistungen errechnet. Abweichungen (insbesondere eine prozentuale Gewichtung der Noten für die Teilleistungen) sind den Modulbeschreibungen zu entnehmen.

Die Gesamtnote der Masterprüfung wird als mittels Leistungspunkten gewichtetes Mittel der Modulnoten berechnet, wobei

1. Pflicht- und Wahlpflichtmodule einfach,
2. Projektstudie einfach,
3. Abschlussmodul Masterarbeit dreifach

gewertet werden.

Prüfungsleistungen aus dem Wahlbereich gehen nicht in die Gesamtnote ein.

**Zu § 15 Absatz 4:**

Die Gesamtnote „mit Auszeichnung bestanden“ wird vergeben, wenn die Masterarbeit mit 1,0 bewertet wurde und alle notenrelevanten Modulprüfungen bis auf höchstens eine mit 1,0 bewertet wurden. Unbenotete Module sowie solche, die mangels Vergleichbarkeit als „bestanden“ anerkannt wurden, gehen in die Berechnung der Gesamtnote nicht ein.

## II. Modulbeschreibungen

### Pflichtmodul Physik

| Modultyp                          | Pflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                             | <b>Advanced Solid-State Physics</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sigle                             | <b>PHY-MV-E403</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Qualifikationsziele               | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierenden vertiefte Kenntnisse über den wissenschaftlichen Stand der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik. Es ist vertieftes Fachwissen vorhanden, um eine experimentelle Master-Arbeit im Gebiet der Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Inhalte                           | <p>Vertiefung aktueller Themen der Festkörperphysik; Experimentelle Methoden der Festkörperphysik;<br/>Zum Stoffumfang gehören:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klassischer Ladungs- und Wärmetransport nach Boltzmann, Lokalisierung, Interferenzeffekte, Coulomb-Blockade in Nanostrukturen, Spintransport;</li> <li>• Dielektrische Funktion von Festkörpern und Nanostrukturen, elementare Anregungen wie Plasmonen, Polaronen, Polaritonen, Exzitonen, Magnonen;</li> <li>• Metall-Isolator Übergänge (Mott Isolator, Hubbard-Modell);</li> <li>• Korrelierte Elektronensysteme am Beispiel von Hoch-Temperatur Supraleitern und Manganaten;</li> <li>• Riesenmagnetwiderstand und Spinströme (Interlagenaustausch-Kopplung, Spinventile und Exchange-Bias, Rashba-Effekt).</li> <li>• Darüber hinaus werden sie mit aktuellen Formalismen zur theoretischen Beschreibung von modernen Festkörpern, sofern sie für das experimentelle Verständnis notwendig sind (Fermi-Goldene Regel, Suszeptibilitäten, Response-Theorie, Propagatoren) vertraut gemacht und sie werden in aktuelle Fragestellungen der Festkörper- und Nanostrukturphysik und ihre experimentellen Methoden eingeführt. Schlüsselexperimente und Anwendungen neuer Materialien wie zum Beispiel Graphen oder topologische Isolatoren werden anhand von ausgewählten aktuellen Fachpublikationen vermittelt, mit denen sich die Studierenden in der Veranstaltung auseinandersetzen.</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Advanced Solid-State Physics (V): 4 SWS</li> <li>• Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Unterrichtssprache                | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Voraussetzungen für die Teilnahme | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B (B.Sc.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Modulabschluss                    | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                     |                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Advanced Solid-State Physics (V): 6 LP</li><li>• Exercises in Advanced Solid-State Physics (Ü): 2 LP</li></ul> |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 8 LP                                                                                                                                                   |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                           |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                             |

**Pflichtmodule Chemie**

| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Pflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel</b>                                        | <b>Solid-State and Structural Chemistry</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 101 N</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden sind aufgrund ihres Verständnisses der Anorganischen Chemie aus dem Bachelor-Studiengang in der Lage, weiterführende Fragestellungen aus dem Bereich der Festkörperstrukturen zu bearbeiten, indem sie ihnen bekannte Konzepte und Theorien kombinieren und überprüfen. Sie sind in der Lage, durch erweiterte Ansätze Zusammenhänge herzustellen und sich einen größeren Überblick über die diversen Festkörperstrukturen zu verschaffen. Die Symmetriellehre wird ihnen als nützliches Analysetool helfen, die Systematik der Festkörperstrukturen zu durchdringen. Die Studierenden sollten in der Lage sein, die Internationalen Tabellen für Kristallographie auf die Standardstrukturtypen anzuwenden. Kristallstrukturen werden gemäß der dargelegten Konzepte verstanden und durchdrungen. Die Studierenden haben ein Basisverständnis der Bändertheorie erworben, können Bandstrukturdiagramme interpretieren und einige Eigenschaften daraus erschließen. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Kristalle, Anisotropie, Kristallsysteme, Bravais-Gitter, Zentrierungen Kristallklassen, Morphologie von Kristallen, Tracht & Habitus, Symmetrieelemente und Symmetrieeoperationen, Symmetrienomenklatur (Schoenflies vs. Hermann-Mauguin), Gleispierebenen, Schraubenachsen, International Tables for Crystallography, Symmetrieelementdiagramme, Allgemeine-Lagen-Diagramme, Wyckoff-Positionen, Asymmetrische Einheit, Beschreibung von Festkörperstrukturen, Paulingsche Regeln (Polyederverknüpfungen), Kristallstrukturen der Metalle, Gleitsysteme, Barlow-Packungen, Lanthanoide, Jagodzinski-Symbolik, Effektive Koordinationszahl, Strukturtypen, Spinelle, Olivine, Perowskite, Anti-/Ferroelektrizität, Bändertheorie, Bloch-Wellen, Bandstrukturen.                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Solid-State and Structural Chemistry (V): 1,5 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: B.Sc.-Module, die die Symmetrien und Strukturen von Festkörpern behandeln sowie Basiskenntnisse über die MO-Theorie vermitteln                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Solid-State and Structural Chemistry (V): 2 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 2 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Dauer</b>                   | Ein Semester               |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b> | Jährlich im Wintersemester |

| Modultyp                                     | Pflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Advanced Physical Chemistry                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sigle                                        | CHE 103                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Qualifikationsziele                          | Die Studierenden können die wesentlichen Aussagen der kinetischen Gastheorie erklären und haben eine detaillierte Vorstellung von der Energieverteilung und den Stoßprozessen in der Gasphase. Die Studierenden können vibronische und elektronische Übergänge skizzieren, beschreiben und differenzieren. Ferner sind die Studierenden in der Lage, den atomaren/molekularen Aufbau von Festkörpern zu beschreiben, verstehen die Entstehung von Bändern und können Materialeigenschaften, insbesondere optische und elektronische Prozesse im Festkörper, ableiten. |
| Inhalte                                      | Kinetische Gastheorie und Anwendung auf Gasgesetze, Geschwindigkeitsverteilung, Freie Weglänge und Stoßtheorie, Gruppentheorie und Anwendung auf Schwingungen, Elektronische Übergänge, Auswahlregeln und chemische Bindungen. Elektronische Eigenschaften großer Moleküle und Festkörper, Bandstrukturmodelle. Statistische Mechanik, Zustandssumme, QM Modelle, Anwendung auf thermodynamische Funktionen.                                                                                                                                                          |
| Lehr- und Lernformen                         | Physikalische Chemie für Fortgeschrittene (V): 3 SWS<br>Übungen zur Physikalischen Chemie für Fortgeschrittene (Ü): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Unterrichtssprache                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Modulabschluss                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Physikalische Chemie für Fortgeschrittene (V) 4,5 LP<br>Übungen zur Physikalischen Chemie für Fortgeschrittene (Ü) 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

**Weitere Pflichtmodule**

| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Pflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel</b>                                        | <b>Abschlussmodul – Masterarbeit</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-N-MA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Kandidatin oder der Kandidat ist in der Lage, sich innerhalb der vorgegebenen Frist in eine Problemstellung der aktuellen Forschung in dem Fach einzuarbeiten, geeignete wissenschaftliche Methoden zunehmend selbstständig anzuwenden und die Ergebnisse in wissenschaftlich angemessener Form darzustellen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Inhalte</b>                                      | <p>Die Masterarbeit bildet den Abschluss des Masterstudiums. Die Masterarbeit besteht aus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Durchführung eines Forschungs- bzw. wissenschaftlichen Entwicklungsprojekts,</li> <li>• experimentelle und/oder theoretische Bearbeitung des Themas,</li> <li>• der Auswertung und der Aufbereitung der Ergebnisse,</li> <li>• der schriftlichen Dokumentation der Ergebnisse durch Abfassen der Masterthesis,</li> <li>• einer mündlichen Präsentation der Ergebnisse in einem Vortrag und wissenschaftliche Diskussion.</li> </ul> <p>Die Ergebnisse sollen in der Regel zu einer wissenschaftlichen Publikation beitragen.</p> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Selbstständige wissenschaftliche Arbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Zur Masterarbeit kann zugelassen werden, wer alle Pflichtmodule erfolgreich abgeschlossen und mindestens 75 Leistungspunkte, inkl. der Projektstudie, erworben hat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulteilprüfungen:</b><br/>schriftliche Masterarbeit und Kolloquium. Das Kolloquium geht zu 1/6 in die Note des Abschlussmoduls ein.</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>Englisch</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Selbstständige wissenschaftliche Arbeit inklusive Kolloquium: 30 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 30 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Dauer</b>                                        | 900 Stunden Arbeitsaufwand innerhalb von maximal 6 Monaten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Pflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Projektstudie</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-N-PS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Mit der Bearbeitung vorbereitender Aufgabenstellungen haben sich die oder der Studierende die speziellen experimentellen und/oder theoretischen Methoden und die Kenntnis des Gebietes soweit erarbeitet, dass sie oder er sie zur Bearbeitung von Fragestellungen, aus dem das Thema der Master-Arbeit stammen soll, erfolgreich anwenden kann. Planung und Strukturierung des vorgesehenen Forschungsprojektes. |
| <b>Inhalte</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einarbeitung in das Themengebiet,</li> <li>• Einarbeitung in die theoretischen und/oder experimentellen Arbeitstechniken und Hilfsmittel,</li> <li>• Bearbeitung von Teilaspekten,</li> <li>• Formulierung eines Arbeits- und Zeitplans.</li> </ul>                                                                                                                      |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Projektabschluss (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Englisch                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Selbstständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung: 15 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 15 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## Vertiefung Physik

