

**Modulhandbuch**  
**Masterstudiengang Physik**  
**Studienordnung 2013**

24. März 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Pflichtmodule des Masterstudiengangs</b>	<b>4</b>
1.1	Praktika und Seminare . . . . .	4
1.2	Fachliche Spezialisierung und Masterarbeit . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Zusätzliche Pflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i></b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs I) Jährlich angebotene Module</b>	<b>12</b>
3.1	Fachgebietsübergreifende Module . . . . .	12
3.2	Astrophysik und Kosmologie . . . . .	24
3.3	Kern- und Elementarteilchenphysik . . . . .	39
3.4	Festkörperphysik . . . . .	60
3.5	Laser-, Plasma- und Atomphysik sowie Quantenoptik . . . . .	82
3.6	Angewandte Physik . . . . .	97
3.7	Biophysik . . . . .	133
<b>4</b>	<b>Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs: II) Unregelmäßig oder zweijährlich angebotene Module</b>	<b>146</b>
4.1	Fachgebietsübergreifende Module . . . . .	146
4.2	Astrophysik und Kosmologie . . . . .	184
4.3	Kern- und Elementarteilchenphysik . . . . .	204
4.4	Festkörperphysik . . . . .	228
4.5	Laser-, Plasma- und Atomphysik sowie Quantenoptik . . . . .	248
4.6	Angewandte Physik . . . . .	254
<b>5</b>	<b>Zusätzliche Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt <i>Physik der Informationstechnologie</i></b>	<b>261</b>
<b>6</b>	<b>Zusätzliche Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i></b>	<b>262</b>
6.1	Jährlich angebotene Module . . . . .	262
6.2	Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module . . . . .	266
<b>7</b>	<b>Module zu Schlüsselqualifikationen</b>	<b>270</b>
	<b>Index 1: Modulkürzel</b>	<b>274</b>
	<b>Index 2: Modultitel</b>	<b>275</b>

## Erläuterungen zu den Einträgen:

- Zur Unterscheidung Pflicht/Wahlpflichtmodul und Pflicht/Wahlpflichtveranstaltung:  
Es gibt Pflicht- und Wahlpflichtmodule, wobei erstere als Module absolviert werden müssen, auch wenn sie sich ihrerseits aus Wahlpflichtveranstaltungen aufbauen. Pflicht- und Wahlpflichtmodule sind im Modulhandbuch in unterschiedlichen Abschnitten aufgeführt. Innerhalb eines Moduls kann es — unabhängig vom Charakter des Moduls selbst — Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen geben, wobei im Fall von Modulen aus einer einzigen Veranstaltung diese notwendigerweise Pflicht sein muss. Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen eines Moduls sind im Modulhandbuch durch den Eintrag “Pf/WP” charakterisiert.
- SWS-Angaben beziehen sich stets auf das gesamte Semester, weswegen bei untersemestrigen Lehrveranstaltungen die wöchentliche Angabe mit dem Verhältnis aus der Zahl der Wochen, in der die Veranstaltung tatsächlich abgehalten wird, und der Normwochenzahl eines Semesters (15 sowohl für Winter- als auch für Sommersemester) multipliziert wird. Die resultierende Zahl wird dann auf die nächstliegende ganze Zahl gerundet.
- Die Verwendbarkeit eines Moduls für einen Studiengang bezieht sich auf die vorliegende Zulassung des Moduls für einen Studiengang, nicht auf seine thematische Verwendbarkeit in einem Studiengang.
- Die Zuordnung einer Lehrveranstaltung zu einem Fachsemester bezieht sich auf Studierende, die das Studium im Wintersemester aufnehmen und gemäß Studienverlaufsplan in der Regelstudienzeit durchlaufen. Die Fachsemester 1,3,5 implizieren daher stets das Angebot der entsprechenden Lehrveranstaltung im WS, die Fachsemester 2,4,6 das Angebot im SoSe.
- Falls eine Lehrveranstaltung in unterschiedlichen Fachsemestern besucht werden kann, ist dies in der Semesterzuordnungstabelle mit Kreuzen bei mehreren Semestern charakterisiert. Falls der Besuch in einem dieser Fachsemester nicht dem offiziellen Studienverlaufsplan entspricht, ist das entsprechende Kreuz eingeklammert.
- Unterrichtssprache Deutsch oder Englisch = Modul wird grundsätzlich auf Deutsch abgehalten, auf Wunsch der Studierenden wird zur Unterrichtssprache Englisch übergegangen
- Unterrichtssprache Englisch oder Deutsch = Modul wird grundsätzlich auf Englisch abgehalten, auf Wunsch der Studierenden wird zur Unterrichtssprache Deutsch übergegangen

# 1 Pflichtmodule des Masterstudiengangs

## 1.1 Praktika und Seminare

<b>PEXFL</b>	<b>Forschungs- und Laborpraktikum</b> (Research Lab Class)			<b>CP</b> <b>12</b>					
Kontaktstudium: 120 h	Selbststudium: 240 h		SWS: 8						
<b>Inhalte</b>									
<p>Praktikumsversuche aus allen experimentellen Instituten des Fachbereiches, sowie Versuche an Forschungsgeräten der einzelnen Arbeitsgruppen</p> <p>Im Fall von Studierenden des Schwerpunkts <i>Computational Physics</i> können auch Computerexperimente in der theoretischen Physik durchgeführt werden.</p>									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
<p>Das Modul soll an Beispielen eine Einführung in die Arbeitsweisen der modernen Experimentalphysik geben, bzw. im Fall von Studierenden des Schwerpunkts <i>Computational Physics</i> auch der theoretischen Physik. In Zweiergruppen üben die Studierenden Experimente im Labor (bzw. am Computer) nach Anleitung durchzuführen und zu protokollieren. Es wird das Erstellen von kurzen schriftlichen Berichten ("Protokollen") geübt.</p>									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
keine									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		MSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jedes Semester							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Blume							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme am Praktikum							
<b>Leistungsnachweise</b>		Abgabe von Praktikumsprotokollen und/oder Seminarvortrag, unbenotet							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Praktikum							
<b>Modulprüfung</b>									
keine									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
						<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Forschungs- und Laborpraktikum (Research Lab Class)		P	8	12	Pf	X	X		
Summe			8	12					

<b>SPRO</b>	<b>Proseminar</b>			<b>CP 3</b>					
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>									
In jedem Semester können verschiedene Veranstaltungen als Proseminar angeboten werden, die beliebigen Themen der Physik gewidmet sind. Der Prüfungsausschuss prüft die Eignung der angebotenen Themen und die Gestaltung der Seminare und entscheidet über ihre Zulassung als Proseminar. Die Studierenden können eines dieser Angebote auswählen.									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Die Studierenden sind in der Lage, sich physikalische Sachverhalte, die nicht in Ihrem engeren Spezialisierungsgebiet liegen, aus der Literatur zu erschließen und anderen zu erklären. Das Proseminar kann zum Beispiel als "Journal Club" gestaltet werden, in dem Studierende ausgewählte Artikel aus aktuellen physikalischen Zeitschriften vorstellen und die Hintergründe erläutern. Eine andere Möglichkeit ist ein Seminar, in dem ein physikalisches Gebiet gemeinsam erarbeitet wird, indem verschiedene Themen zu Teilaspekten von den Studierenden vorgetragen werden. Arbeitsgruppenseminare sind nicht als Proseminare zulässig.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
keine									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		MSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jedes Semester							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Studiendekan Physik							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme am Seminar							
<b>Leistungsnachweise</b>		erfolgreiche Teilnahme am Seminar sowie Seminarvortrag über ein Thema aus der aktuellen Literatur, unbenotet							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Proseminar							
<b>Modulprüfung</b>									
keine									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Proseminar		S	2	3	Pf	X	X	X	
Summe			2	3					

<b>SAG</b>	<b>Arbeitsgruppenseminar</b> (Research Group Seminar)							<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h			SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
Themen aus einem aktuellen Gebiet der Forschung								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Die Studierenden haben einen vertieften Einblick in dasjenige Forschungsgebiet, auf dem sie ihre Masterarbeit angefertigt. Die Studierenden sind in der Lage, ihre wissenschaftlichen Ergebnisse und Projekte in einem Vortrag vorzustellen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
keine								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jedes Semester							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Studiendekan Physik							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme am Seminar						
<b>Leistungsnachweise</b>		erfolgreiche Teilnahme am Seminar sowie Seminarvortrag über die eigenen Forschungsergebnisse im Rahmen der Masterarbeit, unbenotet						
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Seminar							
<b>Modulprüfung</b>								
keine								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Arbeitsgruppenseminar (Research Group Seminar)	S	2	3	Pf		X	X	X
Summe		2	3					

## 1.2 Fachliche Spezialisierung und Masterarbeit

<b>FS</b>	<b>Fachliche Spezialisierung</b> (Preparation for Master's Project I)			<b>CP</b> <b>15</b>				
Kontaktstudium: 0h	Selbststudium: 450h	SWS:						
<b>Inhalte</b>								
Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten und die fachlichen und methodischen Grundlagen an einem Beispiel aus einem Forschungsgebiet. Eigenständige Literaturrecherche zum Stand der Forschung.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Das Modul vermittelt die fachlichen und methodischen Grundlagen für die eigenständige Bearbeitung eines Forschungsprojektes und führt damit auf die Masterarbeit hin. Diese Hinführung erfolgt durch die selbstständige Erarbeitung von Hintergrundwissen sowie die selbstständige Einarbeitung in das Spezialgebiet, auf dem die Masterarbeit geplant ist, angeleitet durch den vorgesehenen Betreuer der Masterarbeit. Durch die Einbindung in eine Arbeitsgruppe wird gleichzeitig die Arbeit in einem Forschungsteam und das optimale Nutzen informellen Wissens im Nahfeld gelernt. Die Betreuung erfolgt dabei in Form von Betreuungsgesprächen im wöchentlichen Rhythmus.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der im jeweiligen Spezialgebiet angebotenen, fortgeschrittenen Lehrveranstaltungen								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	permanent							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Studiendekan Physik							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch je nach gewählter Arbeitsgruppe							
<b>Studiennachweise</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Vortrag über das für die Masterarbeit ausgewählte Spezialgebiet, unbenotet							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Praktikum							
<b>Modulprüfung</b>								
keine								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Fachliche Spezialisierung (Preparation for Master's Project I)	P		15	Pf			X	
Summe			15					

<b>EP</b>	<b>Erarbeiten eines Projekts</b> (Preparation for Master's Project II)				<b>CP</b> <b>15</b>			
Kontaktstudium: 0 h	Selbststudium: 450 h		SWS:					
<b>Inhalte</b>								
Schriftliche Ausarbeitung einer Projektskizze auf einem aktuellen Gebiet der Forschung.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Nach der allgemeinen Beschäftigung mit dem Forschungsgebiet, in dem die Masterarbeit angefertigt werden soll, im Rahmen des Moduls FS, führt dieses Modul unmittelbar auf die Masterarbeit hin. Studierende erarbeiten selbstständig ein wissenschaftlichen Projekt, das als Ausgangspunkt für die geplante Masterarbeit dienen kann (angeleitet durch den Betreuer der Masterarbeit). Das Modul mündet in der schriftlichen Darlegung der wissenschaftlichen Grundlagen des Themas der Masterarbeit und der Formulierung der gewählten Fragestellung und der Methoden, mittels derer die Bearbeitung angegangen werden soll. Die Betreuung erfolgt dabei in Form von Betreuungsgesprächen im wöchentlichen Rhythmus.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der im jeweiligen Spezialgebiet angebotenen, fortgeschrittenen Lehrveranstaltungen								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	permanent							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Studiendekan Physik							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch oder Deutsch je nach gewählter Arbeitsgruppe							
<b>Studiennachweise</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	schriftliche Ausarbeitung einer Projektskizze, unbenotet							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Praktikum							
<b>Modulprüfung</b>								
keine								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Erarbeiten eines Projektes (Preparation for Master's Project II)	P		15	Pf			X	
Summe			15					



<b>MA</b>	<b>Masterarbeit</b> (Master's Project)	<b>CP</b> <b>30</b>
Kontaktstudium: 0 h	Selbststudium: 900 h	SWS:
<b>Inhalte</b>		
Eigenständige wissenschaftliche Arbeit zu einem mit dem Betreuer bzw. der Betreuerin vereinbarten aktuellen Problem der Forschung, unter Anleitung durch den Betreuer bzw die Betreuerin		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Die Masterarbeit dient der wissenschaftlichen Ausbildung. In ihr soll die oder der Studierende zeigen, dass sie oder er in der Lage ist, eine definierte wissenschaftliche Aufgabenstellung aus einem Fachgebiet selbstständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. In der für das Masterprojekt gewählten Fachrichtung muss jede bzw. jeder Studierende unter Anleitung einer wissenschaftlichen Betreuerin oder eines wissenschaftlichen Betreuers eine aktuelle wissenschaftliche Fragestellung bearbeiten. Im Fall von Studierenden mit dem Schwerpunkt <i>Physik der Informationstechnologie</i> ist das Thema der Arbeit entsprechend §50 Abs. 2 der Studienordnung zu wählen. Im Fall von Studierenden mit dem Schwerpunkt <i>Computational Physics</i> ist das Thema der Arbeit entsprechend §51 Abs. 3 der Studienordnung zu wählen.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
Zulassungsvoraussetzungen gemäß §53 Abs.2.		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
keine		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	permanent	
<b>Dauer</b>	6 Monate	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Studiendekan Physik	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch je nach gewählter Arbeitsgruppe	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	keine	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	keine	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	angeleitete wissenschaftliche Projektarbeit	
<b>Modulprüfung</b>		
Modulabschlussprüfung, benotet		