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sigle                                        | PHY-MV-E404                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die Eigenschaften der Synchrotronstrahlung erläutern, experimentelle Methoden wie SAXS, Pulverdiffraktometrie und Total Xray scattering beschreiben und anwenden, Messdaten auswerten sowie geeignete Messstrategien für die strukturelle Charakterisierung von Nanopartikeln auswählen und begründen.                                                                                                                                                         |
| Inhalte                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzipien und Theorie der Pulver-Röntgendiffraktion (PXRD)</li> <li>• Grundlagen der Kleinwinkel-Röntgenstreuung (SAXS) und zeitaufgelöster Techniken (TS)</li> <li>• Experimentelle Datenerfassung und Analysemethoden</li> <li>• Strahlzeitexperimente am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY)</li> <li>• Probenpräparation und experimenteller Aufbau</li> <li>• Praktische Messungen in Kleingruppen</li> <li>• Workshop-basierte Auswertung experimenteller Daten</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (V): 2 SWS</li> <li>• Exercises in Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Unterrichtssprache                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Nanochemie I & II, Methoden moderner Röntgenphysik I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Hausarbeit (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (V): 3 LP</li> <li>• Exercises in Application of Synchrotron Radiation in Nanoscience (Ü): 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Modultyp                                            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                               | Complex Materials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Sigle                                               | PHY-MV-E405                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden nanoskalige Bausteine gezielt entwerfen und herstellen, die zugrunde liegenden chemischen und physikalischen Prozesse erläutern sowie Konzepte zur hierarchischen Assemblierung funktionaler Materialien anwenden und auf aktuelle Fragestellungen der Nanotechnologie übertragen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Inhalte</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Synthese von 0D-, 1D-, 2D- und 3D-Bausteinen im Nano- und Mikrometerbereich</li> <li>• Physikalische Eigenschaften von Nanomaterialien (Größenquantisierung, plasmonische Effekte, Superparamagnetismus)</li> <li>• Batch- und Flow-Chemie-Verfahren</li> <li>• Synthesemethoden für anorganische und polymere Nanomaterialien</li> <li>• Assemblierung von Bausteinen zu hierarchischen Strukturen (nm–cm)</li> <li>• Selbstorganisation und gerichtete Assemblierungsstrategien</li> <li>• Dispersionsbasierte Beschichtungsverfahren</li> <li>• 2D- und 3D-Druck von funktionalen Materialien</li> <li>• Herstellung makroskopischer Architekturen (z. B. Aerogele)</li> <li>• Anwendung von Nanomaterialkonzepten auf funktionale Materialien</li> <li>• Praktische Laborumsetzung eigener Projektideen</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complex Materials (V): 3 SWS</li> <li>• Project: 1 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch oder Deutsch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | <p>Verbindlich: Keine</p> <p>Empfohlen: Introductory courses in Physical Chemistry, Physics or Nanochemistry</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Erfolgreiches Erbringen von Studienleistungen und regelmäßige Teilnahme am Projekt</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Referat (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complex Materials (V): 5 LP</li> <li>• Project work: 1 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Fundamentals of Photovoltaics</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E408</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, die physikalischen Grundlagen der photovoltaischen Energieumwandlung zu erläutern und auf verschiedene Solarzellkonzepte anzuwenden. Sie können unterschiedliche Solarzelltechnologien hinsichtlich Wirkungsgrad, Materialsystemen und technologischer Umsetzung vergleichen und bewerten. Zudem sind sie befähigt, theoretische, technische und ökonomische Limitierungen der Photovoltaik kritisch einzuordnen und grundlegende Fertigungsprozesse von Solarzellen zu beschreiben. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Es werden folgende Themen behandelt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzept photovoltaischer Energieerzeugung</li> <li>• Theoretische, technische und ökonomische Grenzen der Photovoltaik</li> <li>• Technologien verschiedener Solarzellentypen</li> <li>• Herstellung von Solarzellen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Fundamentals of Photovoltaics (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Physik V (BSc)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Projektabschluss (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Fundamentals of Photovoltaics (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Methods in Nanobiotechnology I</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E410</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden moderne Methoden und Aspekte der Nanobiotechnologie und sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet. Die Studierenden können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Inhalte</b>                                      | In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, u.s.w. behandelt. |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methods in Nanobiotechnology I (V): 2 SWS</li> <li>• Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü): 2 SWS</li> <li>• Practical: Methods in Nanobiotechnology I: 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methods in Nanobiotechnology I (V): 3 LP</li> <li>• Exercises in Methods in Nanobiotechnology I (Ü): 2 LP</li> <li>• Practical: Methods in Nanobiotechnology I: 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 7 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Methods in Nanobiotechnology II</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E411</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben Studierenden Kenntnis von modernen Methoden und Aspekten der Nanobiotechnologie. Sie sind für wissenschaftliche Arbeiten in dieser Thematik vorbereitet und können fachliche Primärliteratur zum Thema verstehen, einordnen, und auch zusammenfassend vortragen.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Inhalte</b>                                      | In diesem Kurs werden grundlegende Methoden der Nanobiotechnologie vorgestellt und diskutiert. Der Fokus dieses Moduls liegt in der Synthese von Materialien, besonders der von Kolloiden, und deren Charakterisierung. Experimentelle Techniken und Hintergrundinformationen über Messapparaturen werden behandelt. Als Beispiele werden die Synthese kolloidaler Nanopartikel und Mikropartikel, die Funktionalisierung von Oberflächen, Reinigungsmethoden, Bestimmung von Partikelgrößen und Partikeltrennungsprozessen, Bioconjugation, photophysikalische Grundlagen, usw. behandelt. |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methods in Nanobiotechnology II (V): 2 SWS</li> <li>• Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü): 2 SWS</li> <li>• Practical: Methods in Nanobiotechnology II: 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Referat (50%) und Praktikumsabschluss (schriftliche Ausarbeitung und Kolloquium, 50%) (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methods in Nanobiotechnology II (V): 3 LP</li> <li>• Exercises in Methods in Nanobiotechnology II (Ü): 2 LP</li> <li>• Practical: Methods in Nanobiotechnology II: 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 7 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Nanostructure Physics I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Sigle                                        | PHY-MV-E414                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen von Halbleiter-Nanostrukturen erläutern, Herstellungsverfahren wie PVD und CVD vergleichen, Transportphänomene in niedrigdimensionalen Systemen analysieren sowie Eigenschaften und Anwendungen von 0D-, 1D- und 2D-Nanostrukturen bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Inhalte                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der Halbleiterphysik und des Ladungsträgertransports</li> <li>Halbleitergrenzflächen und klassische Halbleiterbauelemente</li> <li>Herstellungsverfahren (PVD, CVD) für Filme und Heterostrukturen</li> <li>Mikro- und Nanostrukturierungstechniken</li> <li>Transport in niedrigdimensionalen Elektronensystemen</li> <li>Halbleiter-Nanostrukturen (0D, 1D, 2D) und heterostrukturierte Bauelemente</li> <li>Anwendungen halbleitender Nanostrukturen (optische und energiebezogene Bauelemente)</li> <li>Graphen und andere zweidimensionale Materialien</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nanostructure Physics I (V): 4 SWS</li> <li>Exercises in Nanostructure Physics I (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Unterrichtssprache                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Nanostrukturphysik A oder Physik IV (= Festkörperphysik)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nanostructure Physics I (V): 6 LP</li> <li>Exercises in Nanostructure Physics I (Ü): 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 8 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                  | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Titel</b>                                     | <b>Practical Course for Nanostructure Physics: Surface Science and Magnetism</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Sigle</b>                                     | <b>PHY-MV-E415</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Qualifikationsziele</b>                       | Nach erfolgreichem Abschluss dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage, ausgewählte experimentelle und theoretische Techniken anzuwenden, die für die Forschung in den Bereichen Oberflächenphysik und Oberflächenmagnetismus erforderlich sind. Insbesondere lernen sie, wie sie Forschungsvorhaben planen und dokumentieren sowie ihre Ergebnisse analysieren, interpretieren und präsentieren. Durch praktische Arbeit in einem aktiven Forschungsumfeld werden die Inhalte des Moduls Nanostrukturphysik: Oberflächenwissenschaft und Magnetismus auf der Grundlage der Anwendung der Techniken auf aktuelle wissenschaftliche Probleme vertieft.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Inhalte</b>                                   | <p>Praktische Projektarbeit zu einem didaktisch bedeutsamen Problem, das in ein aktuelles Forschungsthema der Gruppe eingebettet ist (experimentell oder theoretisch, je nach Präferenz), basierend auf den Inhalten des Moduls Nanostrukturphysik: Oberflächenwissenschaft und Magnetismus. Das Modul umfasst einen praktischen Teil mit einer Dauer von etwa 5 Tagen, in dem die Studierenden an dem Projekt arbeiten, und einem anschließenden Hausarbeitsteil, in dem die Studierenden die Ausarbeitung vornehmen.</p> <p>Mögliche Themen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präparation und Charakterisierung einer Einkristalloberfläche mittels LEED, Auger-Elektronenspektroskopie und Rastertunnelmikroskopie oder Rasterkraftmikroskopie.</li> <li>• Untersuchung des temperaturabhängigen Wachstums ultradünner magnetischer Schichten auf einer metallischen Einkristalloberfläche und deren Charakterisierung mittels oberflächensensitiver Methoden</li> <li>• Untersuchung des Phasenraums nicht-kollinear Spintexturen auf der Grundlage von Monte-Carlo-Simulationen, Spin-Dynamik-Simulationen oder innerhalb eines mikromagnetischen Modells.</li> <li>• Simulation und Analyse von Magnetisierungskurven und Spin-Anregungsspektren unter Verwendung eines effektiven Heisenberg-ähnlichen Spin-Hamilton-Operators.</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                      | Practical Course for Nanostructure Physics: Surface Science and Magnetism (P): 3 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                        | Deutsch oder Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>         | Verbindlich: Erfolgreicher Abschluss von „Nanostrukturphysik II: Oberflächenphysik und Magnetismus“. In Einzelfällen kann das Praktikum auch vorlesungsbegleitend durchgeführt werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modulabschluss</b>                            | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Prüfungsart:</b><br/>Praktikumsabschluss (benotet)</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>Deutsch oder Englisch</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteil</b> | Practical Course for Nanostructure Physics: Surface Science and Magnetism (P): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                        |                                                                                                              |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b> | 3 LP                                                                                                         |
| <b>Dauer</b>                           | Blockveranstaltung von etwa 2 Wochen, Gruppen von jeweils 2 Studierenden, Termine und Themen nach Absprache. |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>         | Jedes Semester                                                                                               |