<b>bestehend aus:</b>		ausführliche, schriftliche Darstellung des Masterprojekts und seiner Ergebnisse in Form einer Masterarbeit						
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Masterarbeit (Master's Project)			30	Pf				X
Summe			30					

## 2 Zusätzliche Pflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Computational Physics*

Das Absolvieren der Importmodule

- *Numerische Mathematik*  
(Modul BAM-NM des BSc Mathematik),
- *Hochleistungsrechnerarchitektur*  
(Modul M-HL des MSc Informatik)
- *Praktikum Hochleistungsrechnerarchitektur*  
(Modul M-HL-PR des MSc Informatik, alte Studienordnung)

ist Pflicht. Für die Teilnahme an diesen Importmodulen gelten die Regelungen des jeweiligen Herkunftsstudiengangs. Darüber hinaus muss mindestens eines der Module

- *Computational Physics and Simulations in Matlab*  
(Modul VCPSM aus dem Wahlpflichtangebot des BSc/MSc Physik)
- *Numerische Methoden der Physik*  
(Modul VNUMP aus dem Wahlpflichtangebot des BSc/MSc Physik)
- *Numerische Methoden (für Differentialgleichungen der Geophysikalischen Strömungsmechanik)*  
(Lehrveranstaltung des Moduls SpV2 des MSc Meteorologie — für die Teilnahme an diesem Teilimportmodul gelten die Regelungen des Herkunftsstudiengangs)
- *Quantum Molecular Dynamics*  
(Modul VQMD aus dem Wahlpflichtangebot des BSc/MSc Physik)
- *Advanced General Relativity*  
(Modul VAGR aus dem Wahlpflichtangebot des BSc/MSc Physik)
- *Quantum Theory on the Lattice*  
(Modul VQTLAT aus dem Wahlpflichtangebot des BSc/MSc Physik)

absolviert werden. Modulbeschreibungen der vom FB Physik angebotenen Module sind in den Abschnitten “Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs I/II” zu finden. Für das Modul SpV2 siehe das Modulhandbuch des MSc Meteorologie.

### 3 Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs

#### I) Jährlich angebotene Module

##### 3.1 Fachgebietsübergreifende Module

<b>VHQM</b>	<b>Höhere Quantenmechanik</b> (Advanced Quantum Mechanics)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Grundlagen der relativistischen Quantenmechanik, Klein-Gordon-Gleichung, Dirac-Gleichung, Symmetrien in der Quantenmechanik, Vielteilchentheorien im Fock-Raum, Näherungsmethoden für wechselwirkende Quantenvielteilchensysteme, elementare Streutheorie.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Dieses Modul behandelt ausgewählte höhere Methoden der Quantenmechanik, wie sie für die moderne Physik grundlegend sind, insbesondere relativistische Quantenmechanik, Vielteilchentheorie, Symmetrien in der Quantenmechanik und Streutheorie. Damit werden die Studierenden befähigt, in ihren Abschlussarbeiten theoretische Probleme auf modernem Niveau anzugehen. Auf diese Weise werden insbesondere auch die Grundlagen für die Erweiterung der Quantenmechanik zur Quantenfeldtheorie gelegt.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-5</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rischke		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Höhere Quantenmechanik (Advanced Quantum Mechanics)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VNONDIS</b>	<b>Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics</b>							<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h			SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
Konventionelle Methoden zur Beschreibung offener dissipativer Systeme, z.B. Langevin- und Fokker-Planck Gleichungen, verallgemeinerte Mastergleichung; alternative Wellenpaketansätze; nichtlineare Schrödingergleichungen, modifizierte Lagrange-/Hamilton-Formalismen, nichtunitäre Transformationen zwischen formalen und physikalischen Beschreibungsebenen.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Konventionelle Methoden zur Beschreibung offener dissipativer Systeme wie effektive phänomenologische Gleichungen und System-plus-Reservoir-Ansätze werden ebenso wie nichtlineare Modifikationen der Schrödingergleichung diskutiert. Vermittlung tieferer Zusammenhänge.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–4</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schuch							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VQTNON</b>	<b>Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?</b>				<b>CP 3</b>			
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
Nichtlinearitäten in konventioneller Quantenmechanik; Welle-Teilchen Aspekte bei Wellenpaketlösungen der zeitabhängigen Schrödingergleichung; dynamische Invariante; Zusammenhänge mit zeitabhängiger Green Funktion, Wigner Funktion, Supersymmetrie, ver- allgemeinerten Erzeugungs-/Vernichtungsoperatoren und Kohärenten Zuständen; entsprechende Beziehungen bei zeitunabhängiger Quantenmechanik, Bose-Einstein-Kondensaten, Nichtlinearer Dynamik, statistischer Thermodynamik, Kosmologie u.s.w..								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Nichtlineare Zusammenhänge in zeitabhängiger und zeitunabhängiger Quantenmechanik sollen aufgezeigt werden sowie deren Zusammenhang mit verschiedenen Formulierungen der Quantenmechanik, z.B. zeitabhängige Green-Funktion, Wigner Funktion, verallgemeinerte Erzeugungs-/Vernichtungsoperatoren. Formale Analogien in Supersymmetrie, Nichtlinearer Dynamik, statistischer Thermodynamik, Kosmologie usw. werden erläutert. Vermittlung tieferer Zusammenhänge.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1-4</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik				
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik				
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				jährlich				
<b>Dauer</b>				einsemestrig				
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schuch				
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Englisch				
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine				
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet				
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht				
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung				
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20-40 Min.)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>			
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4
Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VTRANS</b>	<b>Transporttheorie</b> (Transport Theory)	<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3
<b>Inhalte</b>		
Verteilungsfunktionen, Boltzmannsche kinetische Gleichung, Relaxationszeitnäherung, Transportkoeffizienten, kinetische Prozesse in externen Felder, Virial-Entwicklung, kinetische Theorie der Plasmen, Landau Dämpfung, Lorentz-Plasma, kinetische Koeffizienten in starken Magnetfeldern, elektromagnetische Wellen, Fermi-Flüssigkeiten, thermische Leitfähigkeit und Viskosität der Fermi-Flüssigkeiten, Schalldämpfung in Fermi-Flüssigkeiten, kinetische Gleichung für Bose Teilchen, Nichtgleichgewichts-Greensfunktionen, Fluktuations-Dissipations Theorem, statistischer Operator im Nichtgleichgewicht, Variationsrechnungen für Transportkoeffizienten, Anwendungen der Kubo Formel.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Das Modul vermittelt die Grundkonzepte der Transporttheorie von klassischen und Quantengasen, Fermi-Flüssigkeiten und Plasmen. Die Studierenden lernen die Grundgleichungen kennen und erwerben die Kompetenz, die Transporteigenschaften von Gasen und Plasmen unter verschiedenen Bedingungen zu analysieren. Es werden moderne theoretische Methoden wie Greensche Funktionen im Nichtgleichgewicht sowie Nichtgleichgewicht-Projektionsoperatoren vorgestellt und deren Anwendung anhand konkreter Beispiele illustriert.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Statistische Mechanik		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rezzolla	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Transporttheorie (Transport Theory)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VHEX</b>	<b>Höhere Experimentalphysik</b> (Advanced Experimental Physics)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
<p><i>Höhere Experimentalphysik 1:</i> Freie Elektronen und Ionen: Erzeugung freier Ladungsträger, Bewegung freier Ladungsträger in zeitabhängigen Feldern, Gasentladung, Plasmen, Plasmawellen Festkörperphysik: Metalle, klassisches Elektronengas, Fermi-Gas, Energiebänder, Wärmeleitung, Supraleitung, HF-Supraleitung, nichtlineare Dynamik und Stabilität</p> <p><i>Höhere Experimentalphysik 2:</i> Theorie und Experimente zur Elektrodynamik: Energiedichte und Energieströmung, zeitabhängige und statische magnetische und elektrische Felder, Elektromagnetische Wellen, Wellenleiter und Resonatoren, Hochfrequenzdiagnose Thermodynamik: Thermodynamische Systeme und Zustandsgrößen, Hauptsätze, kinetische Gastheorie, ideales Gas, Entropie und Gleichgewichtszustände, Aggregatzustände und Phasen</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>In diesem Modul sollen die Grundlagen der Elektrodynamik, Thermodynamik, Plasmaphysik und Festkörperphysik hauptsächlich durch Experimente veranschaulicht werden. Ziel dieses Moduls ist es, den Studierenden einen Zugang zu den unterschiedlichen physikalischen Systemen schwerpunktmäßig durch experimentelle Veranschaulichung zu geben. Durch das Vorführen und die Beteiligung an den Experimenten, die deutlich über dem Niveau der Grundvorlesungen liegen, sollen abstrakte Inhalte verständlicher und wichtige, elementare Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Bereichen der Physik hergestellt werden. Dadurch versteht sich die Vorlesung als Bindeglied zwischen den Basisvorlesungen im Grundstudium und den Spezialvorlesungen im Masterstudiengang.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen des Bachelorstudiums			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	zweisemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesungen, Übungen		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Höhere Experimentalphysik 1 (Advanced Experimental Physics 1)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Höhere Experimentalphysik 2 (Advanced Experimental Physics 2)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VPSOC</b>	<b>Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer</b> (Physics of Socio-Economic Systems on the Computer)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>Dieses Modul gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der Physik sozio-ökonomischer Systeme. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica), deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den endlichen Zweipersonen-Spielen und N-Personen-Spielen wird auch auf die evolutionäre Entwicklung ganzer Spieler-Populationen eingegangen (evolutionäre Spieltheorie). Die zeitliche Entwicklung der Entscheidungen der Spieler wird zusätzlich durch die zugrunde liegende Struktur des sozio-ökonomischen Netzwerks der Spielergruppen bestimmt. Der zweite Teil des Kurses befasst sich deshalb mit der Theorie sozio-ökonomischer Netzwerke und deren mathematischen Beschreibung mittels graphentheoretischer Konzepte. Hierbei wird zusätzlich auf die computerbasierte Simulation unterschiedlicher Netzwerkstrukturen eingegangen und ein Programm, welches das Barabasi-Albert Modell eines skalenfreien Netzwerks numerisch simuliert, gemeinsam mit dem Betreuer erstellt. Der dritte Teil gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung und behandelt neuere Entwicklungen dieses Forschungsfeldes. Es wird hierbei einerseits speziell auf die evolutionäre Spieltheorie auf komplexen Netzwerken und die Quanten-Spieltheorie eingegangen, andererseits wird ein breiter Überblick der diversen Anwendungsfelder sozio-ökonomischer Systeme vermittelt. Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Grundlagen der Spieltheorie, Definition eines Spiels, Strategiemenge der Spieler, reine und gemischte Strategie, dominante Strategie und Nash-Gleichgewicht, Zweipersonen Spiele, N-Personen-M-Strategien Spiel, Koordinationsspiele, Anti-Koordinationsspiele und dominante Spiele, evolutionäre Spieltheorie und Replikatorgleichung, Theorie der komplexen Netzwerke, skalenfreie, exponentielle, zufällige und kleine Welt Netzwerke, Anwendungsfelder und Beispiele real existierender sozio-ökonomischer und biologischer Netzwerke, Einführung in die Quanten-Spieltheorie, Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica. Bei Bedarf: Python/Matplotlib, C/C++ bzw. Java.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Grundlagen der Spieltheorie und die Theorie der komplexen Netzwerke und haben diese in mehreren Anwendungsbeispielen mittels numerischer Rechnungen angewendet. Die Studierenden sind nach Abschluss des Moduls in der Lage, die evolutionäre Entwicklung von Populationen in einem sich zeitlich wiederholenden Spiel zu beschreiben und dilemma-artige Konstellationen zu analysieren. Des weiteren beherrschen die Studierenden nach Abschluss des Moduls die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple und Python/Matplotlib.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

Mathematische Grundlagen (Analysis, lineare Algebra, Differentialgleichungen), Grundlagen der Quantentheorie. Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich aber von Vorteil (Grundlagen werden in der Vorlesung gemeinsam erarbeitet).									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Triesch							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, insbesondere erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer (Physics of Socio-Economic Systems on the Computer)		V+Ü	2.5+1.5	5	Pf	X		(X)	
Summe			4	5					

<b>VMDLEARN</b>	<b>Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond</b>		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>The theoretical part of the lecture includes an introduction to the basics of statistics, Bayes-Theorem and discrete as well as continuous probability distributions. From this, the mathematical foundations of (supervised) Machine-Learning algorithms like: Linear Models, Support Vector Machines, Decision trees, Ensemble Methods, The Perceptron and Artificial Neural Networks will be derived. The concept of statistical learning will be introduced. A particular emphasis will be here on the gradient descent and its relation to Newton's method. The theoretical basics of Deep learning and different neural net architectures (Deep fully connected Neural Networks, Convoluted Neural Networks, Recurrent Neural Networks) will be introduced and it will be shown how the relevant equations for the forward and (error) back-propagation within these networks can be derived. An applied lecture part is dedicated to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The numerical Implementation and programming of the discussed machine-learning methods with PYTHON and especially Tensor Flow.</li> <li>• The application of codes to example problems.</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>The students should be able to understand the theoretical concepts behind, and apply the various different machine and deep-learning tools available. They should know the theoretical framework behind commonly used algorithms like: linear models, decision trees, support vector machines, dimensional reduction, logistic regression and different types of artificial neural networks. They will learn to choose the proper algorithms for different problems. During the exercises, by themselves, they will start working on "real life" example problems and will deal with theoretical and practical problems.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Differential Calculus. Basic knowledge on statistics is recommended.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Stöcker		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