| Modultyp                                    | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                       | Nanostructure Physics II: Surface Science and Magnetism                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Sigle                                       | PHY-MV-E416                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Qualifikationsziele                         | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden grundlegende Konzepte der Oberflächenphysik und des Magnetismus in reduzierten Dimensionen erläutern, experimentelle Methoden der Oberflächencharakterisierung und Niedrigtemperaturphysik anwenden und bewerten, magnetische Wechselwirkungen identifizieren sowie komplexe magnetische Zustände und deren Dynamik analysieren und in den Kontext aktueller Forschungsentwicklungen einordnen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Inhalte                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrahochvakuum- und Tieftemperaturtechnologie</li> <li>• Oberflächenstrukturen und Überstrukturen</li> <li>• Oberflächencharakterisierung mit Elektronen- und Photontechniken</li> <li>• Rastersondenmethoden (spin- und zeitaufgelöst)</li> <li>• Magnetowiderstandseffekte</li> <li>• Komplexe magnetische Ordnung (Spinspiralen, Skyrmionen)</li> <li>• Elektronische Oberflächenstruktur (Oberflächenzustände, Rashba-Effekt)</li> <li>• Dimensionalitätseffekte im Bandmagnetismus</li> <li>• Verallgemeinerte quantenmechanische und semiklassische Heisenberg-Modelle und magnetische Wechselwirkungen</li> <li>• Spin-Bahn-Kopplung im Oberflächenmagnetismus</li> <li>• Magnetisierungsdynamik (Spinwellen, Landau-Lifshitz-Gilbert-Gleichung)</li> <li>• Aktuelle Themen (topologische Isolatoren, magnetische Skyrmionen, topologische Supraleiter, Majorana-Zustände)</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanostructure Physics II (V): 4 SWS</li> <li>• Exercises in Nanostructure Physics II (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Unterrichtssprache                          | Englisch oder Deutsch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Voraussetzungen für die Teilnahme           | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Quantenphysik/Quantenchemie und Nanostrukturphysik A, B, bzw. Physik III (= Quantenphysik & Statistische Physik) und Physik IV (= Festkörperphysik)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Modulabschluss                              | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Erfolgreiche Erbringung von Studienleistungen (60 Prozent der Punkte in den Übungen)</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch oder Deutsch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanostructure Physics II (V): 6 LP</li> <li>• Exercises in Nanostructure Physics II (Ü): 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls             | 8 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Dauer                                       | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Häufigkeit des Angebots                     | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Nanostructure Physics III: Nano-Bio-Interfaces                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sigle                                        | PHY-MV-E417                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zentrale physikalische und biophysikalische Prozesse an Bio- und Nanogrenzflächen zu erklären und quantitativ zu beschreiben. Sie können Transport-, Wechselwirkungs- und Strukturphänomene an Grenzflächen analysieren und geeignete experimentelle Methoden zur Untersuchung bio-nanophysikalischer Systeme einordnen. Darüber hinaus sind sie befähigt, Anwendungen in Mikrofluidik, Sensorik und Biomedizin physikalisch zu bewerten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Inhalte                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einführung</li> <li>2. Grundlagen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kraft und Energie</li> <li>• Thermodynamische Potentiale</li> <li>• Diffusion</li> <li>• Debye-Hückel Abschirmung, Zeta-Potential</li> </ul> </li> <li>3. Bio- und Nanogrenzflächen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalische Beschreibung organischer und anorganischer Grenzflächen</li> <li>• Biophysikalische Grenzflächen</li> <li>• Oberflächenspannung und Osmose</li> <li>• Zellmembranen</li> <li>• Elektrische Eigenschaften von Zellmembranen und Ionentransfer</li> <li>• Aufbau und Raumstruktur von Proteinen</li> <li>• Protein-Protein-/Protein-Oberflächen-Wechselwirkungen</li> <li>• AFM-Kraftspektroskopie: Kraftinduzierte Sekundärstrukturänderungen</li> <li>• Enzymkatalyse durch Tunneleffekt</li> </ul> </li> <li>4. Anwendungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrofluidik</li> <li>• Implantatoberflächen in der Forschung</li> <li>• Bioelektronische Devices</li> <li>• Biosensoren und in-vitro/in-vivo Diagnostik</li> </ul> </li> </ol> |
| Lehr- und Lernformen                         | Nanostructure Physics III (V): 4 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Unterrichtssprache                           | Englisch oder Deutsch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Grundlagen der Physik und Chemie (B.Sc.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch oder Deutsch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Nanostructure Physics III (V): 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Dauer</b>                   | Ein Semester               |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b> | Jährlich im Wintersemester |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | <b>Nanostructure Physics IV – Nanobiotechnology and Energy Materials</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sigle                                        | <b>PHY-MV-E418</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls können Studierende die wesentlichen Forschungsergebnisse der Anwendung von Nanostrukturen und Nanomaterialien in den Bereich Medizin und Biotechnologie zusammenfassen. Auch hinsichtlich Energiespeicherung und Energieerzeugung mittels Nanomaterialien werden sie entsprechende Kenntnisse besitzen.               |
| Inhalte                                      | Aktuelle Forschungsergebnisse sollen in regelmäßigen Turnus abwechseln aus dem zwei Themenfeldern Energiematerialien oder Nanobiotechnologie vorgestellt werden und hierbei besonders die interdisziplinären Aspekte innerhalb der Nanowissenschaften mit den Themenfeldern Physik, Chemie, Biologie, Ingenieurwissenschaften und Medizin hervorgehoben werden. |
| Lehr- und Lernformen                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nanostructure Physics IV (V): 2 SWS</li> <li>Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü): 1 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                 |
| Unterrichtssprache                           | Englisch oder Deutsch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch oder Deutsch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nanostructure Physics IV (V): 3 LP</li> <li>Exercises in Nanostructure Physics IV (Ü): 1 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                   |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 4 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| Modultyp                                            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                               | Soft Matter Physics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Sigle                                               | PHY-MV-E419                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden ein grundlegendes Verständnis für Polymerphysik entwickelt und haben Einblick in die Struktur und das Phasenverhalten von Polymeren gewonnen. Darüber hinaus haben sie geeignete Methoden zur Charakterisierung von Polymeren und deren Eigenschaften kennengelernt, die in der aktuellen Forschung Anwendung finden. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls haben die Studierenden ein grundlegendes Verständnis für Polymerphysik entwickelt und haben Einblick in die Struktur und das Phasenverhalten von Polymeren gewonnen. Darüber hinaus haben sie geeignete Methoden zur Charakterisierung von Polymeren und deren Eigenschaften kennengelernt, die in der aktuellen Forschung Anwendung finden. |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Soft Matter Physics (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>mündliche Prüfung oder Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>in der Regel Deutsch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Soft Matter Physics (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Modultyp                          | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                             | Quantum Transport and Experimental Quantum Physics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sigle                             | PHY-MV-E420                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Qualifikationsziele               | <p>Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls haben die Studierende ein vertieftes Wissen zu den wichtigen Prinzipien der Halbleiter- und Festkörperphysik und grundlegendes zu neuen, exotischen Materiezuständen.</p> <p>Sie besitzen das Verständnis zu wichtigen Quanteneffekte in Festkörpern und deren experimentellen Untersuchungsmethoden. Die Studierenden wissen, wie moderne Halbleiterstrukturen aufgebaut sind und wie sie zu Nanostrukturen prozessiert werden können. Sie verstehen, unter welchen Bedingungen Quanteneffekte in Halbleitern auftreten, wie sie physikalisch zu interpretieren sind und wie sie experimentell untersucht werden. Die Studierenden kennen die Anwendungen der modernen Messtechniken von Halbleitern bei Temperaturen <math>\leq 4.2</math> Kelvin und besitzen die nötigen Grundlagen, um auf dem Gebiet des Quantentransports experimentell arbeiten zu können.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Inhalte                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einführung</li> <li>2. Grundlagen der Festkörper- und Halbleiterphysik (ca. 15% der VL) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandstrukturen</li> <li>• Eigenschaften der Ladungsträger</li> </ul> </li> <li>3. Grundlagen der Halbleitertechnologie (ca. 15%) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wachstum von Halbleitern</li> <li>• Prozessierung, Strukturierung und Reinraumtechnologien</li> <li>• Charakterisierungsmethoden</li> </ul> </li> <li>4. Quanteneffekte und Quantentransport (ca. 60%) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport von Ladungsträgern</li> <li>• Wechselwirkungen und Defekte</li> <li>• Quantisierung durch Einschlusspotentiale und Magnetfelder</li> <li>• Quanten-Hall-Effekte und Graphen</li> <li>• Topologische Systeme</li> <li>• Quanteneffekte in Nanostrukturen</li> </ul> </li> <li>5. Messmethoden und Technologien (ca. 10%) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Tieftemperaturphysik (4.2 Kelvin bis Millikelvin-Bereich)</li> <li>• Grundlagen der Messdatenaufnahme für Transport bei tiefen Temperaturen</li> <li>• (Messmethoden und Datenaufnahme/Programmierung)</li> </ul> </li> </ol> |
| Lehr- und Lernformen              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V): 2 SWS</li> <li>• Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü): 1 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Unterrichtssprache                | Englisch oder Deutsch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Voraussetzungen für die Teilnahme | <p>Verbindlich: Keine</p> <p>Empfohlen: Grundlagen der Elektrodynamik und Quantenmechanik (B.Sc.)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Referat und mündliche Prüfung (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>Englisch oder Deutsch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben. |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (V): 3 LP</li> <li>• Exercises in Quantum Transport and Experimental Quantum Physics (Ü): 1 LP</li> </ul>                                                                 |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 4 LP                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                            |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | <b>Seminar on Nanophysics and Nanotechnology</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sigle                                        | <b>PHY-MV-E423</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Qualifikationsziele                          | Studierende haben vertiefte Kenntnisse über und Einblicke in aktuelle Entwicklungen der Forschung in der Festkörper- und Nanostrukturphysik.<br>Die Studierende kennen moderne Festkörper- und Nanostrukturphysik, durch Behandlung aktueller Fragen mittels experimenteller Methoden. Sie haben vertieftes Fachwissen, um eine Master-Arbeit im Gebiet der experimentellen Festkörper- und Nanostrukturphysik erfolgreich durchführen zu können |
| Inhalte                                      | Vertiefung aktueller Themen der Festkörper- und Nanostrukturphysik<br>Experimentelle Methoden der Festkörper- und Nanostrukturphysik                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Lehr- und Lernformen                         | Seminar on Nanophysics and Nanotechnology (S): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Unterrichtssprache                           | Deutsch oder Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Physik IV (= Festkörperphysik) oder Nanostrukturphysik A und B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Modulabschluss                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Deutsch oder Englisch<br><br>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                            |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Seminar on Nanophysics and Nanotechnology (S): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Biophysical Methods</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E425</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse physikalischer Analysemethoden in der modernen Biophysik. Sie erhalten ein Verständnis dafür, wie diese Werkzeuge angewendet und kombiniert werden können, um reale wissenschaftliche Herausforderungen im breiten Bereich der Biophysik zu bewältigen.                                                                                                                            |
| <b>Inhalte</b>                                      | Fachvorträge zu einer Vielzahl biophysikalischer Methoden, darunter unter anderem elektronische und Schwingungsspektroskopie, Magnetresonanzspektroskopie, Massenspektrometrie, Röntgenstreuung und -beugung, computergestützte Modellierung und Simulation, Elektronenmikroskopie, Fluoreszenz- und Superauflösungsmikroskopie, kalorimetrische und spektroskopische Methoden zur Untersuchung der Ligandenbindung sowie Kinetik. |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Biophysical Methods (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>mündliche Prüfung (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Biophysical Methods (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

## Vertiefung Chemie

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                          | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Titel</b>                             | <b>Organische Chemie III</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Sigle</b>                             | <b>CHE 017</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Qualifikationsziele</b>               | Die Studierenden besitzen vertiefte Fachkompetenz auf dem Gebiet der organischen Chemie mit einem besonderen Schwerpunkt auf komplexen Reaktionsmechanismen und modernen Syntheseverfahren zur stereoselektiven sowie zur stereospezifischen Synthese. Sie kennen die Prinzipien stereoselektiver Synthesemethoden und relevante Modellvorstellungen zur Interpretation und Vorhersage der Selektivität stereoselektiver Reaktionen. Sie können die Produktbildung und Selektivitäten bei stereoselektiven Reaktionen analysieren und interpretieren sowie die Machbarkeit und Selektivität unbekannter Transformationen vorhersagen. Sie können Syntheseverfahren hinsichtlich ihrer Effizienz analysieren und bewerten und können eigenständig diastereo- und enantioselective Synthesen chiraler Zielmoleküle konzipieren und planen. Sie beherrschen Methoden zur Analyse von Reaktionsmechanismen, Intermediaten und Produkten bzw. Gemischen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Inhalte</b>                           | Prinzipien der Stereochemie, stereoselektiver Synthese, komplexer Reaktionsmechanismen und moderner Syntheseverfahren: Stereochemie (Begriffe, Definitionen, Typen chiraler Moleküle, Nomenklatur); Verfahren zur Bestimmung der absoluten Konfiguration und zur Bestimmung der optischen Reinheit; Enantiomerentrennung, Stereoselektive Synthese: Chiral Pool-Synthese, Chirale Auxiliare (z. B. Enders, RAMP/SAMP, Evans (Oxazolidinone), Seebach (Taddole)), Reagenz-, Substrat- und Ligand-kontrollierte Synthesen, Zimmermann-Traxler-Übergangszustand, doppelte Stereodifferenzierung, Hammond-Postulat; asymmetrische Katalyse (z. B. Sharpless-Oxidationen; Enzyme in der Synthese); Stereochemie dynamischer Prozesse, Einfluss der Konformation auf Reaktivität (Anomerer Effekt, gauche-Effekt), Carbonylreaktionen mit C- und H-Nucleophilen (Stereoselektivität und Modellvorstellungen: Cram-Modell, anti-Cram-Produkte, Felkin-Anh-Modell, Cram-Chelate-Kontrolle; Substrat- versus Reagenzkontrolle; Curtin-Hammett-Prinzip), Eliminierungen (Produktkontrolle; E-, Z-selektive Synthesemethoden und Olefinierungen), Übergangsmetall-katalysierte Reaktionen (Alkenylierungen, Arylierung, Alkinylierung, Metathese) 13C- und 2D-NMR sowie die Kombination von NMR mit anderen spektroskopischen Methoden wie IR, UV/Vis und MS sowie die Bestimmung von Enantiomerenüberschüssen mittels NMR |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>              | Organische Chemie III (V): 3 SWS<br>Übungen zur Organischen Chemie III (Ü): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: CHE 081 A, CHE 031 und 014 BC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulabschluss</b>                    | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                     |                                                                           |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Organische Chemie III: 3 LP<br>Übungen zur Organischen Chemie III: 1,5 LP |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 4,5 LP                                                                    |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                              |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                |

| Modultyp            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel               | Quantenchemie I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sigle               | CHE 107                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Qualifikationsziele | Die Studierenden sind in der Lage, die theoretischen Grundlagen der Hartree-Fock-Theorie und der Dichtefunktionaltheorie zu erklären, vergleichend zu diskutieren und zu bewerten, sowie sich diese Grundlagen eigenständig abzuleiten basierend auf den Grundlagen der Quantenmechanik.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Inhalte             | <ol style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der Quantenmechanik <ul style="list-style-type: none"> <li>Operatoren und Observablen, Erwartungswerte, zeitabhängige und zeitunabhängige Schrödingergleichung</li> <li>Konstruktion des Hamiltonoperators für Moleküle</li> <li>Born-Oppenheimer-Näherung</li> <li>Pauli-Prinzip</li> <li>Näherungsansätze für die Wellenfunktion (Hartree-Produkt, Slaterdeterminante, Spin- und Raumorbitale)</li> <li>Interpretation der Wellenfunktion als Wahrscheinlichkeitsdichte – Variationsprinzip</li> <li>Störungstheorie</li> <li>Atomare Einheiten</li> </ul> </li> <li>Mathematische Einführung: <ul style="list-style-type: none"> <li>Vektoren</li> <li>Matrizen</li> <li>Determinanten – Unitäre Transformationen</li> <li>Eigenwertgleichungen</li> <li>Lineare Operatoren</li> </ul> </li> <li>Hartree-Fock-Theorie <ul style="list-style-type: none"> <li>Definition von Slater-Determinanten über den Antisymmetrisierungsoperator</li> <li>Erwartungswerte und Matrixelemente von Ein- und Zweiteilchenoperatoren für Slaterdeterminanten (insbesondere Energieerwartungswert)</li> <li>Coulomb- und Austauschintegrale</li> <li>Coulomb-, Austausch- und Fock-Operator</li> <li>Ableitung des Hartree-Fock-Gleichungen anhand des Variationsprinzips</li> <li>Invarianz von Erwartungswerten unter unitären Transformationen der Orbitale</li> <li>Koopmans Theorem</li> <li>Brillouin-Theorem</li> <li>Hartree-Fock-Theorie für Closed-Shell-Systeme (Restricted Hartree-Fock (RHF))</li> <li>Hartree-Fock-Gleichungen in Basisdarstellung – Dichtematrix Fockmatrix – Symmetrische Orthogonalisierung der Basis</li> <li>Self-Consistent-Field-Algorithmus</li> <li>Moleküleigenschaften aus Hartree-Fock-Theorie in Basisdarstellung; Populationsanalyse</li> <li>Hartree-Fock-Theorie für Open-Shell-Systeme (Unrestricted Hartree-Fock (UHF))</li> <li>Basissätze in praktischen quantenchemischen Berechnungen</li> <li>Grenzen der Anwendbarkeit</li> </ul> </li> <li>Einführung Dichtefunktionaltheorie (DFT): <ul style="list-style-type: none"> <li>Hohenberg-Kohn-Theoreme</li> <li>Kohn-Sham-DFT, technischer und konzeptioneller Vergleich mit der Hartree-Fock-Theorie</li> <li>Grenzen der Anwendbarkeit</li> </ul> </li> </ol> |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Quantenchemie I (V): 2 SWS<br>Übungen zu Quantenchemie I (Ü): 2 SWS                                                                                                                                                                    |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                               |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik                                                                                                                                                     |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben. |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Quantenchemie I: 3 LP<br>Übungen zu Quantenchemie I: 3 LP                                                                                                                                                                              |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                             |