### 3.2 Astrophysik und Kosmologie

<b>VART</b>	<b>Allgemeine Relativitätstheorie</b> (General Relativity)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 75 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 5	
<b>Inhalte</b>			
Riemannsche Geometrie, Bewegungsgleichung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, experimentelle Tests, Schwarzschild-Lösung, schwarze Löcher, Gravitationswellen, Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung und Sternstruktur.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul soll die Grundlagen für das moderne Verständnis der Rolle der Gravitation in der Natur vermitteln. Dazu werden die notwendigen mathematischen Hilfsmittel bereitgestellt (Tensorrechnung im gekrümmten Riemannschen Raum) und auf verschiedene Beispielprobleme angewandt. Die im Modul vermittelten Kenntnisse sollen den Teilnehmern den Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Astrophysik ermöglichen und dienen auch als Grundlage für die Beschäftigung mit der Kosmologie.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2</i> , <i>Theoretische Physik 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Greiner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Allgemeine Relativitätstheorie (General Relativity)	V+Ü	3+2	6	Pf	X		(X)	
Summe		5	6					

<b>VKOSMO</b>	<b>Kosmologie</b> (Cosmology)			<b>CP</b> <b>6</b>					
Kontaktstudium: 60 h		Selbststudium: 120 h		SWS: 4					
<b>Inhalte</b>									
Beobachtungstatsachen, kosmologisches Prinzip, Rotverschiebung, Hubble-Expansion und Hintergrundstrahlung, Robertson-Walker-Metrik, Friedman-LeMaitre-Gleichungen, kosmologische Konstante, Friedman-Lösungen, Big Bang, Nukleosynthese, inflationäres Universum, dunkle Energie und dunkle Materie									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Ziel des Moduls ist die Vermittlung des aktuellen naturwissenschaftlichen Weltbilds zur Beschreibung von Aufbau und Dynamik des Universums. Auf der Basis der Allgemeinen Relativitätstheorie einerseits und der astronomischen Beobachtungen andererseits werden die Erkenntnisse des kosmologischen Standardmodells vermittelt. Die Teilnehmer des Moduls werden in die Lage versetzt, den aktuellen Forschungsstand der Kosmologie zu verfolgen (z.B. Urknall, dunkle Materie, dunkle Energie).									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-5</i>									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Greiner							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>		erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Kosmologie (Cosmology)		V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe			4	6					

<b>VNNASTRO</b>	<b>Nuclear and Neutrino Astrophysics</b>				<b>CP 3</b>			
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
Friedmann Universe, Primordial Nucleosynthesis, Stellar Reactions, Fusion Cycles in the Sun and Heavier Stars, Solar Neutrinos, Neutron Stars								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Das Modul soll das Verständnis des Ursprungs der chemischen Elemente im Universum entwickeln. Dazu wird die Elementsynthese im frühen Universum und in Sternen betrachtet. Ein wesentlicher Punkt der Vorlesung ist, das Wechselspiel von kosmologischen und Gravitationseffekten mit kernphysikalischen Vorgängen qualitativ und quantitativ zu verstehen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Quantum Mechanics, Basics of Nuclear Physics								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik				
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik				
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				jährlich				
<b>Dauer</b>				einsemestrig				
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schramm				
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Deutsch				
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine				
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet				
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht				
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung				
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>			
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4
Nuclear and Neutrino Astrophysics	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VAGR</b>	<b>Advanced General Relativity</b>		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>The 3+1 decomposition of spacetime. Formulations of the Einstein equations. Lagrangian formulations. The ADM formulation. Conformal traceless formulations. Gauge conditions in 3+1 formulations. Constraint equations. initial data and constrained evolution. Hyperbolic systems of partial differential equations. Quasi-linear formulation. Conservative formulation. Characteristic equations for linear systems. Riemann invariants. Characteristics and caustics. Domain of determinacy. region of influence. Linear hydrodynamic waves. Sound waves. Nonlinear hydrodynamic waves. Rarefaction waves. Shock waves. Contact discontinuities. The Riemann problem. Solution of the one-dimensional Riemann problem. Formulations of the hydrodynamic equations. The Wilson formulation. The importance of conservative formulations. The "Valencia" formulation. Finite-Difference Methods. The discretisation process. Numerical errors. Consistency. convergence and stability. The upwind scheme. The FTCS scheme. The Lax-Friedrichs scheme. The leapfrog scheme. The Lax-Wendroff scheme Kreiss-Oliger dissipation. Artificial-viscosity approaches. HRSC Methods and Conservative schemes. Rankine-Hugoniot conditions. Finite-volume conservative numerical schemes. Finite-difference conservative numerical schemes. Upwind methods. Monotone methods. Total variation diminishing methods. Godunov methods. Reconstruction techniques. Slope-limiter methods Approximate Riemann solvers. HLL. Roe Riemann solvers. The method of lines. Explicit Runge-Kutta methods. Implicit-explicit Runge-Kutta methods.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>At the end of the course the students will have been exposed to many of the most active areas of research in general relativity and relativistic astrophysics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in numerical relativity, the students will be able to carry out quantitative studies of relativistic compact objects. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in relativistic astrophysics.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltung <i>Allgemeine Relativitätstheorie</i> , mindestens eine Programmiersprache			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rezzolla		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Advanced General Relativity	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

<b>VARTC</b>	<b>Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer</b> (General Theory of Relativity on the Computer)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>In diesem Modul werden die mathematisch anspruchsvollen Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) in diversen Programmierumgebungen analysiert. Im ersten Teil des Kurses erlernen die Studierenden die Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica). Die oft komplizierten und zeitaufwendigen Berechnungen der tensoriellen Gleichungen der ART können mit Hilfe dieser Programme erleichtert werden. Diverse Anwendungen der Einstein- und Geodätengleichung werden in Maple implementiert, quasi analytische Berechnungen durchgeführt und entsprechende Lösungen berechnet und visualisiert. Der zweite Teil des Kurses befasst sich mit der numerischen Berechnung von Neutronensternen und Weißen Zwergen mittels eines C/C++ Programms. Nach einer kurzen Auffrischung der grundlegenden Programmierkenntnisse, erstellen die Studierenden, gemeinsam mit dem Betreuer, ein Programm, das die Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung numerisch löst und visualisieren die Ergebnisse. Zusätzlich wird hierbei in die Grundkonzepte der parallelen Programmierung eingeführt und eine MPI- und OpenMP-Version des C/C++ Programms erstellt. Im dritten Teil des Kurses werden zeitabhängige numerische Simulationen der ART mittels des Einstein Toolkit durchgeführt und deren Ergebnisse mittels Python/Matplotlib visualisiert. Inhaltlich wird hierbei ebenfalls auf den, dem Programm zugrunde liegenden (3+1)-Split der ART eingegangen und, abhängig von den Vorkenntnissen der Studierenden, mehrere fortgeschrittene, astrophysikalisch relevante Probleme simuliert. Mögliche Themen dieses abschließenden Teils könnten die folgenden Systeme darstellen: Oszillationen eines Neutronensterns, Kollaps eines Neutronenstern zu einem Schwarzen Loch oder die Kollision zweier Neutronensterne unter Berücksichtigung der Aussendung von Gravitationswellen. Der Schwerpunkt der gesamten Veranstaltung liegt sowohl auf der Allgemeine Relativitätstheorie als auch auf der Vermittlung spezieller Programmierkenntnisse.</p> <p>Im speziellen werden die folgenden Themen behandelt: Kovariante Ableitung, Ricci- und Einstein-Tensor, Einsteinsche Feldgleichung, Geodätengleichung, Schwarzschild- und Kerr-Lösung, Raumzeitdiagramme in Schwarzschild und Eddington-Finkelstein Koordinaten, Penrose-Diagramme, Bewegung eines Teilchens um ein rotierendes schwarzes Loch, Herleitung der Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung, Weiße Zwerge, Neutronen- und Quarksterne, (3+1)-Split der ART, (Optional: Oppenheimer-Snyder-Collapse einer Staubwolke zu einem schwarzen Loch), Programmieren und Visualisieren in Maple, Mathematica und Python/Matplotlib, Programmieren in C/C++, paralleles Programmieren mit MPI und OpenMP, Grundlagen des Einstein Toolkit, numerische Simulationen auf dem Linux-basierte Rechen-Cluster FUCHS.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Allgemeine Relativitätstheorie besser, da sie in mehreren Anwendungsbeispielen die Eigenschaften der Raumzeitkrümmung und die Bewegung von Probekörpern und Licht in gekrümmter Raumzeit selbst mittels numerischer Rechnungen simuliert haben. Unter anderem können sie die Einsteinsche Feldgleichung und die Geodätengleichung auf nicht-rotierende und rotierende schwarze Löcher anwenden, Raumzeitverformungen in kompakten Objekten analysieren und sie verstehen die aktuell in der Literatur diskutierten Gravitationswellendetektionen von Neutronenstern und schwarze Loch Kollisionen. Des weiteren beherrschen die Studierenden die Grundlagen der Programmierumgebungen bzw. Programmiersprachen Maple, Python/Matplotlib, C/C++, MPI, OpenMP und Einstein Toolkit.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie, Programmierkenntnisse in einer numerischen Sprache, etwa Fortran, Java, C, C++									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Rezzolla							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>		erfolgreiche Durchführung einer Projektarbeit							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer (General Theory of Relativity on the Computer)		V+Ü	2.5+1.5	5	Pf		X		(X)
Summe			4	5					

<b>VASTRO-TEIL</b>	<b>Astroteilchenphysik</b> (Astro Particle Physics)	<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
<p>Elemente des Standardmodells der Teilchenphysik, Grundlagen der Thermodynamik der Quantengase, die Zustandsgleichung der Materie bei extremen Dichten (Wigner-Seitz und Thomas-Fermi Modelle) Hydrostatisches Gleichgewicht in Newtonscher Theorie, Chandrasekhar-Masse für Weiße Zwerge, Kühlung der Weißen Zwerge, die Dichtefunktionaltheorie der Kernmaterie, Hypernukleare Materie, Struktur der Sterne in der ART, Oppenheimer-Volkoff-Gleichungen, Kühlung der Neutronensterne, Suprafluidität und Supraleitung in Neutronensternen, Kosmologische Modelle, Teilchenphysik des frühen Universums.</p>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>Auf einer abstrakteren inhaltlichen Ebene beschäftigt sich dieses Modul mit Quantenfeldern und deren Wechselwirkungen. Wichtige Konzepte wie Lagrange-Formalismus, Feynman-Diagramme und Symmetrien werden behandelt. Das Modul ist gut geeignet als eine Fortsetzung zur den Grundkursen in der Astrophysik und der allgemeinen Relativitätstheorie. Das Modul verschafft einen allgemeinen Überblick über die Teilchenastrophysik. Ein Ziel ist der Erwerb von Sicherheit im Umgang mit Methoden der Quantenphysik. Die Studenten werden motiviert zum Streben nach tiefem Verständnis der Quantenphänomene unter extremen Bedingungen.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Erforderliche Vorkenntnisse sind abgeschlossene Studien der Quantenmechanik und Statistische Physik		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung	
<b>Modulprüfung</b>		



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Astroteilchenphysik (Astro Particle Physics)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VSTAFOR</b>	<b>Stern- und Planetenentstehung</b> (Star and Planet Formation)			<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>								
Physikalische Prozesse in sternbildenden Wolken, gravitative Instabilität, Strahlungstransport, Sternentstehung auf verschiedenen Skalen, Entstehung von interstellaren Wolken deren Entwicklung, Fragmentation und Kollaps, Vor-Hauptreihenentwicklung, Scheibenbildung, Planetenentstehung								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Dieses Modul behandelt den aktuellen Wissenstand der Stern- und Planetenentstehung. Die Vorlesung gibt ebenso einen Überblick über gegenwärtige Beobachtungen und theoretische Modelle.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Module Astronomie I und II								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Reifarth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Stern- und Planetenentstehung (Star and Planet Formation)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VAGN</b>	<b>AGN Physik</b> (AGN Physics)		<b>CP</b> <b>2</b>
Kontaktstudium: 15 h	Selbststudium: 45 h	SWS: 1	
<b>Inhalte</b>			
<p>Signatures of AGN activity, AGN classification, relativistic effects around supermassive black holes, models for the extreme X-ray variability, Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies as the extreme of Seyfert activity, origin of the soft X-ray excess and the power law component, relativistic Fe K<math>\alpha</math> studies, Accretion and Planck luminosity derivation, AGN unification through physical processes, gravitational wave physics, light bending and flux boosting effects, the standard accretion disc and deviations, advection dominated accretion flows and accretion above the Eddington limit, the efficiency limit, black hole growth, the light bending model in the Kerr black hole space time, X-ray periodicity and the Bardeen-Petterson effect, Comptonization effects, standard theory of General Relativity and its pseudo-complex extension.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Observations of active galactic nuclei (AGN) are of wide astrophysical interest. The amount and efficiency of the energy release within the immediate neighbourhood of black holes belong to the most extreme physical processes observed to date. The most probable explanation for the huge amount of energy output (and for other observational parameters, such as the width of the optical emission lines and the strength of the radio emission) is given by the transformation of potential energy into radiation by accretion of matter onto a supermassive central black hole (Rees 1984). The velocities of the accreting matter reach values of about one third of the velocity of light, deduced by relativistically broadened line profiles (centred at about 6.4 keV), Tanaka 1995). The emission from the matter around the black hole may vary on very short time scales of only a few hundred seconds. The corresponding changes in luminosity reach values of about 10<sup>10</sup> solar luminosities. All this is further suggestive for the presence of supermassive black holes. Energy production processes and radiation mechanisms for the innermost regions of AGN are an important research field in X-ray astronomy. Other astrophysical important aspects include the detection and study of binary black holes, expected to lead to strong gravitational wave emission and tidal disruption events of stars in the dense core around the central black holes. At larger distances from the black hole, the emission from optically thin plasma can be studied. Imprinted absorption and emission lines give information on the chemical composition of the gas and of infall and outflow velocities. The log <math>N</math> - log <math>S</math> distribution of AGN and resulting luminosity functions allow to study the density and luminosity evolution of AGN in dependence of redshift. The first compact obscured objects in the universe can be best studied with X-rays. The lessons summarize the most recent observational and theoretical results in the study of Active Galactic Nuclei.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundkenntnisse der Physik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			