| Modultyp                                            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                               | Quantenchemie II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Sigle                                               | CHE 135                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden sind in der Lage, die theoretischen Grundlagen korrelierter Wellenfunktions- und dichtefunktionaltheoretischer Methoden zu erklären, vergleichend zu diskutieren und zu bewerten, sowie sich diese Grundlagen eigenständig abzuleiten basierend auf den Grundlagen der Quantenmechanik. Dazu lernen Sie die mathematischen Grundlagen der zweiten Quantisierung kennen und können damit theoretische Modelle ableiten, analysieren und vergleichen. Sie kennen die Grenzen der Gültigkeit verschiedener Näherungen und können für eine konkrete Fragestellung die Wahl einer geeigneten Näherung begründen und hinterfragen.                                                |
| <b>Inhalte</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederholung Grundlagen der Quantentheorie und Hartree-Fock-Theorie</li> <li>• Vertiefung Born-Oppenheimer-Näherung (Grenzen der Gültigkeit)</li> <li>• Zweite Quantisierung</li> <li>• Multikonfigurationsmethoden: MCSCF/CASSCF, Configuration Interaction (CI)</li> <li>• Störungstheoretische Methoden: MP2, CASPT2</li> <li>• Coupled-Cluster-Theorie</li> <li>• Dichtefunktionaltheorie (DFT): Vertiefung formaler Aspekte</li> <li>• Fakultativ: zeitabhängige Methoden, neue Korrelationsmethoden, Elektronentransfer und -transport, Green's-Funktionen in der Chemie, Relativistische Quantenchemie, magnetische Eigenschaften</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Quantenchemie II (V): 2 SWS<br>Übungen zu Quantenchemie II (Ü): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: CHE 134 Quantenchemie I und Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Quantenchemie II: 3 LP<br>Übungen zu Quantenchemie II: 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Electronic Transport in Molecules and Nanoscopic Systems                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sigle                                        | CHE 136                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Qualifikationsziele                          | Die Studierenden sind in der Lage, verschiedene Modelle und Mechanismen der elektrischen Leitfähigkeit für unterschiedliche Systeme zu erklären, diskutieren und zu bewerten. Sie sind in der Lage, numerische Modelle zu konstruieren und mit diesen Simulationen durchzuführen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Inhalte                                      | <p>Geeignet als Ergänzung zum Modul CHE 139 (Nanoelektronik und -sensorik). Detaillierte Einführung in verschiedene Modelle der elektrischen Leitfähigkeit, mit einem Fokus auf die Phänomene und Konzepte in der molekularen Elektronik, Spintronik und anderer nanoskopischer Systeme.</p> <p>Besprochen werden unter anderem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wieso molekulare Elektronik und Spintronik?</li> <li>• Verschiedene Transport-Mechanismen (Tunneln, Hopping) – woraus muss man bei der theoretischen Beschreibung achten?</li> <li>• Ladungstransport durch Nanopartikel und Nanopartikelnetzwerke</li> <li>• Zusammenhang Struktur-Leitwert</li> <li>• Quanteninterferenz – wieso leiten manche Moleküle deutlich schlechter als strukturell sehr ähnliche?</li> <li>• Einfluss von Magnetfeldern und ungepaarten Spins, helikale Moleküle als Spinfilter</li> <li>• Moleküle als Gleichrichter</li> <li>• Schaltbare Moleküle</li> <li>• Molekulare Optoelektronik</li> <li>• Mechanische Kontrolle</li> <li>• Transport durch zweidimensionale Systeme</li> <li>• Welche Anwendungsmöglichkeiten gibt es?</li> </ul> <p>Diese Themen werden ergänzt durch Simulationen und Modelle, welche von den Studierenden selbst durchgeführt oder angepasst werden.</p> |
| Lehr- und Lernformen                         | Electronic Transport in Molecules and Nanoscopic Systems (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Unterrichtssprache                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | <p>Verbindlich: Keine</p> <p>Empfohlen: Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik sowie grundlegende Python Kenntnisse</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Prüfungsart:</b><br/>Referat oder Hausarbeit (benotet)</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>i. d. R. Englisch</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Electronic Transport in Molecules and Nanoscopic Systems: 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Sustainable Soft Materials – Vorlesungsmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 137 A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Kennen der Charakteristika von Soft Matter und verschiedener dazugehöriger Stoffklassen, insbesondere Polymere, Netzwerke, Gele, Vitrimere und Kolloide. Kenntnis von nachhaltigen Synthesemethoden für solche Materialien. Anwendung dieser Kenntnisse in einem Referat über eine Fachpublikation im Seminar mit anschließender Diskussion. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Nachhaltige Synthesen sowie die Herstellung und Charakterisierung polymerer Materialien, Netzwerke, Gele, Vitrimere und kolloidaler Systeme. Beziehungen zwischen chemischer Struktur der Materialien und ihren Phasen in Substanz und in Lösung sowie deren physikalischen Eigenschaften (Mechanik, Optik).                                 |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Sustainable Soft Materials (V): 1 SWS<br>Sustainable Soft Materials (S): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Einführende Veranstaltungen der Physikalischen Chemie und der Makromolekularen Chemie                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                    |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Sustainable Soft Materials (V): 1,5 LP<br>Sustainable Soft Materials (S): 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP (P = 28 Std./S = 32 Std./PV = 30 Std.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Sustainable Soft Materials – Praktikumsmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 137 B</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Kennen der Charakteristika von Soft Matter und verschiedener dazugehöriger Stoffklassen, insbesondere Polymere, Netzwerke, Gele, Vitrimere und Kolloide. Kenntnis von nachhaltigen Synthesemethoden für solche Materialien. Anwendung dieser Kenntnisse in einem Referat über eine Fachpublikation im Seminar mit anschließender Diskussion. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Nachhaltige Synthesen sowie die Herstellung und Charakterisierung polymerer Materialien, Netzwerke, Gele, Vitrimere und kolloidaler Systeme. Beziehungen zwischen chemischer Struktur der Materialien und ihren Phasen in Substanz und in Lösung sowie deren physikalischen Eigenschaften (Mechanik, Optik).                                 |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Sustainable Soft Materials (P): 6 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Sustainable Soft Materials – Vorlesungsmodul<br>Empfohlen: Praktika der Anorganischen und Organischen Chemie, Praktika der Physikalischen Chemie und der Technischen und Makromolekularen Chemie                                                                                                                                |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Projektabschluss mit Protokoll (75%) und Referat im Arbeitskreis (25%) (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Sustainable Soft Materials (P): 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Laser Spectroscopy of Nanostructures</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 138 A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden verstehen die Konzepte von Lasern sowie der optischen Spektroskopie nanoskaliger Materialien.<br>Die Studierenden verstehen Zusammenhänge von quanten-mechanischen Übergängen mit optischen Spektren.                                                                                                                                                                        |
| <b>Inhalte</b>                                      | Licht-Materie-Wechselwirkung und ihre Beschreibung, Prinzipielle Funktionsweise von Lasern, Laserresonatoren, Erzeugung ultrakurzer Laserpulse, Beispiele von Lasern für Spektroskopie an Nanostrukturen, Zeitaufgelöste Spektroskopie: Photonenzählen und Pump-Probe-Verfahren, Frequenzaufgelöste Spektroskopie: Raman und Photolumineszenz, Ortsaufgelöste Methoden: Konfokale Mikroskopie |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Laser Spectroscopy of Nanostructures (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: CHE 103<br>Empfohlen: Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik und Spektroskopie                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>i. d. R. mündliche Prüfung, abweichend Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                              |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Laser Spectroscopy of Nanostructures (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Laser Spectroscopy of Nanomaterials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sigle                                        | CHE 138 B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Qualifikationsziele                          | <p>Die Studierenden erwerben Kenntnisse und praktische Kompetenzen in Gebieten der optischen Spektroskopie nanoskaliger Materialien. Die Studierenden führen dazu anspruchsvolle präparative und analytische Experimente durch: Analysieren unterschiedlicher dynamischer Prozesse in nanokristallinen Festkörpern. Analysieren der Signalentstehung unterschiedlicher Spektroskopieverfahren.</p> <p>Sie kooperieren innerhalb des Teams der gastgebenden Arbeitsgruppe. Die Studierenden organisieren ihre praktische Arbeit im Labor und planen Experimente oder experimentelle Reihen. Dazu recherchieren sie die notwendige Literatur und fassen diese im Protokoll zusammen.</p> <p>In dem Protokoll dokumentieren sie auch die durchgeführten Experimente und bewerten die erarbeiteten Ergebnisse.</p> |
| Inhalte                                      | <p>Licht-Materie-Wechselwirkung und ihre Beschreibung, Prinzipielle Funktionsweise von Lasern, Laserresonatoren, Erzeugung ultrakurzer Laserpulse, Beispiele von Lasern für Spektroskopie an Nanostrukturen, Zeitaufgelöste Spektroskopie: Photonenzählen und Pump-Probe-Verfahren, Frequenzauflöste Spektroskopie: Raman und Photolumineszenz, Ortsaufgelöste Methoden: Konfokale Mikroskopie</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Lehr- und Lernformen                         | Zeitaufgelöste Spektroskopie an Nanostrukturen (Pr): 6 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Unterrichtssprache                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | <p>Verbindlich: CHE 138 A, CHE 103</p> <p>Empfohlen: Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik und Spektroskopie</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Prüfungsart:</b><br/>Projektabschluss (benotet)</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>i. d. R. Englisch</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Zeitaufgelöste Spektroskopie an Nanostrukturen (Pr): 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Modultyp                                    | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                       | Nanomaterials in Optics, Electronics, and Sensors                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Sigle                                       | CHE 139                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Qualifikationsziele                         | Die Studierenden erwerben Kenntnisse der optischen und elektronischen Eigenschaften von Nanomaterialien und ihren Anwendungsmöglichkeiten als Sensoren. Diese dienen den Studierenden bei der selbstständigen, wissenschaftlichen Bearbeitung von physikalisch-chemischen Fragestellungen als Grundlage für nachhaltige Lösungsansätze. Die Studierenden kennen die spezifischen optischen und elektronischen Eigenschaften von Nanomaterialien und können diese den Funktionsprinzipien unterschiedlicher elektronischer Bauteile und Sensortypen zuordnen. Sie verstehen grundlegende Zusammenhänge der Festkörperphysik und können diese zur Bewertung der Vor- und Nachteile verschiedener Sensortypen für unterschiedliche Anwendungsbedarfe verwenden. Sie können die Funktionsweise von Sensoren mit optischer oder elektrischer Signaltransduktion auf der Grundlage klassischer und quantenmechanischer Modelle sowie der Verwendung von Ersatzschaltbildern analysieren und deuten. Die Studierenden sind befähigt, fachspezifische Literaturrecherchen auszuführen. Sie sind in der Lage, für gegebene Anwendungsprobleme Lösungsvorschläge für die Konstruktion geeigneter Sensoren aus Nanomaterialien zu erarbeiten. |
| Inhalte                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung metallischer und halbleitender Nanomaterialien</li> <li>• Spektroskopische und mikroskopische Methoden zur Charakterisierung von Nanomaterialien</li> <li>• Optische und elektrische Eigenschaften metallischer und halbleitender Nanostrukturen</li> <li>• Funktionsprinzip elektrischer Bauteile auf der Basis von Nanostrukturen</li> <li>• Funktionsprinzipien chemischer und physikalischer Sensoren</li> <li>• Sensoren aus Nanomaterialien mit optischer Signaltransduktion</li> <li>• Sensoren aus Nanomaterialien mit elektrischer Signaltransduktion</li> <li>• Beispiele zur aktuellen Forschung: Vorteile von Nanomaterialien zur Konstruktion hoch empfindlicher chemischer und physikalischer Sensoren</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Lehr- und Lernformen                        | Nanomaterials in Optics, Electronics, and Sensors (V): 3 SWS<br>Nanomaterials in Optics, Electronics, and Sensors (S): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Unterrichtssprache                          | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Voraussetzungen für die Teilnahme           | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Einführende Veranstaltungen zur Anorganischen und Physikalischen Chemie (CHE 101) und (CHE 103)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Modulabschluss                              | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat (40 %, benotet) und Klausur (60 %, benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen | Nanomaterials in Optics, Electronics, and Sensors (V): 4,5 LP<br>Nanomaterials in Optics, Electronics, and Sensors (S): 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls             | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Dauer                                       | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Häufigkeit des Angebots</b> | Jährlich im Sommersemester |
|--------------------------------|----------------------------|