<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
AGN physics (AGN Physics) (Blockveranstaltung, 5 Tage V3)	V	1	2	Pf	X		(X)	
Summe		1	2					

<b>VISM</b>	<b>Physik und Chemie des Interstellaren Mediums</b> (Physics and chemistry of the interstellar medium)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Dynamik des interstellaren Gases, hydrodynamische Instabilitäten, Turbulenz. Entstehung und Strahlung des interstellaren Gases, Staubs, PAHs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe). Energiegleichgewicht des ISM, Phasen des ISM, chemische Phasenübergänge. Chemische Prozesse, Bildung und Zerstörung von Atomen und Molekülen im ISM, Wechselwirkung Physik und Chemie. Spezielle interstellare Regionen: HII Regionen, diffuse Galaktische Wolken, Molekülwolken, Photonendominierte Regionen, X-Ray Dominierte Regionen, interstellare Schocks und Supernova-Überreste, Planetare Nebel.</p> <p>The dynamics of the interstellar gas, hydrodynamic instabilities, turbulence. Formation of and radiation from interstellar gas, dust and polycyclic aromatic hydrocarbons. The energy balance of the ISM, phases of the ISM and chemical phase transitions. Chemical processes, formation and destructions of atoms and molecules in the ISM, Interaction physics-chemistry. Special interstellar regions: HII regions, diffuse Galactic clouds, molecular clouds, photon-dominated regions and X-ray dominated regions, interstellar shocks and supernova remnants, planetary nebulae.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Verständnis der fundamentalen physikalischen Prozesse im interstellaren Medium (ISM) und Möglichkeiten diese zu beobachten.</p> <p>Understanding the fundamental processes structuring the interstellar medium (ISM) and ways to observe them.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module Astronomie I und II			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Reifarth		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.), Hausarbeit oder Vortrag (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Physik und Chemie des Interstellaren Mediums (Physics and chemistry of the interstellar medium)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

### 3.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

<b>VTHKP1</b>	<b>Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I</b> (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics I)	<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 75 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 5
<b>Inhalte</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuclear models: liquid drop model, Fermi-Gas Model, Shell Model, Deform Shell Model</li> <li>• Collective Nuclear Models</li> <li>• Nucleon-Nucleon Interaction</li> <li>• Hartree-Fock Theory</li> <li>• The Klein-Gordon equation</li> <li>• Covariant electrodynamics</li> <li>• The Dirac equation</li> <li>• Quantum chromodynamics</li> <li>• Symmetries of QCD</li> </ul>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>In diesem Modul werden die mathematischen Grundlagen für das Verständnis der Theorien der Kern- und Elementarteilchenphysik vermittelt, um die Studierenden für wissenschaftliche Forschungen auf diesen Gebieten vorzubereiten.</p> <p>Diese Lehrveranstaltung wird je nach Wunsch der Studierenden auf Englisch oder Deutsch angeboten.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-4</i>		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Bleicher	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics I)	V+Ü	3+2	6	Pf	X		(X)	
Summe		5	6					



<b>VTHKP2</b>	<b>Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II</b> (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics II)		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 75 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 5	
<b>Inhalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to Quantum Chromodynamics (QCD): The constituent quark model, basic hadrons in the quark model; Non-abelian gauge field theory – QCD; SU(N) symmetry; Approximate symmetries of QCD – chiral symmetry; Feynman diagrams</li> <li>• Effective Models: Thermodynamic models; String modell; Non-equilibrium models and transport approaches to strongly interacting systems</li> <li>• Heavy Ion Interactions: relativistic heavy-ion collisions at GSI, FAIR, CERN, LHC; Quark-Gluon-Plasma (QGP), Observables for the QGP</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Dieses Modul vermittelt erweiterte Kenntnisse der aktuellen Modelle der Hochenergie-, Teilchen- und Kernphysik in Bezug sowohl auf die Feldtheorie wie auch Nichtgleichgewichtsdynamik. Diese Lehrveranstaltung wird je nach Wunsch der Studierenden auf Englisch oder Deutsch angeboten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-5</i> , <i>Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Bleicher		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II (Introduction to Theoretical Nuclear and Elementary Particle Physics II)	V+Ü	3+2	6	Pf		X		(X)
Summe		5	6					

<b>VQFT1</b>	<b>Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik</b> (Introduction to Quantum Field Theory and Standard Model of Particle Physics)		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Relativistische Wellengleichungen, klassische Feldtheorie im Lagrangeformalismus, Symmetrien und Noethersches Theorem; Einführung Quantenfeldtheorie: kanonische Quantisierung für Skalar-, Spinor- und Vektorfelder, Störungstheorie, Feynman-Diagramme; Abelsche und nichtabelsche Eichfelder, Quantenelektrodynamik und Quantenchromodynamik, Berechnung einfacher Prozesse, die schwache Wechselwirkung, vereinigte Beschreibung der Wechselwirkungen im Standardmodell.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Dieses Modul behandelt die grundlegenden mathematischen Methoden für Systeme mit unendlich vielen Freiheitsgraden. Ihre Formulierung auf klassischem Niveau und dann die Quantisierung legen die Grundlage für eine Berechnung der elementaren Prozesse und damit den Kontakt zu experimentellen Befunden. Das Modul legt die Basis für Forschungsarbeit in der theoretischen Teilchenphysik und damit Master- und Doktorarbeiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Analytische Mechanik mit Lagrange- und Hamiltonformalismus, Feldtheorie und Wellengleichungen der klassischen Elektrodynamik, kanonische Quantisierung, Schrödingergleichung, quantenmechanische Störungstheorie (i.e. Theoretische Physik 1-4)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philippen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik (Introduction to Quantum Field Theory and Standard Model of Particle Physics)	V+Ü	4+2	8	Pf	X		(X)	
Summe		6	8					

<b>VQFT2</b>	<b>Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik</b> (Advanced Quantum Field Theory and Quantum Chromodynamics)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Feldquantisierung im Pfadintegralformalismus, Feynmanregeln der QCD und perturbative Auswertung, Renormierung und Renormierungsgruppe, asymptotische Freiheit und nichtperturbative Physik, Einführung in die Gittereichtheorie			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Einführung sehr allgemeiner theoretischer Konzepte (Pfadintegrale, Renormierungstheorie) und ihre Anwendung auf konkrete, beobachtbare Systeme. Erkennen der Analogien zwischen statistischen und quantenfeldtheoretischen Systemen. Erlernen nichtperturbativer Techniken zur Evaluation von Feldtheorien.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Siehe VQFT1 sowie Grundlagen der statistischen Physik (Zustandssummen, Boltzmann-Gewichte, Spinmodelle), skalare Feldtheorien, abelsche Feldtheorien			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philippen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik (Advanced Quantum Field Theory and Quantum Chromodynamics)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VQTLAT</b>	<b>Quantum Theory on the Lattice</b>							<b>CP 4</b>			
Kontaktstudium: 45 h		Selbststudium: 75 h			SWS: 3						
<b>Inhalte</b>											
method of path integrals; Markov processes; numerical methods - Monte Carlo, microcanonical, Langevin algorithms; phase transitions; Ising and Potts spin models; field theories on the lattice; fermions on the lattice and the sign problem; lattice gauge theories; expansion methods on the lattice - strong/weak coupling, molecular field approximation											
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>											
General understanding of the procedure of discretizing continuum theories with its related conceptual problems. Acquiring knowledge of basic methods to evaluate numerically many-dimensional integral equations. Understanding rescaling methods and critical behavior of theories on the lattice. Diese Lehrveranstaltung wird je nach Wunsch der Studierenden auf Englisch oder Deutsch angeboten.											
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>											
keine											
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>											
basic knowledge of quantum mechanics and quantization; introductory knowledge of statistical mechanics											
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				jährlich							
<b>Dauer</b>				einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schramm							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>											
<b>Teilnahmenachweise</b>				regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>				erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>											
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)											
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>				LV- Form	SWS	CP	Pf/ WP	Semester			
								1	2	3	4
Quantum Theory on the Lattice				V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe					3	4					

<b>VKT1</b>	<b>Quarkstruktur der Materie</b> (Quark Structure of Matter)			<b>CP</b> <b>6</b>				
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h		SWS: 4					
<b>Inhalte</b>								
Elastische und inelastische Elektron- und Neutrinostreuung, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, Phänomenologie der Quantenchromodynamik, Farben, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Das Modul vermittelt Kenntnisse über die elementare Struktur der Materie auf der Ebene von Quarks und Gluonen und gibt einen Einblick in die Phänomenologie der elementaren starken Wechselwirkung. Ziel der Vorlesung ist insbesondere die Vermittlung des Konzeptes des Streuexperimentes. Es soll herausgearbeitet werden, wie aus den ermittelten Streudaten die jeweilige Information zur Struktur der Materie gezogen werden kann.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3, Theoretische Physik 1–3, Anfängerpraktikum 1–2</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Appelshäuser							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Die Quarkstruktur der Materie (Quark Structure of Matter)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					



<b>VKT2</b>	<b>Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien</b> (Weak Interaction and Fundamental Symmetries)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Schwache Wechselwirkung: Leptonen, Quarkmischungen, Neutrinooszillationen, Paritätsverletzung, Vektor-Axialvektor Kopplung, Neutrale Kaonen, CP-Verletzung, elektroschwache Vereinheitlichung.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Vorlesung behandelt die Eigenschaften der schwachen Wechselwirkung, anhand derer die wichtigsten Merkmale des Standardmodells und seine freien Parameter diskutiert werden. Wichtige Konzepte der modernen Teilchenphysik wie Mischung und Oszillation werden behandelt. Die Vorlesung endet mit einem Ausblick auf die aktuellen offenen Fragen des Feldes wie der elektroschwachen Symmetriebrechung und Physik jenseits des Standardmodells. Die ausführliche Diskussion von Schlüsselexperimenten soll die Fähigkeit schärfen, eine Verknüpfung zwischen experimenteller Beobachtung und physikalischem Sachverhalt herzustellen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3, Theoretische Physik 1–3, Anfängerpraktikum 1–2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Appelshäuser		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien (Weak Interaction and Fundamental Symmetries)	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

<b>VKT3</b>	<b>Starke Kernkraft und Kernmodelle</b> (Strong Interaction and Nuclear Models)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Starke Kernkraft, Deuteron, Streuexperimente, Streulänge, Fermigasmodell und Schalenmodell, Transferreaktionen, Elektromagnetische Kernübergänge, Kollektive Kernanregungen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Physik der Atomkerne lässt sich heute noch nicht mit den fundamentalen Wechselwirkungen des Standardmodells vollständig quantitativ beschreiben. In dieser weiterführenden Vorlesung sollen daher effektive Konzepte wie die Nukleon-Nukleon Wechselwirkung und die Bewegung der Nukleonen in einem mittleren Potential diskutiert werden, die zum Kernschalenmodell und damit zu einer bemerkenswert guten Beschreibung der Grundzustands-Kerneigenschaften sowie Einteilchen-Anregungen führen. Die Vorlesung liefert das konzeptionelle und inhaltliche Rüstzeug für verwandte Disziplinen wie etwa der nuklearen Astrophysik.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-4</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Appelshäuser		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Starke Kernkraft und Kernmodelle (Strong Interaction and Nuclear Models)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VKT4</b>	<b>Kern- und Teilchenphysik 4</b> (Nuclear and Particle Physics 4)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen:			
<p><i>Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie:</i> Photonselbstenergie, Elektronenstreuung, Paarvernichtung, zeitartige/raumartige Photonen, Parton-Verteilungsfunktionen, elektro-magnetische Formfaktoren, Dalitz-Zerfälle, Übergangsformfaktoren von Hadronen, In-Medium Spektralfunktionen von Hadronen, thermische Photonen, Di-Leptonen.</p> <p><i>Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas:</i> Das Phasendiagramm der Quanten-Chromo Dynamik, Experimente der ultra-relativistischen Schwerionenphysik, Reaktionsdynamik und globale Observablen, Sonden des Quark-Gluon Plasmas: Seltsame Teilchen, Jets, Photonen und <math>J/\psi</math></p> <p><i>Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen:</i> QCD-Bindungszustände (klassische, angeregte und exotische Systeme); Reaktionsmechanismen (Produktion und Zerfall von Hadronen); Statisches Quarkmodell und SU(3) und die Konsequenzen; Realistische Quarkmodelle; Analysemethoden und Systematik (sehr ausführlich); Experimente zur Hadronenspektroskopie (gestern, heute und morgen)</p> <p><i>Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia:</i> Produktionsprozesse schwerer Quarks (pQCD), Hadronen mit schweren Quarks (D/B Mesonen, Baryonen und Quarkonia), Verteilungsfunktion, Flavoroszillationen, nicht-relativistische Schrödingergleichung, Zerfälle, experimentelle Messungen, theoretische Modelle (FONLL, CSM, CEM, NRQCD) und Simulationen (PYTHIA, POWHEG) in Nukleon-Nukleon Kollisionen, Energieverlust und Thermalisierung schwerer Quarks im QGP, Unterdrückung und Regeneration von Quarkonia im QGP.</p> <p><i>Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen:</i> Strangeness als Signatur für das Quark-Gluon-Plasma, schwache Zerfälle, Identifikation von Teilchen, Hadronenproduktion im statistischen-thermischen Modell, Strangeness-Enhancement bzw. Alternativen (Energie- und Multiplizitätsabhängigkeit), Kaon-Nukleon-Potential, Kaonen in Kernen und kaonische Atome, Hyperkerne, Transportmodelle, Kaonische Cluster, Strangeness-Produktion unterhalb der Schwelle.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse in einem Spezialgebiet der Hochenergie-Kernphysik. Dazu stehen fünf Lehrveranstaltungen zur Auswahl, von denen eine absolviert werden muss. In diesen wird eine Übersicht über den aktuellen Stand und die Methoden des jeweiligen Spezialgebietes gegeben. Das erworbene Fachwissen ist bei der Anfertigung von Bachelor- und Master-Arbeiten in diesem Fachgebiet von Wichtigkeit.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

Grundkenntnisse der Kern- und Teilchenphysik: Kernmodelle, Kernkräfte, Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung, relativistische Kinematik, Quark-Modell, Formfaktoren des Protons, Strukturfunktionen, Partonstruktur, QCD-Phänomenologie, Farbfreiheitsgrade, Gluonen, laufende Kopplung, Quarkonia, Baryonen und leichte Mesonen.												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik										
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik										
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich										
<b>Dauer</b>		einsemestrig										
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Blume										
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch										
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine										
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet										
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht										
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung										
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Kern- und Teilchenphysik 4a: Elektromagnetische Sonden der subatomaren Materie (Nuclear and Particle Physics 4a: Electromagnetic Probes of Sub-atomic Matter)					V	3	5	WP		X		(X)
Kern- und Teilchenphysik 4b: Physik des Quark-Gluon Plasmas (Nuclear and Particle Physics 4b: Physics of the Quark-Gluon-Plasma)					V	3	5	WP		X		(X)
Kern- und Teilchenphysik 4c: Resonanzphysik der Hadronen (Nuclear and Particle Physics 4c: Hadronic Resonances)					V	3	5	WP		X		(X)
Kern- und Teilchenphysik 4d: Physik schwerer Quarks und Quarkonia (Nuclear and Particle Physics 4d: Physics of Heavy Quarks and Quarkonia)					V	3	5	WP		X		(X)
Kern- und Teilchenphysik 4e: Strangeness in Schwerionenkollisionen (Nuclear and Particle Physics 4e: Strangeness in Heavy-Ion Collisions)					V	3	5	WP		X		(X)
Summe						3	5					

<b>VDP</b>	<b>Physik der Teilchendetektoren</b> (Physics of Particle Detectors)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 180 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Das Modul dient der fachlichen Spezialisierung auf dem Gebiet der experimentellen Kern- und Teilchenphysik. Die Vorlesung dient als Ergänzung zu den Modulen VEX4a und VKT1–4 und ist eine Vorbereitung auf das Fortgeschrittenenpraktikum und eine BA/MA-Arbeit in diesem Spezialgebiet. Es werden die physikalischen Grundlagen zum Nachweis von Teilchenstrahlung vermittelt. Neben der Diskussion der Wechselwirkungen von Strahlung mit Materie werden die wichtigsten Detektortypen und ihre Anwendungen in aktuellen und geplanten Experimenten der Kern- und Teilchenphysik vorgestellt. Erworbenes Wissen kann auf andere Bereiche der experimentellen Physik angewendet werden.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Aufgrund seiner inhaltlichen Verbindung der Gründe und Techniken für den Teilchennachweis, den Grundlagen der elementaren Wechselwirkung von Teilchen mit Materie und Engineering-Aspekten sind die Studierenden auf die Konzeption und den Umgang mit modernen Teilchendetektoren vorbereitet. Die Studierenden kennen die wesentlichen Techniken des Teilchennachweises. Den Studierenden sind die grundlegenden Konzepte und technologischen Randbedingungen geläufig. Die Studierenden kennen komplexe moderne Detektorarrangements.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Stroth		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Physik der Teilchendetektoren (Physics of Particle Detectors)	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					



<b>VANAHEP</b>	<b>Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik</b> (Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)			<b>CP</b> <b>5</b>				
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h		SWS: 3					
<b>Inhalte</b>								
Concepts of Data Analysis in High-Energy Physics, Modular Programming, Control Structures, Basic Variables, Functions, Objects, Encapsulation, Histograms, Trees and NTuples, Monte-Carlo Techniques and Random Number Generators, Analysis of Experimental Data (Exemplary Data Analysis, Acceptance & Efficiency Corrections)								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Einführung in die Datenanalyse von Hochenergieexperimenten mit C++ und ROOT. Neben einer Einführung in die Grundlagen der Programmierung werden grundlegende Techniken in der Datenanalyse exemplarisch erarbeitet.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3, Theoretische Physik 1–3</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Stroth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik (Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)	V	3	5	Pf		X		(X)
Summe		3	5					

<b>VANAHEP2</b>	<b>Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik</b> (Advanced Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal- und Systemtheorie: Analyse von Systemen, Fourier- und Laplace-Transformation, Signalformung, Abtasttheorem, Digitalisierung, Rauschen, DFT, FFT</li> <li>• Moderne Multi-Level Triggersysteme, Bestimmung von Triggereffizienzen durch Monte-Carlo Simulationen, Moderne Datennahmesysteme</li> <li>• Methoden und Algorithmen zur Rekonstruktion von Kollisionspunkt und Teilchenspuren (Vertexing und Tracking)</li> <li>• Clusterfindungsalgorithmen und Jetrekonstruktion (Jet-Finding algorithms)</li> <li>• Spezielle Statistische Methoden: Bestimmung von Signifikanz-Intervallen und oberen Schranken, p-Value, Likelihood, Bayesian Analysis, Unfolding</li> <li>• Multivariate Analysemethoden (MVAM) und Machine Learning</li> <li>• Debugging-Werkzeuge und Skriptsprachen</li> <li>• ROOT und Interfaces zu speziellen Softwarepaketen</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden beherrschen im Detail verschiedene Analysemethoden, die in der aktuellen Forschung im Bereich der experimentellen Hochenergiephysik angewandt werden und in der Basislehrveranstaltung <i>Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik</i> nur kurz andiskutiert werden können.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3</i> , <i>Theoretische Physik 1–3</i> , <i>Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Büsching		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik (Advanced Analysis Methods in Experimental High-Energy Physics)	V	3	5	Pf	X		(X)	
Summe		3	5					

### 3.4 Festkörperphysik

<b>VEXFP1</b>	<b>Experimentelle Festkörperphysik 1</b> (Experimental Solid State Physics 1)	<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4
<b>Inhalte</b>		
Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Ein Schwerpunkt der Vorlesung ist die Dynamik der Atome eines Festkörpers, die gitterperiodisch angeordnet sind. Ausnutzung der Periodizität führt zunächst zu einer einfachen klassischen Beschreibung der Wellenausbreitung und schließlich zu dem quantenmechanischen Konzept der Gitterschwingungen als kollektive Anregung (Phononen). Ein zweiter Schwerpunkt sind die Auswirkungen des periodischen Gitterpotentials auf die elektronische Struktur des Festkörpers. Dabei werden die verschiedenen Phänomene anhand von modernen experimentellen Methoden zur Bestimmung der jeweiligen physikalischen Eigenschaften veranschaulicht. Die Vorlesung gibt einen Überblick über grundlegende Konzepte in der Festkörperphysik und das Verständnis technologisch relevanter Materialien und richtet sich an eine breite Zuhörerschaft. Das Modul bereitet die Grundlagen für die Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus oder Halbleiterphysik.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Die Vorlesung baut auf die in der „Einführung in die Festkörperphysik“(VEX4B) vermittelten Grundlagen zum atomaren Aufbau und zur elektronischen Struktur von Festkörpern auf. Es werden außerdem einfache Methoden der Quantenmechanik verwendet.		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Müller	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Experimentelle Festkörperphysik 1 (Experimental Solid State Physics 1)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VEXFP2</b>	<b>Experimentelle Festkörperphysik 2</b> (Experimental Solid State Physics 2)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Auswahl aus folgenden Themen: Struktur und Strukturbestimmung, Grundlagen der Beugungstheorie, reziprokes Gitter, Gitterdynamik (Phononen), thermische Eigenschaften (spezifische Wärme, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit), elektronische Bandstruktur, Fermi-Flächen und deren experimentelle Bestimmung, Transportphänomene, dielektrische und optische Eigenschaften, Magnetismus. Es werden Beispiele aus der aktuellen Forschung diskutiert.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Ziel des Moduls ist es, komplexere festkörperphysikalische Eigenschaften, die sich aus der Fermi-Statistik und der elektronischen Bandstruktur ergeben, systematisch zu verstehen. Dazu gehören die Bewegung von Ladungsträgern in Festkörpern, die Wechselwirkung der Ladungsträger mit elektromagnetischer Strahlung oder kollektive elektrische und magnetische Ordnungsphänomene. Das Modul gibt einen weiterführenden Überblick über allgemeine Festkörpereigenschaften und greift exemplarisch aktuelle und forschungsnaher Fragestellungen auf. Das Modul bereitet die Grundlagen für die Beschäftigung mit speziellen Themen wie Supraleitung, Magnetismus oder Halbleiterphysik und kann eine Ba/Ma-Arbeit in experimenteller Festkörperphysik begleiten/vorbereiten. In der Übung sollen die Inhalte selbständig und in Team-Arbeit vertieft und eine fachliche Präsentation eingeübt werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Die Vorlesung baut auf die in VEX4B und VEXFP1 vermittelten Grundlagen zum atomaren Aufbau und zur elektronischen Struktur von Festkörpern auf. Es werden außerdem einfache Methoden der Quantenmechanik verwendet.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Müller		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Experimentelle Festkörperphysik 2 (Experimental Solid State Physics 2)	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