| Modultyp                                            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                               | Quantenchemie III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Sigle                                               | CHE 143                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden sind in der Lage, die theoretischen Grundlagen von Quanteneinbettungsverfahren zu erklären, vergleichend zu diskutieren und zu bewerten, sowie sich diese Grundlagen eigenständig abzuleiten basierend auf den Grundlagen der Quantenmechanik. Dazu lernen Sie die Grundlagen der Green's-Funktionentheorie in Vielkörperstörungstheorie kennen und können damit theoretische Modelle ableiten, analysieren und vergleichen. Sie kennen die Grenzen der Gültigkeit verschiedener Näherungen und können für eine konkrete Fragestellung die Wahl einer geeigneten Näherung begründen und hinterfragen.                                                                                                                                                                                    |
| <b>Inhalte</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederholung Grundlagen der Quantentheorie: Zweite Quantisierung, Hartree-Fock-Theorie, Dichtefunktionaltheorie (DFT)</li> <li>• Green's-Funktionen in Many-Body Perturbation Theory</li> <li>• Multiskalenmethoden:</li> <li>• *QM/MM: Grundlagen und Limitierungen</li> <li>• *Subsystem DFT: Grundlagen, Anwendungen und Limitierungen</li> <li>• *Density Matrix Embedding Theory: Grundlagen, Anwendungen und Limitierungen</li> <li>• *Dynamical Mean-Field Theory: Grundlagen aus Sicht der Quantenchemie, Anwendungen und Limitierungen</li> <li>• Praktische Aspekte von Multiskalenmethoden; Aktuelle Aspekte von Multiskalenmethoden und Entwicklungen</li> <li>• Grundlagen der Quantendynamik/des Elektronentransports in Nanostrukturen</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Quantenchemie III (V): 2 SWS<br>Übungen zu Quantenchemie III (Ü): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Quantenchemie I/II und Veranstaltungen zu Grundlagen der Quantenmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>i. d. R. Kolloquium, abweichend mündliche Prüfung (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Quantenchemie II: 3 LP<br>Übungen zu Quantenchemie II: 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Introduction to Membrane Technology                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Sigle                                        | CHE 146                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Qualifikationsziele                          | Kennen der verschiedenen membranbasierten Trennverfahren und ihrer Einsatzgebiete, Anwenden der Kenntnisse aus der Thermodynamik und Kinetik um Stofftransportmechanismen in porösen und nichtporösen Membranen erklären zu können, Anwenden von Kenntnissen aus der makromolekularen und anorganischen Chemie um Eigenschaften von Membranmaterialien diskutieren zu können. |
| Inhalte                                      | Membranmaterialien, Membranherstellung, Stofftransport in Membranen, Membranmodule, Membranverfahren (Mikro- und Ultrafiltration, Nanofiltration, Gastrennung, Umkehrosmose, Dialyse, Elektrodialyse).                                                                                                                                                                        |
| Lehr- und Lernformen                         | Introduction to Membrane Technology (V): 1 SWS<br>Introduction to Membrane Technology (S): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Unterrichtssprache                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Einführende Veranstaltungen der Physikalischen Chemie, Anorganischen Chemie und der Technischen und Makromolekularen Chemie                                                                                                                                                                                                                  |
| Modulabschluss                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat, abweichend Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                    |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Introduction to Membrane Technology (V): 1,5 LP<br>Introduction to Membrane Technology (S): 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                    | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Titel</b>                                       | <b>Biohybrid nanostructures – Vorlesungsmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Sigle</b>                                       | <b>CHE 163 A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Qualifikationsziele</b>                         | Die Studierenden besitzen Kenntnisse zum Einsatz von Biomolekülen für das Design und die Synthese von biohybriden Nanostrukturen, die aus Biomolekülen und anorganischen Komponenten bestehen. Diese Kenntnisse dienen den Studierenden bei der selbstständigen Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen als Grundlage für die Entwicklung eigener Lösungsansätze. Dazu kennen die Studierenden die Grundlagen der Proteinstrukturbestimmung und die Möglichkeiten des Proteindesigns. Die Studierenden verstehen die verschiedenen Methoden zur Charakterisierung von Nanostrukturen inkl. ihrer Stärken und Limitationen und können beurteilen, welche Methoden bei diskutierten Fragestellungen einzusetzen sind. Sie können Methoden zur Anordnung von Nanostrukturen diskutieren und die kollektiven Eigenschaften von Nanomaterialien erklären. Die Studierenden haben gelernt, mögliche Anwendungen von biohybriden Nanostrukturen zu analysieren und können auswählen, welche Bausteine für die jeweilige Anwendung geeignet sind. |
| <b>Inhalte</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomineralization and bio-template-based synthesis of nanostructures</li> <li>• Biomolecules (proteins, DNA) as building blocks for nanomaterials</li> <li>• Protein and enzyme design</li> <li>• Methods for protein structure elucidation, especially protein crystallography</li> <li>• Inorganic nanoparticle synthesis</li> <li>• Characterization of nanostructures using modern methods such as SAXS, DLS, SANS, electron microscopy, synchrotron methods</li> <li>• Collective properties of nanomaterials</li> <li>• Arrangement of nanoscale building blocks into ordered structures</li> <li>• Applications of biohybrid nanostructures</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                        | Biohybrid nanostructures (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Unterrichtssprache</b>                          | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>           | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Einführende Veranstaltungen der Anorganischen und Physikalischen Chemie und Biochemie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modulabschluss</b>                              | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>i. d. R. mündliche Prüfung, Klausur (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen</b> | Biohybrid nanostructures (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>             | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Dauer</b>                                       | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Häufigkeit des Angebots</b> | Jährlich im Sommersemester |
|--------------------------------|----------------------------|

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Biohybrid nanostructures – Praktikumsmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 163 B</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden besitzen Kenntnisse und praktische Kompetenzen im Gebiet der biohybriden Nanostrukturen. Dazu führen sie anspruchsvolle präparative und analytische Experimente durch und kooperieren innerhalb des Teams der gastgebenden Arbeitsgruppe. Die Studierenden organisieren ihre praktische Arbeit im Labor und planen Experimente oder experimentelle Reihen. Dazu recherchieren sie die notwendige Literatur und fassen diese in einem Abschlussbericht zusammen.<br>Im Abschlussbericht dokumentieren sie auch die durchgeführten Experimente und bewerten die erarbeiteten Ergebnisse. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Der Inhalt orientiert sich am konkreten Forschungsprojekt. Eines oder mehrere der folgenden Themen werden dabei abgedeckt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biotemplat-basierte Synthese von Nanopartikeln</li> <li>• Synthese von biohybriden Nanostrukturen</li> <li>• Proteindesign und Proteinredesign</li> <li>• Proteinproduktion und Proteinaufreinigung</li> <li>• Kristallisation von biohybriden Materialien und Proteinkristallographie</li> <li>• Charakterisierungsmethoden für biohybride Nanostrukturen</li> </ul>                                                               |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Praktikum Biohybrid nanostructures (P): 6 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Modul CHE 163 A<br>Empfohlen: Einführende Veranstaltungen der Anorganischen und Physikalischen Chemie und Biochemie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Projektabschluss (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Praktikum Biohybrid nanostructures (P): 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Sonstige Vertiefungsmodule