<b>VEXSUP</b>	<b>Einführung in die Supraleitung</b> (Introduction to Superconductivity)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Auswahl aus folgenden Themen: Grundlegende supraleitende Eigenschaften, Phänomenologie und Thermodynamik, phänomenologische Modelle: London- und Ginzburg-Landau-Theorie, Typ-I- und Typ-II-Supraleiter, Quanteninterferenzphänomene (Josephson-Effekte), Grundzüge der BCS-Theorie, Konsequenzen der BCS-Theorie, Bose-Einstein-Kondensation, Anwendungen der Supraleitung (z.B. Quanten-Computing), neue supraleitende Materialien, konventionelle und unkonventionelle Supraleiter.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul vermittelt die wichtigsten Grundlagen des makroskopischen Quantenphänomens Supraleitung (experimentelle Grundlagen, theoretische Modelle, Anwendungen). Den Studierenden werden in systematischer Weise grundlegende Konzepte der physikalischen Modellbildung von der phänomenologisch orientierten Beschreibung (London-Theorie), hin zu übergreifenden Konzepten (Ginzburg-Landau-Theorie), bis zur mikroskopischen Erklärung (BCS-Theorie) nahegebracht. Neben diesen theoretischen Grundlagen zur Supraleitung erhalten die Studierenden einen Überblick der wichtigsten supraleitenden Materialklassen und deren technologisches Anwendungspotential. Zur Vertiefung kann zusätzlich zur Vorlesung ein optionales Proseminar zu ausgewählten Fragen der Supraleitung besucht werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Maxwell-Gleichungen; Kenntnisse der Quantenmechanik: Schrödinger-Gleichung, quantenmechanisches Tunneln, Stromoperator, Aharonov-Bohm-Effekt, Fock-Raum-Darstellung; Grundlegende Konzepte der Festkörperphysik: Kristallstrukturen, elektronische Bandstruktur, Ladungstransport in Metallen (Drude-Modell), Phononen, Zustandsdichte; Grundlegende Konzepte der Thermodynamik und Statistik: thermodynamische Potentiale, Boltzmann-Faktor			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Huth		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Supraleitung (Introduction to Superconductivity)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VEXTIP</b>	<b>Experimentelle Tieftemperaturphysik</b> (Experimental Low Temperature Physics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Temperaturskalen, Thermometrie, Quantenflüssigkeiten $^4\text{He}/^3\text{He}$ : Phasendiagramme, Superfluidität, Kühltechniken im Kelvin- sowie Subkelvin- und Submillikelvin-Bereich.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul werden wesentliche Konzepte und Techniken der Tieftemperaturphysik aus elementaren quantenmechanischen Grundsätzen (wie Bose-Einstein- und Fermi-Dirac-Statistik für Quantengase mit ganz- und halbzahligem Spin) entwickelt. Die Vorlesung gibt einen Überblick über aktuelle Kühltechniken und experimentelle Methoden der Tieftemperaturphysik und zeigt deren Anwendung in der aktuellen Grundlagenforschung auf. Das Modul ist für ein breites Publikum konzipiert und vermittelt wesentliche Grundlagen für eine weitere fachliche Spezialisierung in der experimentellen Tieftemperaturphysik.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-4, Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Lang		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Experimentelle Tieftemperaturphysik (Experimental Low Temperature Physics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VNANOEL</b>	<b>Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen</b> (Electronic Properties of Nanostructures)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Ausgewählte Kapitel der Quantentheorie (Sub-Bänder und niedrig-dimensionale Systeme, Quantenbox, Quantenpunkt, Quantenreflexion/Transmission/Tunneln, etc.), Materialien (Halbleiter-Heterostrukturen, Organische Halbleiter, Kohlenstoff-Nanoröhren und Fullerene, Graphen, Granulare Systeme, etc.), Fabrikations- und Charakterisierungstechniken (Dünnschichttechniken, Nanostrukturierung, Selbstorganisation, Rasterkraftmikroskopie, etc.), Elektronischer Transport in Nanostrukturen (Streulängen, Diffusion, Dephasierung, Landauer-Formel, etc.), Einzelelektronentunneln und Bauelemente (Coulomb-Blockade, Einzelelektronentransistor, Coulomb-Oszillationen, etc.).			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul lernen die Studierenden Aspekte des interdisziplinären Gebietes der Nanoelektronik kennen. Dazu werden die hauptsächlich verwendeten Materialien und Methoden zur Realisierung nanoskopischer, funktionaler Bauelementstrukturen vorgestellt und deren elektronische Eigenschaften diskutiert. Ausgewählte Methoden zur Modellierung der physikalischen Eigenschaften von Nanostrukturen werden vorgestellt. Aktuelle Entwicklungen und neue Forschungsergebnisse werden in die Vorlesung inhaltlich integriert.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Maxwell-Gleichungen; Kenntnisse der Quantenmechanik: Schrödinger-Gleichung, quantenmechanisches Tunneln, Stromoperator, Aharonov-Bohm-Effekt; Grundlegende Konzepte der Festkörperphysik: Kristallstrukturen, elektronische Bandstruktur, Ladungstransport in Metallen und Halbleitern, Zustandsdichte; Grundlegende Konzepte der Thermodynamik und Statistik: Diffusion			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Huth		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen (Electronic Properties of Nanostructures)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VLASOPT</b>	<b>Laser- und Optoelektronik</b> (Laser and Optoelectronics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Mathematische Beschreibung elektromagnetischer Felder, Fourier-Transformationen, zeitliche und räumliche Wellenausbreitung, Gauß-Strahlen, geometrische Optik, optische Resonatoren, Wellendispersion. Lasergrundlagen: Strahlende Übergänge, spektrale Verbreiterung, Verstärkungssättigung, Dauerstrich- und gepulster Laserbetrieb, Modenkopplung, verschiedene Lasertypen (Gas, Festkörper, Farbstoff), Halbleiterlaser. Nichtlineare Optik: Oberwellenerzeugung, Phasenanpassung, elektrooptische Modulation, Selbstphasenmodulation, Messung optischer Pulse, Detektion optischer Strahlung.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Das Modul hat zum Ziel, die Studierenden zu befähigen, sich an aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Bereichen der Laserspektroskopie sowie der photonischen und optoelektronischen Technologie zu beteiligen. Die Studierenden werden mit experimentellen Konzepten der Erzeugung, Ausbreitung, Modulation und Detektion kohärenter optischer Strahlung vertraut gemacht. Sie lernen außerdem die zugrunde liegenden theoretischen Beschreibungen auf dem Niveau der klassischen Theorie der Elektrodynamik kennen. Quantenaspekte werden, wo notwendig, qualitativ eingeführt.</p> <p>Eine zentrale Rolle im Lernprogramm nehmen die physikalischen Prinzipien verschiedener Arten von Lasern ein. Halbleiterlaser finden aufgrund ihrer großen Relevanz für technologische Anwendungen, die an Beispielen beschrieben werden, besonderes Augenmerk. Ein Bezug zur Spektroskopie wird hergestellt, indem die Bedeutung strahlender Übergänge sowohl für die Lasertätigkeit selbst als auch für die Untersuchung atomarer, molekularer und fester Materialien aufgezeigt wird. Die Studierenden lernen weiterhin, wie ultrakurze Lichtpulse erzeugt und detektiert sowie für die zeitaufgelöste Spektroskopie genutzt werden.</p> <p>Es wird ein theoretischer Apparat entwickelt und durchgängig angewendet, der die Studierenden befähigt, verschiedene Formen der linearen und nichtlinearen Licht-Materie-Wechselwirkungen quantitativ zu beschreiben.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-4</i> , <i>Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Roskos		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Laser- und Optoelektronik (Laser and Optoelectronics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VHABAU</b>	<b>Halbleiter- und Bauelementephysik</b> (Physics of Semiconductors and Electronic Devices)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Einführung der festkörperphysikalischen Besonderheiten von Halbleitern (Materialeigenschaften, Bandstruktur, Exzitonen, Dotierung, DC-Leitfähigkeit); Übergänge und Kontakte (p-n-Übergang, Schottky-Kontakt, Ohmscher Kontakt, Heterostruktur-Übergang); Feldeffekt, Tunneleffekt; Halbleiterbauelemente (Diode, Bipolartransistor, Feldeffekttransistor, Leuchtdiode, etc.); Hochfrequenzeigenschaften und -bauelemente (Gunn-Effekt, Schottkydiode), Quantisierungseffekte und ihre Nutzung (Resonante Tunneliode, HEMT-Transistor, HBT-Transistor, etc.); Bauelementemodellierung und Schaltungsentwurf; Bauelemente auf Nicht-Standardhalbleitern (Graphen, Kohlenstoffröhren).			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Ziel der Vorlesung ist die wichtigsten Grundlagen der Halbleiterbauelemente und ihrer Anwendungen zu vermitteln. Die Studierenden sollen in die Lage versetzt werden, basierend auf Quantisierungseffekten die Hochfrequenzeigenschaften moderner Halbleiterbauelemente und ihrer Modellierung zu verstehen und an einfachen Schaltungen zu studieren. In kleineren Projekten sollen die Studenten einige Eigenschaften und physikalische Grundlagen aus der Vorlesung vertiefen. Hierbei werden Teamarbeit und Literaturstudium erlernt bzw. vertieft. Der Schwerpunkt der Vorlesung liegt auf der Anwendung von nanostrukturierten Halbleiterbauelementen mit quantisierten Zuständen in modernen Schaltungen für Hochfrequenzanwendungen. Interessierte Studenten sollen in die Lage versetzt werden einige dieser Aspekte zu Bachelor- und Master-Arbeiten auszuarbeiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-5, Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Krozer		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; im Fall von Studierenden mit Schwerpunkt *Physik der Informationstechnologie* sowie ansonsten auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Halbleiter- und Bauelementephysik (Physics of Semiconductors and Electronic Devices)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VKRISZ</b>	<b>Grundlagen der Kristallzuchtung</b> (Basics of Crystal Growth)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p><i>Grundlagen der Kristallzuchtung:</i> Charakteristika des kristallinen Zustands der Materie; Physikalische Grundlagen der Kristallzuchtung: Phasendiagramme, Keimbildung, Segregation, Hydrodynamik; Methoden zur Kristallzuchtung aus verschiedenen ungeordneten Ausgangsphasen; Kristallzuchtung ausgewählter Systeme aus der Festkörperforschung; Verfahren zur Material- und Kristallcharakterisierung: Differentielle Thermoanalyse, Röntgendiffraktometrie, Optische und Elektronenmikroskopie.</p> <p><i>Praktikum Grundlagen der Kristallzuchtung:</i> Im Rahmen des Laborpraktikums werden die in der Vorlesung gelernten Züchtungs- und Charakterisierungsmethoden konkret auf ein System angewendet.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Das Modul vermittelt die erforderlichen Grundlagen zur erfolgreichen Mitarbeit in einem experimentellen Projekt zur Kristallzuchtung. Die Studierenden besitzen dann die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fähigkeit, den hier angestrebten kristallinen Zustand von anderen Erscheinungsformen fester Materie abgrenzen zu können.</li> <li>• Fähigkeit zur Beurteilung der Machbarkeit von Kristallzuchtungsvorhaben auf Grundlage von Phasendiagrammen.</li> <li>• Kenntnis der experimentellen Vorgehensweise zur Bestimmung von Phasendiagrammen.</li> <li>• Kenntnis der Mechanismen der Keimselektion und Einsicht in die Bedingungen unter denen eine erfolgreiche Keimbildungskontrolle möglich ist.</li> <li>• Kenntnis der typischen Grenzschichten während des Kristallwachstums und Einsicht in die hierdurch vermittelten Einwirkungen hydrodynamischer Instabilitäten auf die Materialeigenschaften.</li> <li>• Kenntnis typischer Kristallzuchtungsmethoden und Fähigkeit, diese nach spezifischen Schwierigkeiten und Realisierungsaufwand zu beurteilen.</li> <li>• Fähigkeit, kristalline Proben über Mikroskopie und Röntgenmethoden so zu charakterisieren, dass sie erfolgreich in die Festkörperforschung eingebracht werden können.</li> <li>• Kenntnis der Kristallzuchtungsmethoden in der Festkörperphysik</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

Breites Grundlagenwissen aus den Veranstaltungen Experimentalphysik 1, 2, und 3a) sowie den Anfängerpraktika 1 und 2, insbesondere betreffend: Beschreibung von Bewegungsvorgängen, Hydrodynamik und Hydrostatik, Umgang mit thermodynamischen Potentialen, elektrische Meßtechnik, Induktionsvorgänge, Beugung und Interferenz, Erzeugung von Röntgenlicht, Aufbau und Funktion von Mikroskopen.									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Krellner							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		regelmäßige Teilnahme an den Übungen und am Praktikum							
<b>Leistungsnachweise</b>		erfolgreiche Teilnahme an den Übungen und am Praktikum; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung, Übung, Praktikum							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Grundlagen der Kristallzüchtung (Basics of Crystal Growth)		V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Praktikum Grundlagen der Kristallzüchtung (Lab Class Basics of Crystal Growth)		P	1	1	Pf	X		(X)	
Summe			4	5					

<b>VTHFP1</b>	<b>Einführung in die Theoretische Festkörperphysik</b> (Introduction to Theoretical Solid State Physics)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Struktur von Festkörpern, Born-Oppenheimer Näherung, Gitterschwingungen, nichtwechselwirkende Elektronen, Bloch Theorem, Bandstruktur, Halbleiter, elektronischer Transport, Elektron-Elektron-Wechselwirkung, Modelle für wechselwirkende Elektronen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Die Studierenden haben einen Überblick über die grundlegenden Konzepte der theoretischen Festkörperphysik. Sie kennen die kristalline Struktur von Festkörpern, wissen um die Existenz unterschiedlicher kondensierter Phasen und sind mit den elektronischen und thermodynamischen Eigenschaften von Festkörpern sowie den elementaren Anregungen in ihnen vertraut. Sie beherrschen die heute gebräuchlichen fortschrittlichen Methoden zur theoretischen Beschreibung dieser Phänomene. Die Studierenden lernen insbesondere, wie physikalische Beobachtungen in der Festkörperphysik mit mathematischen Gleichungen dargestellt werden können. Außerdem fördert die Behandlung der Gleichungen die Kreativität der Studierenden bei ihren Überlegungen, wie sie zu lösen sind. Dieses Modul bereitet die Studierenden auf eine Abschlussarbeit im Bereich der theoretischen Festkörperphysik vor. Nach Absolvieren des Moduls sind sie in dem von ihnen gewählten Vertiefungsbereich in der Lage, sich selbstständig in die aktuelle Forschung in der theoretischen Festkörperphysik einzuarbeiten bzw. direkt zu ihr beizutragen.</p> <p>Das Modul kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (Module VEXFP1 &amp; 2) absolviert werden.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-4</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Valenti		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Theoretische Festkörperphysik (Introduction to Theoretical Solid State Physics)	V+Ü	4+2	8	Pf	X		(X)	
Summe		6	8					

<b>VTHFP2</b>	<b>Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen</b> (Theory of magnetism, superconductivity and electron-electron correlation)		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 75 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 5	
<b>Inhalte</b>			
Wechselwirkende Elektronen, Hartree-Fock Theorie, Magnetismus, Supraleitung, Fermi-Flüssigkeitstheorie und Quasi-Teilchen-Konzept, Quanten-Hall-Effekt			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul werden fortgeschrittene Themen der theoretischen Festkörperphysik behandelt. Dabei wird über die Beschreibung als wechselwirkende Vielteilchensysteme insbesondere ein tieferes Verständnis für fundamental nicht-klassische Phänomene in Festkörpern vermittelt. Die Vorlesung kann ergänzend zur experimentellen Festkörperphysik (VEXFP1 & 2) gehört werden und ist hinführend auf eine Masterarbeit in der theoretischen Festkörperphysik.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-5</i> , <i>Einführung in die Theoretische Festkörperphysik</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Valenti		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen (Theory of magnetism, superconductivity and electron-electron correlation)	V+Ü	3+2	6	Pf		X		(X)
Summe		5	6					

<b>VEXMETH</b>	<b>Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik</b> (Selected Methods of Experimental Solid State Physics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Auswahl aus folgenden experimentellen Methoden: Tieftemperaturphysik/Kryotechnik, Probenherstellung, Streuexperimente/Spektroskopie (Neutronen, optische Methoden, Photoemission), thermodynamische Methoden (z.B. spezifische Wärme, thermische Ausdehnung), magnetische Messungen (auf der Makro-, Mikro- und Nanoskala), elektrischer und thermischer Transport (auch zeitaufgelöst) und dielektrische Messungen, Rastersondenmethoden (Elektronenmikroskopie, Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie), etc.</p> <p>Beispielen aus folgenden Forschungsbereichen: Stark korrelierte Elektronensysteme, Metall-Isolator-Übergänge, Physik der Gläser, Magnetismus, Supraleitung, Nanoelektronik, (magnetische) Halbleiter, Spintronics, u.a.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Ziel des Moduls ist es, die Arbeitsweisen der modernen Festkörperphysik anhand ausgewählter experimenteller Methoden kennenzulernen.</p> <p>Aufbauend auf den Grundkenntnissen der Festkörperphysik gelingt es den Studierenden, festkörper-physikalische Grundlagenforschung anhand der Identifizierung eines Forschungsproblems und den darauf anwendbaren experimentellen Methoden nachzuvollziehen. Die Experimente werden mittels ihrer theoretischen Grundlagen erläutert und die in der Praxis verwendeten experimentellen Aufbauten besprochen. Dabei finden auch spezielle, u.a. am Physikalischen Institut verwendete Methoden Erwähnung. Abwechslungsreich, anhand von Beispielen aus der aktuellen Forschung (siehe Inhalte), werden Messergebnisse und deren mögliche Interpretationen im Rahmen theoretischer Modelle erläutert. Die Studierenden erhalten dabei Einblick in weiterführende Themen wie bspw. Phasenübergänge, Fluktuationen, unkonventionelle Supraleitung, Topologie und Nicht-Gleichgewichtsphänomene.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
erforderlich: VEX4B, empfehlenswert: VEXFP1,2 (kann auch parallel gehört werden)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Müller		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik (Selected Methods of Experimental Solid State Physics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

## 3.5 Laser-, Plasma- und Atomphysik sowie Quantenoptik

<b>VATOM1</b>	<b>Atomphysik 1</b> (Atomic Physics 1)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Atome als quantenmechanische Teilchen: Quantenoptik mit Atomen, Doppelspalt mit Materiewellen, Dekohärenz, Verschränkung, Quantenkryptography, Quantenradierer. Wechselwirkung von Atomen und Molekülen mit einzelnen Photonen, Photoeffekt, Wirkungsquerschnitt, Drehimpulse, Wechselwirkung von Atomen mit starken Laserfeldern			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul vertieft das Verständnis der Konzepte der Quantenmechanik und deren beobachtbaren Auswirkungen. Die Studierenden werden exemplarisch an ein aktuelles Forschungsgebiet herangeführt. Sie lernen, sich komplexe Inhalte, die noch nicht in Lehrbuchform vorliegen, aus der Originalliteratur anzueignen. Die Studierenden beherrschen die anschauliche physikalische Argumentation mit minimalem mathematischen Formalismus.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Elementare Grundlagen der Quantenmechanik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Dörner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Atomphysik 1 (Atomic Physics 1)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VATOM2</b>	<b>Atomphysik 2</b> (Atomic Physics 2)			<b>CP</b> <b>3</b>								
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2								
<b>Inhalte</b>												
Moleküle: quantenmechanische Beschreibung, Superposition von atomaren Zuständen (LCAO), Born/Oppenheimer-Näherung, Beschreibung molekularer Potentiale, Franck/Condon-Prinzip, Photoionisation von Molekülen, zeitlicher Ablauf und Wigner-Phase, Emissionswinkelverteilung im molekularen Bezugssystem, Auger-Zerfall in Atomen und Molekülen, Post Collision Interaction, nicht-lokale molekulare Zerfallsprozesse, Interatomic Coulombic Decay und verwandte Prozesse, stationäre Zustände und "Bewegungen der Quantenmechanik												
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>												
Das Module erstrebt eine Vertiefung der und Erweiterung des Kenntnisse der Quantenmechanik. Es soll erlernt werden Brücken zwischen verschiedenen Theorien zu bilden.												
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>												
keine												
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>												
Inhalt der Module Experimentalphysik 1–3, Vorlesung Atomphysik 1												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik								
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik								
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				jährlich								
<b>Dauer</b>				einsemestrig								
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Dörner								
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Deutsch								
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine								
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet								
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht								
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung								
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					Semester							
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4				
Atomphysik 2 (Atomic Physics 2)					V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe						2	3					

<b>VATOM3</b>	<b>Atomphysik 3</b> (Atomic Physics 3)			<b>CP</b> <b>3</b>					
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2						
<b>Inhalte</b>									
<p>1. Auger-Effekt, angeregte Atome und der Weg zu neuen Quantenzahlen</p> <p>2. Fundamentalprozesse in der Elektron-Atom Streuung: Resonanzstreuung, Ionisation, Diffraktionsstreuung, (e,2e)</p> <p>3. Fundamentalprozesse in der Ion-Atom-Streuung: experimentelle Technik, Ionisations- und Elektroneneinfangprozesse, Besonderheiten bei sehr starken Störungen, atomic fireball, Bremsstrahlung, Antiprotonische Atome, relativistische Stöße</p>									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Die Studierenden sind in ein anspruchsvolles modernes Gebiet der Physik auf fortgeschrittenem Niveau eingearbeitet. Sie beherrschen die grundlegenden Konzepte zur Beschreibung der Dynamik von einfachen gestörten quantenmechanischen Systemen.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Kenntnisse der theoretischen Quantenmechanik									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Dörner							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Atomphysik 3 (Atomic Physics 3)		V	2	3	Pf		X		(X)
Summe			2	3					

<b>VATOMB</b>	<b>Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik</b> (Imaging Techniques in Atomic Physics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vor- und Nachteile verschiedener typischer Messsonden (geladene Teilchen, kurze intensive Laser Pulse, Synchrotronstrahlung)</li> <li>2. Targets: insbes. effusive Gastargets, Atom- und Molekularstrahlen, Überschallgasjets</li> <li>3. Detektoren: u. a. Channeltrons, MCPs, Phosphorschirme, CCDs, Delaylineanoden</li> <li>4. Aktuelle Techniken: Impulsspektroskopie, velocity map imaging, magnetische Flasche, Coulomb Explosion Imaging, Flugzeitspektrometer, dispers. Elektronenspektrometer, Röntgenbeugung, PEEM, Photoelectron diffraction</li> </ol>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die aktuell in der Forschung eingesetzten Abbildungsmethoden der Atomphysik. Sie lernen, welche Messsonde und welche Abbildungstechnik für die jeweilige atomphysikalische Fragestellung geeignet ist, und können die Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten gegenüberstellen. Die anschauliche physikalische Argumentation wird trainiert.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Erforderlich: Experimentalphysik 1-3; Empfehlenswert: Atomphysik 1			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Dörner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik (Imaging Techniques in Atomic Physics)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VKPLT</b>	<b>Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen</b> (Short pulse laser technology and strong field ionization of atoms and molecules)		<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Kurzpulse, Propagation, Erzeugung, Verstärkung (CPA); Strahl- und Pulsparameter (Strahlprofil, Polarisation, Fokussierbarkeit, CEP); Optik (Linsen, Spiegel, AR-Beschichtung: dielektrische Spiegel, Strahlteiler und Dünnschichtpolarisatoren, Wellenplatten, Teleskope), Aberrationen; Nichtlineare Optik: Frequenzverdoppelung, Weißlichterzeugung, Optisch-parametrische Verstärkung (TOPAS), Pulskompression; Strahl- und Pulscharakterisierung (Strahlprofil-Analyse, Autokorrelator, SPIDER, FROG, M<sup>2</sup>); Optische Feldsynthese: Puls-Shaper, Zwei-Farben- und OAM-Felder; Pump-Probe Technik; Tunnel- und Multiphotonenionisation, Elektronen Impulsverteilungen, ADK Theorie, Semi-klassische Simulation, Nichtadiabatische Effekte, Elektronenspin, Photonenimpuls, MO-ADK; Anwendungen der Starkfeldionisation: Messung der Laserfeldintensität, Coulomb-Explosion Imaging, Erzeugung der hohen Harmonischen, Laser-Induced Electron Diffraction, Photoelectron Circular Dichroism</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Die Studierenden erlangen einen Überblick über Kurzpulslasertechnologie und deren Anwendung für Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen. Eine zentrale Rolle im Lernprogramm nehmen experimentelle Konzepte der Erzeugung, Ausbreitung, Umwandlung und Charakterisierung von kurzen Laserfeldern. Im zweiten Teil des Moduls werden die Studierenden mit verschiedenen Aspekten der Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen vertraut gemacht. Außerdem werden zahlreiche Anwendungen der Starkfeldionisation erläutert.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Experimental Physik 3a und 3b			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Dörner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen (Short pulse laser technology and strong field ionization of atoms and molecules)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VPLASMA</b>	<b>Plasmaphysik</b> (Plasma Physics)	<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3
<b>Inhalte</b>		
<p>Plasmen im Universum und Labor, grundlegende Plasmamparameter, Plasmadichte und -temperatur, Ionisationsgrad, Plasmaerzeugung mit Hilfe von Entladungen, Ionen- oder Laserstrahlen, Einteilchenbewegung, Gyrationradius, Driftbewegungen, magnetische Spiegel, Townsend-Koeffizienten einer Entladung, Paschenkurve, Debye-Länge, Plasmafrequenz, Landau-Länge, Gamma-Parameter, lokales und partielles thermodynamisches Gleichgewicht, Boltzmann-Verteilung, Saha-Gleichung, weltweiter Energiebedarf, Umweltaspekte der Energieerzeugung, Brennstoffvorrat, Fusion in der Sonne, magnetischer Einschluss, Trägheitseinschluss, Bindungsenergie von Atomkernen, Schwellenenergie und Energiefreisetzung verschiedener Fusionsreaktionen, Fusionswirkungsquerschnitte und Reaktionsrate, Energiebilanz eines Fusionsplasmas, Lawson- und <math>\rho^*r</math>-Kriterium für Fusion, Kompression und Energiegewinn, magnetische und hydrodynamische Instabilitäten, Anforderungen an Reaktorkonzepte.</p>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>Im Modul wird ein Überblick über Plasmen als ein Phasenzustand aus ionisierter Materie gegeben. Der gültige Parameterbereich und die Beschreibung von Plasmen wird dargestellt. Als Anwendung der Plasmaphysik werden die Bedingungen erläutert, bei denen Kernfusion zur Energiegewinnung verwendet werden kann. Dazu wird auch ein Überblick über aktuelle Forschungen und die physikalischen Grundlagen zur Fusion leichter Elemente gegeben.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-3, Theoretische Physik 1-2, Anfängerpraktikum 1-2</i>		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Jacoby	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Plasmaphysik (Plasma Physics)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VEXPO</b>	<b>Nano-Optik und Kohärente Optik</b> <b>(früher: Moderne Experimentelle Optik)</b> (Nano and Coherent Optics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Optische Abbildung im Wellenbild; Abbildung und Fourier-Transformation; nichtkonventionelle linsenfremde Abbildungsmethoden (Nahfeldverfahren, Synthetische Apertur); Holographie; Kohärenz und Korrelation, Eigenschaften von Laserlicht; Tomographie; Kristall-Optik; negativer Brechungsindex; Metamaterialien; Transformationsoptik; "Tarnkappe" aus Metamaterial; Nichtlineare Optik			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			

**Grundlegende Aspekte:** Das grundlegende Verständnis wellenoptischer Phänomene wird, ausgehend vom Kenntnisstand der Studierenden nach dem Besuch der Einführungs Vorlesung Exp.physik 3a, vertieft. Eine zentrale Rolle spielt die Phase der elektromagnetischen Felder. Das Einüben im Umgang mit der Phase ist auch für die Quantenmechanik hilfreich, wo der Phase der Wellenfunktion eine vergleichbare Rolle zukommt. Die Studierenden werden mit einer Reihe moderner Konzepte und Verfahren der Optik, die sowohl in der Forschung als auch in der Anwendung eine wichtige Rolle spielen, vertraut gemacht. Damit führt die Vorlesung einerseits an Themen aktueller Forschung heran und bereitet auf Bachelor-, Master- und Staatsexamensarbeiten vor, sie dient aber auch der Vorbereitung auf den Beruf im Bereich optischer Technologien und im Lehramt.

**Spezifische Aspekte:**

**Optische Abbildung:**

- Den Studierenden wird bewusst, dass der optische Abbildungsvorgang als Hintereinanderausführung Fraunhoferscher Beugung aufgefasst werden kann und dass letztere ihre mathematische Entsprechung in der Fouriertransformation findet.
- Abbildungen können simuliert, Bilder berechnet werden.
- Die Studierenden wissen um die Bedeutung der Fourier-Ebene für Verfahren zur Bildfilterung und Kontrasterzeugung in der Mikroskopie.
- Ursachen der Auflösungslimitierungen in Bezug auf die optische Abbildung werden bewusst und Auswege über moderne nichtkonventionelle Abbildungsverfahren wie Nahfeldverfahren und Methoden der synthetischen Apertur erkennbar.
- Holographie führt zu vertieftem Verständnis der Bildentstehung (Phasenproblem) und leitet über zu moderneren Anwendungsideen wie der Phasenkongjugation und der Bildauffrischung.

**Kohärenz, Laserlicht:**

- Kohärenz ist für die Studierenden präzise beschreibbar über die Kohärenzbedingungen.
- Die Studierenden kennen die Korrelationsfunktionen als modernes Werkzeug zur Beurteilung des Kohärenzgrades sowie Anwendungen in der modernen Astronomie.
- Die Studierenden haben eine realistische Vorstellung in Bezug auf die Kohärenzeigenschaften und die bestimmenden Parameter verschiedener Lichtquellen.
- Die Studierenden können das Zustandekommen der Granulationserscheinungen ("Speckle pattern") bei Verwendung des Laserlichts zur Beleuchtung deuten.
- An Forschungsthemen zu kohärenten Verfahren der Strahlungsfelddetektion wird herangeführt, mit denen man zur dreidimensionalen Bildgebung gelangt.