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Introduction to the Physics of Medical Imaging (Biomedical Physics I)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Sigle                                        | PHY-MV-E301                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen moderner medizinischer Bildgebungsverfahren erläutern, Unterschiede und Einsatzgebiete von PET, SPECT, MRI und CT vergleichen, Bildgebungsparameter wie Auflösung und Sensitivität bewerten sowie physikalische Konzepte zur Optimierung diagnostischer Verfahren anwenden.                                                                                                          |
| Inhalte                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der medizinischen Bildgebung und Therapie</li> <li>• Physikalische Grenzen medizinischer Bildgebungstechniken</li> <li>• Räumliche Auflösung und Empfindlichkeit in der Bildgebung</li> <li>• Bildgebung von Tumorgewebe und diagnostische Anwendungen</li> <li>• Aktuelle Entwicklungen in medizinischer Bildgebung und Therapie (Journal Club)</li> <li>• Analyse und Diskussion wissenschaftlicher Publikationen</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to the Physics of Medical Imaging (V): 2 SWS</li> <li>• Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Unterrichtssprache                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to the Physics of Medical Imaging (V): 3 LP</li> <li>• Exercises in Introduction to the Physics of Medical Imaging (Ü): 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Introduction to Cellular Biophysics (Biomedical Physics II)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Sigle                                        | PHY-MV-E302                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die biophysikalischen Grundlagen von Makromolekülen, Zellen und Geweben erläutern, zentrale Prozesse wie Zellzyklus, Stoffwechsel und Homöostase analysieren, krankheitsrelevante molekulare Veränderungen bewerten sowie experimentelle Bildgebungs- und Detektionsmethoden in einen physiologischen Kontext einordnen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Inhalte                                      | <p>In diesem Kurs werden wir die Grundlagen der makromolekularen, zellulären und Gewebestruktur und -architektur aus biophysikalischer Sicht behandeln. Wir werden die Grundlagen des Metabolismus und der Homöostase, insbesondere der Regulation des Zellzyklus, behandeln, um die Veränderungen auf molekularer Ebene zu verstehen, welche mit dem Ausbruch der Krankheit verbunden sind. Dieser Kurs zielt darauf ab, die in „Biomedical Physics I“ vorgestellten Bildgebungs- und Detektionswerkzeuge in einen physiologischen Kontext zu stellen. Wir werden auch das Potenzial für kombinierte bildgebende und therapeutische Ansätze diskutieren. Im Journal Club werden diese Themen im Hinblick auf die modernsten Entwicklungen in den Bereichen analysiert. Die Studierenden lernen auch, wie sie eine wissenschaftliche Publikation strukturieren und diskutieren können.</p> <p>Insbesondere werden folgende Themen im Kurs vorgestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Makromolekulare Struktur und Funktion;</li> <li>• Die Architektur der Zelle;</li> <li>• biologische Homöostase;</li> <li>• Der Zellzyklus;</li> <li>• Stoffwechselwege und Regulierung;</li> <li>• Intra- und Interzellularkommunikation;</li> <li>• Therapeutische Liefermittel.</li> </ul> |
| Lehr- und Lernformen                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to Cellular Biophysics (V): 2 SWS</li> <li>• Journal Club: 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Unterrichtssprache                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to Cellular Biophysics (V): 3 LP</li> <li>• Journal Club: 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Gesamtarbeitsaufwand des Moduls              | 5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Dauer                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Häufigkeit des Angebots                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Physics of Radiation Therapy I (Biomedical Physics III)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E303</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden die physikalischen Grundlagen des Strahlungstransports erläutern, Wechselwirkungen ionisierender Strahlung mit Materie analysieren, Dosisberechnungen für strahlentherapeutische Anwendungen durchführen sowie die Rolle multimodaler Bildgebung in der Bestrahlungsplanung bewerten.                                                                                              |
| <b>Inhalte</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkungen von Photonen und geladenen Teilchen mit Materie</li> <li>• Strahlungstransport und Monte-Carlo-Methoden</li> <li>• Dosisberechnung in der Strahlentherapie</li> <li>• Grundlagen von CT, PET/SPECT und MRT</li> <li>• Multimodale Bildgebung in der Strahlentherapie</li> <li>• Zielvolumendefinition und Bestrahlungstechniken</li> <li>• Grundlagen der Bestrahlungsplanung</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Physics of Radiation Therapy I (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Art der Modulprüfung:</b><br>Mündliche Prüfung (benotet)<br><br><b>Prüfungssprache:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Physics of Radiation Therapy I (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Physics of Radiation Therapy II (Biomedical Physics IV)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E304</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Grundlagen der Physik der Strahlentherapie. Außerdem haben sie Grundkenntnisse in der physikalischen und biologischen Optimierung eines Bestrahlungsplanes und der Anwendung verschiedener Bestrahlungstechniken und den Behandlungskonzepten für einige Tumorentitäten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Inhalte</b>                                      | <p>In diesem Modul werden Sie einen Einblick in die grundlegenden Aspekte der Physik in der Strahlentherapie und der mathematischen Modellierung in der Strahlenbiologie gewinnen, mit einem Schwerpunkt in den Bestrahlungstechniken und Therapiekonzepten. Aufbauend auf die Inhalte des Moduls „Biomedical Physics III“, werden wir den aktuellen Stand von Bestrahlungsplanung, Bestrahlungstechniken und Anwendung von multimodaler Bildgebung in der Strahlentherapie, insbesondere von beweglichen Tumoren diskutieren und analysieren.</p> <p>Während einer praktischen Abendsitzung in der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie werden die Studierende die Möglichkeit haben, die grundlegenden Messdaten für die dosimetrische Charakterisierung eines medizinischen Linearbeschleunigers aufzunehmen und die Ergebnisse zu analysieren.</p> <p>Folgende Aspekte werden hier behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestrahlungstechniken und neue Bestrahlungsmethoden in moderner Strahlentherapie</li> <li>• Optimierungstechniken für die Bestrahlungsplanung</li> <li>• Dosimetrie und Qualitätssicherung in der Strahlentherapie</li> <li>• Behandlung beweglicher Tumore</li> <li>• Grundlagen der Fraktionierung und der fünf “R” der Strahlentherapie</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Physics of Radiation Therapy II (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Physics of Radiation Therapy II (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Seminar on Biomedical Physics I</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-E305</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden besitzen das Wissen moderner Methoden der Bildgebung in der Medizin (PET, SPECT, MRI, CT, multimodal) und die grundlegenden Techniken der Strahlentherapie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Inhalte</b>                                      | In dieser Seminarreihe werden sechs Experten sechs relevante Themen in der biomedizinischen Physik vorstellen. Die Themen werden aus Sicht eines Arztes (konkrete Anwendung von Techniken in medizinischen Fällen) oder der industriellen Produzenten (Relevanz der Forschung aus Sicht der Industrialisierung) vorgestellt. (Das Seminar ergänzt das Modul „Biomedical Physics I“ (PHY-MV-BP-E01). Es ist in zwei Teile geteilt: Der erste Teil ist eine Einführung in das Gebiet durch Experten des UKE und großen Unternehmen, die medizinische Bildgebungswerkzeuge entwickeln und produzieren. Der zweite Teil ist die Vorstellung von verwandten Themen durch die Kursteilnehmer.) |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Seminar on Biomedical Physics I (S): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat mit schriftlicher Ausarbeitung (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Seminar on Biomedical Physics I (S): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Modultyp                                     | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel                                        | Magnetic Resonance Imaging and Biophysical Modelling                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sigle                                        | PHY-MV-E307                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Qualifikationsziele                          | Nach erfolgreicher Absolvierung des Moduls können die Teilnehmer die physikalischen Grundlagen der Magnetresonanzbildgebung inklusive der NMR, Methoden zur räumlichen Kodierung, Standardbildgebungsverfahren und -kontraste und Sicherheitsaspekte sowie grundlegende Prinzipien der Magnetresonanzbildgebung als Methode zur Untersuchung der Mikrostruktur von biologischem Gewebe in Kombination mit biophysikalischer Modellierung zusammenfassen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Inhalte                                      | <p>Die Magnetresonanzbildgebung (magnetic resonance imaging, MRI) ist eine Bildgebungsmethode mit der nicht-invasive Schnittbilder des menschlichen Körpers aufgenommen werden können. Sie nutzt keine ionisierende Strahlung und ist ein wichtiges Werkzeug in der klinischen Diagnostik und der biomedizinischen Forschung. Ein besonderer Vorteil der MRI ist, dass viele physiologische und Gewebeeigenschaften das gemessene Signal beeinflussen und deshalb mit spezifischen Aufnahmeverfahren untersucht werden können, um wichtige Informationen über die Anatomie, Physiologie und Funktion von Organen zu erhalten, pathologische Veränderungen zu erkennen und unterscheiden und die Zusammensetzung und Struktur des Gewebes zu charakterisieren.</p> <p>Der erste Teil der Vorlesung behandelt den physikalischen Hintergrund und die Grundlagen der MRI: das NMR-Experiment, Methoden für die räumliche Kodierung, die eine räumliche Information auf das NMR-Signal aufprägen, die verschiedenen NMR-Echos, grundlegende Bildaufnahmetechniken und -prinzipien, wichtige Bildkontraste sowie praktische Aspekte, z. B. zur räumlichen Auflösung und Sicherheit. Der zweite Teil behandelt eine Beschreibung der Signale, die mit der MRI gemessen werden, mit physikalischen und biophysikalischen Modellen. Die physikalischen Modelle zielen darauf ab, die Signaleigenschaften quantitativ zu erfassen, z. B. um Vergleiche zwischen verschiedenen Messungen zu ermöglichen. Biophysikalische Modelle basieren auf vereinfachten Annahmen zur Gewebemikrostruktur und wie diese aus dem MR-Signalen bestimmt werden können, beispielsweise die Form und Größe von Zellen, die Nervenfaserdichte im Gehirn oder die Dicke der Myelinhülle um diese Fasern.</p> |
| Lehr- und Lernformen                         | Magnetic Resonance Imaging and Biophysical Modelling (V): 4 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Unterrichtssprache                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Voraussetzungen für die Teilnahme            | Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Modulabschluss                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Prüfungsart:</b><br/>mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>Deutsch oder Englisch</p> <p>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern | Magnetic Resonance Imaging and Biophysical Modelling (V): 6 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                              |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| <b>Gesamtarbeits-<br/>aufwand des Moduls</b> | 6 LP         |
| <b>Dauer</b>                                 | Ein Semester |
| <b>Häufigkeit des<br/>Angebots</b>           | Jährlich     |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Condensed-Matter Theory: Special Topics</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-T404</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden fortgeschrittene theoretische Methoden der Theorie kondensierter Materie anwenden, moderne Konzepte wie z.B. Nichtgleichgewichtsprozesse und topologische Effekte einordnen sowie aktuelle Forschungsthemen der kondensierten Materie kritisch analysieren.                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Inhalte</b>                                      | <p>Moderne Methoden and Themen der Theorie kondensierter Materie, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Green-Funktionen und diagrammatische Störungstheorie</li> <li>• Nichtgleichgewichts-Green-Funktionen</li> <li>• Quanten-Monte-Carlo- und Renormierungsgruppenmethoden</li> <li>• Moderne Materialwissenschaft</li> <li>• Spontane Symmetriebrechung</li> <li>• Topologische Eigenschaften der elektronischen Struktur</li> <li>• Transiente Phänomene und Echtzeitdynamik</li> <li>• Transporttheorie</li> </ul> |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensed-Matter Theory: Special Topics (V): 4 SWS</li> <li>• Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü): 2 SWS</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Art der Modulprüfung:</b><br/>Klausur oder mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Prüfungssprache:</b><br/>Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensed-Matter Theory: Special Topics (V): 6 LP</li> <li>• Exercises in Condensed-Matter Theory: Special Topics (Ü): 2 LP</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 8 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Sommersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Modultyp                                            | Wahlpflichtmodul                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel</b>                                        | <b>Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems</b>                                                                                                                                                        |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>PHY-MV-T411</b>                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden kennen aktuelle Forschungsthemen in diesem Gebiet und sind für das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet.                                                                                              |
| <b>Inhalte</b>                                      | Wissenschaftliche Analyse und Präsentation von aktuellen Fragen der Quantenstatistik von Systemen im Nichtgleichgewicht und des Quantentransports.                                                                       |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems (S): 2 SWS                                                                                                                                                    |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Englisch                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Keine                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Englisch<br><br>Abweichungen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Seminar on Quantum Dynamics of Nonequilibrium Nano Systems (S): 3 LP                                                                                                                                                     |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jedes Semester                                                                                                                                                                                                           |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Titel</b>                                        | <b>RNA in Health and Disease – Lecture</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 455 L</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | Die Studierenden erlangen Wissen rund um Ribonukleinsäuren (RNA), von Struktur und Funktion bis hin zu Pathologie. Die Studierenden kennen RNA-Struktur-Funktions-Beziehungen, RNA-vermittelte Regulationsmechanismen, RNA-vermittelte Proteinexpression und RNA-basierte Krankheiten. Sie besitzen fundierte Kenntnisse der modernen Methoden zur Analyse von RNAs und fundiertes Wissen über die molekularen Aspekte der RNA-basierten Krankheiten. Die Studierenden lernen das Analysieren von Fachliteratur sowie das Präsentieren und Diskutieren wissenschaftlicher Publikationen. |
| <b>Inhalte</b>                                      | Von Struktur und Funktion bis hin zu Pathologie der Ribonukleinsäuren (RNA):<br>RNA-Struktur-Funktions-Beziehungen, RNA-vermittelte Regulationsmechanismen, RNA-vermittelte Proteinexpression, RNA-basierte Krankheiten und deren molekulare Aspekte, moderne Methoden zur Analyse von RNAs.<br>Im Seminar hält jede*r Studierende einen Vortrag (Englisch).                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | RNA in Health and Disease (V): 1 SWS<br>RNA in Health and Disease seminar (S): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Biochemie, Molekulare Biochemie, ggf. Zellbiologie und Strukturbioogie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>Keine<br><br><b>Prüfungsart:</b> Projektabschluss (benotet)<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b> i. d. R. Englisch<br><br>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | RNA in Health and Disease (V): 1,5 LP<br>RNA in Health and Disease seminar (S): 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                     | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Titel</b>                                        | <b>Molecular Biophysics</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Sigle</b>                                        | <b>CHE 462</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Qualifikationsziele</b>                          | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erlernen die Grundlagen, Vor- und Nachteile sowie die Grenzen verschiedener biophysikalischer Methoden,</li> <li>• entwickeln Lösungsansätze für aktuelle Probleme aus den Lebenswissenschaften mit Hilfe einer sinnvollen Kombination von biophysikalischen und Molekularbiologischen Methoden,</li> <li>• können aktuelle Publikationen auf dem Gebiet der Biophysik und Biochemie kritisch analysieren.</li> </ul> |
| <b>Inhalte</b>                                      | Einführung in die Grundlagen moderner biophysikalischer Methoden, Grundlagen der Röntgenstrukturanalyse, cryo-Elektronenmikroskopie und anderer spektroskopischer Methoden                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                         | Molecular Biophysics (V): 2 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Unterrichtssprache</b>                           | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>            | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulabschluss</b>                               | <p><b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br/>Keine</p> <p><b>Prüfungsart:</b><br/>mündliche Prüfung (benotet)</p> <p><b>Sprache der Prüfung:</b><br/>i. d. R. Englisch</p> <p>Abweichungen werden vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.</p>                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilern</b> | Molecular biophysics (V): 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>              | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Dauer</b>                                        | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                      | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modultyp</b>                                    | <b>Wahlpflichtmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Titel</b>                                       | <b>Synthetische Zellbiologie – Vorlesungsmodul</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Sigle</b>                                       | <b>CHE 498 A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Qualifikationsziele</b>                         | Die Veranstaltung synthetische Zellbiologie richtet sich an StudentInnen verschiedener Disziplinen mit Interesse an Team-orientierter und selbständiger Bearbeitung eines Naturwissenschaftlich oder medizinisch orientierten Forschungsprojektes. Dazu werden im Wintersemester (Vorlesungs- und Seminarmodul) die notwendigen Grundlagen der synthetischen Biologie erarbeitet und verschiedene Forschungsprojekte in kleineren Arbeitsgruppen entwickelt. Das Semester schließt mit einer bewerteten Vorstellung der einzelnen Projektideen sowie der Auswahl eines Projektes für die nachfolgenden praktischen Arbeiten im Sommersemester ab.                                                                                                                                                                          |
| <b>Inhalte</b>                                     | Die StudentInnen bekommen grundlegende Konzepte der synthetischen Zellbiologie vermittelt oder erarbeiten diese selbständig. Die wissenschaftlichen Arbeiten erfolgen in kleineren Gruppen, die unter Betreuung ein Forschungsprojekt definieren und einen Lösungsansatz entwickeln. Diese Arbeit beinhaltet umfassende Literaturrecherche, regelmäßige wissenschaftliche Diskussionen, Team-orientiertes Arbeiten und die Vorstellung des Projektstatus in Form von Power-Point-Präsentationen. Die Auswahl der wissenschaftlichen Projekte ist den Gruppen freigestellt. Einzige Vorgabe, ist die Auswahl eines Lösungsansatzes, der wesentliche Elemente aus der synthetischen Biologie nutzt. Es werden in diesem Modul auch Inhalte zur Technologiefolgenabschätzung vermittelt sowie Bioethische Aspekte diskutiert. |
| <b>Lehr- und Lernformen</b>                        | Synthetische Zellbiologie (V): 1 SWS<br>Synthetische Zellbiologie (S): 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unterrichtssprache</b>                          | Deutsch oder Englisch, i. d. R. Englisch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>           | Verbindlich: Keine<br>Empfohlen: Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modulabschluss</b>                              | <b>Voraussetzungen zur Modulprüfung:</b><br>aktive Teilnahme am Seminar<br><br><b>Prüfungsart:</b><br>Referat im Seminar (40%) + mündliche Prüfung oder Klausur (60%) (benotet).<br><br><b>Sprache der Prüfung:</b><br>Deutsch oder Englisch<br><br>Art der Prüfung wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Arbeitsaufwand in den einzelnen Modulteilen</b> | Synthetische Zellbiologie (V): 1,5 LP<br>Synthetische Zellbiologie (S): 1,5 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Gesamtarbeitsaufwand des Moduls</b>             | 3 LP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Dauer</b>                                       | Ein Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Häufigkeit des Angebots</b>                     | Jährlich im Wintersemester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Lehrformen: (V) = Vorlesung, (Ü) = Übungen, (S) = Seminar, (P) = Praktikum, (Pr) = Projekt  
Allgemein: SWS= Semesterwochenstunden, LP = Leistungspunkt(e)

**Zu § 23**  
**Inkrafttreten**

Diese Fachspezifischen Bestimmungen treten am Tag nach der Veröffentlichung als Amtliche Bekanntmachung der Universität Hamburg in Kraft. Sie gelten erstmals für Studierende, die ihr Studium zum Wintersemester 2026/2027 aufnehmen.

Hamburg, den 2. September 2026  
**Universität Hamburg**