**Kristalloptik:**

- Die Studierenden kennen die Besonderheiten der Lichtausbreitung in Kristallen und klassifizieren diese mit dem dielektrischen Tensor hinsichtlich der opt. Anisotropie.
- Phänomene der Kristalloptik können zur Kristallorientierung eingesetzt.

**Unkonventionelle optische Materialien:**

- Es wird vermittelt, dass künstliche optische Materialien (Metamaterialien) die Möglichkeiten der Optik enorm erweitern. Sie ermöglichen Brechungsindices  $< 1$  und sogar negative Indices, mit denen theoretisch Abbildung frei von Beugungsbegrenzung, perfekte Absorption, etc. möglich werden.
- Transformationsoptik: Gezielt optimierte inhomogene Metamaterialien kommen für Anwendungen wie optische "Tarnkappen" in Betracht.

**Nichtlineare Optik:**

- Die Studierenden erkennen typische Phänomene der nichtlinearen Optik als Folge der Wechselwirkung intensiven Lichts mit Materie und kennen die Bedingungen für deren Beobachtbarkeit. Vertraute optische Erfahrungen werden als Ergebnis einer linearen Näherung in ihrer Allgemeingültigkeit relativiert.
- Die Studierenden erhalten Einsicht in die Bedeutung von Mehrphotonenprozessen für grundsätzliche Fragestellungen der Quantenphysik.

**Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls**

keine

**Empfohlene Vorkenntnisse**

Grundlagenwissen aus den Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1, 2, und 3a</i> ) sowie aus dem Physikalischen Anfängerpraktikum 1.									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik, L3 Physik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		jährlich							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Roskos							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Nano-Optik und Kohärente Optik (früher: Moderne Experimentelle Optik) (Nano and Coherent Optics)		V	2	3	Pf		X		(X)
Summe			2	3					

<b>VTHZSPEC</b>	<b>Einführung in die Terahertz-Spektroskopie</b> (Introduction to Terahertz Spectroscopy)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Optoelectronic generation and detection of THz pulses, spectroscopic quantities (refractive index, complex dielectric function, optical conductivity) and their extraction from THz transmission measurements, probing the high-frequency conductivity in semiconductors and nano-materials, fundamentals of the physics of charge carriers in semiconductors (effective mass, optical transitions, carrier transport in the band picture, carrier relaxation), optical-pump/THz-probe spectroscopy, Gunn effect; basics of superconductivity, high-frequency conductivity of superconductors, Cooperpair breaking and reformation, Rothwarf-Taylor model; semiconductor quantum-well structures, intra-subband transitions, semiconductor superlattices, Bloch oscillations, THz-emission spectroscopy; non-linear THz spectroscopy, phenomena at high THz fields/intensities for the example of graphene and semiconductors.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Introduction to the physics of electrons in solid-state materials on the milli-electronvolt energy scale (0.4 to 40 meV, corresponding to frequencies of 100 GHz to 10 THz), and their probing by time-domain terahertz spectroscopy. Elementary excitations of matter are discussed both with regard to their static and dynamical properties, and – where possible – implications for technical applications (such as data transmission and processing) are considered. The lecture bridges the gap between curricular solid-state physics courses and actual research. It may serve as preparation for bachelor- and master-level research work, or accompany doctoral and post- doctoral research. On the go, the skills in technical English are honed.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
<p>Basic physics as taught in the lectures <i>Experimentalphysik VEX1</i> to <i>VEX3</i> and in the <i>Anfängerpraktika</i>. Beyond that, basic knowledge of the band model of electrons in semiconductors, of the concept of phonons in the reciprocal lattice, and of superconductivity, all on the level as taught in the lecture <i>Experimentalphysik 4b: Festkörper</i>. Die gleichzeitige Teilnahme am “Seminar on Terahertz Electronics and Spectroscopy” wird empfohlen.</p>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Roskos		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Terahertz-Spektroskopie (Introduction to Terahertz Spectroscopy)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					



### 3.6 Angewandte Physik

<b>VBEP</b>	<b>Einführung in die Beschleunigerphysik</b> (Introduction to accelerator physics)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Beschleunigungsmechanismen, Linear- und Kreisbeschleuniger, Strahlerzeugung, Fokussierung, elektrostatische und hochfrequente Strukturen, HF-Erzeugung, Beschleunigeranwendungen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul wird ein Überblick über die geschichtliche Entwicklung des Beschleunigerbaus gegeben. Die wichtigsten Beschleunigungskonzepte werden vorgestellt sowie damit erzielte wissenschaftliche Durchbrüche angesprochen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3</i> , <i>Theoretische Physik 1–3</i> , <i>Atomphysik 1</i> , <i>Anfängerpraktikum 1–2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Beschleunigerphysik (Introduction to accelerator physics)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VELSEN</b>	<b>Elektronik und Sensorik</b> (Electronics and Sensorics)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Die Vorlesung <i>Elektronik und Sensorik I</i> bietet eine umfassende Einführung in die Grundlagen der Analog-Elektronik. Dabei werden die wichtigsten elektronischen Bauelemente und ihre Grundsaltungen behandelt. Einige Themenschwerpunkte sind: Passive Netzwerke, Grundlagen der Halbleiterdiode, Feldeffekt- und Bipolarer Transistor, Dioden- und Transistorschaltungen, Operationsverstärker, Schaltungssimulation.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul bietet eine Einführung in die Grundlagen der Elektronik und Schaltungstechnik. Ziel des Modules ist es, den Studierenden einen kompakten Einblick in die Funktionsweise analoger und digitaler Schaltungen zu vermitteln, die z.B. im Bereich der eingebetteten Systeme (wie im Automotive- oder Multimediabereich) zunehmend ineinandergreifen. Daher wird zunächst die Theorie elektrischer Netzwerke und die Funktionsweise von Halbleiterbauelementen, sowie Grundsaltungen in der Analogelektronik mit Dioden, Transistoren und Thyristoren besprochen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
keine			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc und MSc Physik, BSc und MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Elektronik und Sensorik I (Electronics and Sensorics I)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VDIGEL</b>	<b>Digitale Elektronik</b> (Digital Electronics)			<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>								
In der Vorlesung <i>Digitale Elektronik I</i> werden zunächst die für das Digitalelektronikpraktikum benötigten Kenntnisse vorbereitet, so werden z.B. die boolsche Algebra, digitale Bauelemente, Zustandsautomaten, und die einzelnen Logikfamilien eingeführt. Hierbei wird Wert auf die praxisnahe Gestaltung der Vorlesung gelegt.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Den Studierenden erhalten einen breiten Einblick in die Funktionsweise digitaler Schaltungen. Durch die praxisnahe Gestaltung der Vorlesung werden die Studierenden darauf hingeführt, zukünftige vertiefende Arbeiten und Aufgabenstellungen auf dem Gebiet sicher einzuordnen und kleinere Projekte auf dem Gebiet durchzuführen. Das Modul richtet sich an Studierende aller Semester.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Grundkenntnisse von Halbleiterbauelementen (Diode und Transistor als Schalter)								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Fröhlich							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Digitale Elektronik I (Digital Electronics I)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VLINAC</b>	<b>Linearbeschleuniger</b> (Linear Accelerators)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Elektronen- und Ionenquellen, Separationstechniken, Strahltransportelemente, Überblick über vielzellige Resonatoren, hochfrequenzphysikalische Grundlagen, Strahllast, Liouvillescher Satz, Vlasov- und Fokker-Planck-Gleichungen, raumladungsdominierte Strahlen, Raumladungskompensation, Anwendungen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul dient der Vermittlung von Grundbegriffen und Konzepten zu Linearbeschleunigern für Elektronen und Hadronen und zu Ionenquellen. Diese werden gemeinsam mit den Studierenden entwickelt. Damit wird ein vertiefter Überblick über ein aktuelles Forschungsgebiet der Beschleunigerphysik vermittelt. Der oder die Studierende beherrscht nach Absolvieren des Moduls die Strahldynamik zu und die Auslegung von Strahltransportstrecken und Linearbeschleunigerelementen. Das umfasst unter anderem Hochfrequenzresonatoren, sowie die Strahldynamik von raumladungsdominierten Strahlen. Die Studierenden können die Ergebnisse des Moduls zusammengefasst aufbereiten und ggf. auch in einem Vortrag präsentieren.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-3</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Linearbeschleuniger (Linear Accelerators)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSYNCR</b>	<b>Ringbeschleuniger und Speicherringe</b> (Synchrotrons and Storage Rings)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Kreisbeschleunigerkomponenten, Emittanz, Alternierende Gradienten Fokussierung, Strahltransport intensiver Strahlen, Strahlstabilität, Strahlkühlung, HF-Systeme, Ring-Strahldynamik (transversal, longitudinal), selbstkonsistente Teilchenverteilungen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul dient einer weitgehenden fachlichen Spezialisierung im Bereich Beschleunigerphysik, speziell zu den Ringbeschleunigern. Es vertieft das fachliche und methodische Wissen, was in der Einführungsvorlesung vermittelt wird. Die Studenten haben das fachliche Wissen zur Theorie der Strahldynamik, der Beschleunigerkomponenten und der Hochfrequenzresonatoren in Hinblick auf Ringbeschleuniger erweitert. Die Studenten sind nach Absolvieren des Moduls in der Lage die strahldynamischen Grundzellen, die HF-Systeme und die Magnete eines Ringbeschleunigers auszulegen. Die relevante Literatur zum Stand der Ringbeschleuniger ist den Studenten bekannt, so dass eigene Literaturrecherchen durchgeführt werden können.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1–3, Theoretische Physik 1–3, Anfängerpraktikum 1–2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Ringbeschleuniger und Speicherringe (Synchrotrons and Storage Rings)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSUPAC</b>	<b>Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie</b> (Superconductivity in accelerator and fusion technology)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Grundlagen und Phänomene der Supraleitung, wichtigste Verbindungen, Leiterherstellung, Spulenaufbau, Magnete, Hochfrequenzsupraleitung, supraleitende Resonatoren, Herstellung und Oberflächenpräparation, Tuning, Ankopplung, Messverfahren, aktuelle Forschungsprojekte			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Der Besuch der Vorlesung erlaubt den Studierenden einen Einblick in das äußerst aktive Feld der Supraleitung und deren Anwendungen in Beschleuniger- und Fusionstechnologie. Insbesondere erhalten Sie einen tiefen Einblick in die Hochfrequenzsupraleitung. Gemeinsam werden die theoretischen Grundlagen zum Test supraleitender Resonatoren erarbeitet. Die Vorlesung gibt einen Einblick in eine Vielzahl von Fragestellungen und Phänomenen wie Hochfrequenzwellen, Verlustleitung, Feldemission, Multipacting, Strukturmechanik, Feld- und Frequenz-tuning. Anhand von Übungen können die Studierenden sich vertiefend mit diesen Themen auseinandersetzen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-3, Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusionstechnologie (Superconductivity in accelerator and fusion technology)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VVAKP1</b>	<b>Vakuumphysik I</b> (Vacuum Physics I)	<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3
<b>Inhalte</b>		
Kinetic theory of gases (pressure, velocity distribution, mean free path). Gas flow types: molecular, laminar and turbulent regimes. Compressible flow. Flow resistance (conductance), connection of resistances. Pumping speed. Choked flow. Transitional flow. Evaporation condensation. Pumping processes. Physics of vacuum pumps: Positive Displacement Pumps (liquid ring, rotary, roots). Multistage Pumps. Example of Pump down with Leak. Kinetic pumps (Molecular drag, Turbo Molecular, Diffusion Pump). Capture Pumps (Getter Pump + Example, Sputter-ion pump, Cryo-pump). Gauges: Short introductory to statistics of measurements (error-bars, Chi squared test), Liquid manometers (McLeod), Piston gauge, Capacitance Gauge.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Die Studierenden sind vertraut mit Berechnungsmethoden und Konzepten zur Auslegung von Vakuumkammern sowie zur Ausstattung mit Vakuumpumpen und Messgeräten. Die Studierenden sind nach Absolvieren dieses Moduls vorbereitet für diejenigen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-2</i>		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Vakuumphysik I (Vacuum Physics I)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VVAKP2</b>	<b>Vakuumphysik II</b> (Vacuum Physics II)	<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3
<b>Inhalte</b>		
Introduction of Kinetic theory of gases: Pressure and Temperature. Viscosity Gauges: Kinematic model of viscosity, Momentum transport, Effect of Boundary. Spinning Rotor Gauge. Thermal conductivity Gauges: Kinetic model of heat conductivity in gases, Effect of Boundary. Heat flux in a cylinder. Energy loss mechanisms (by radiation, by conduction, by gas transport). Pirani Gauge. Ionization Gauges: Hot Cathode Gauge, Bayard- Alpert Gauge. Cold Cathode Gauge: Penning Gauge. Inverted Magnetron Gauge. Partial Pressure Analysis: Quadrupole Mass Spectrometer, Magnetic Sector Analyzer, Time of Flight Mass Analyzer, Trochoidal Mass Analyzer, Omegatron. Leak Detection. Gas-Surface interactions and Diffusion: Adsorption, Absorption, Outgassing. Pressure Profile: equation of pressure evolution (x,t) and application to Accelerators. Beam collimation and Vacuum pressure. Vacuum instability.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Methoden zur Analyse der Restgasverteilung werden vermittelt. Oberflächenprozesse allgemein sowie speziell Strahl-Wand-Wechselwirkungen bei intensiven Teilchenstrahlen werden vorgestellt. Die Vorlesung ist für alle Themengebiete hilfreich, die mit Vakuumserzeugung verknüpft sind und ergänzend zum erten Teil. Bei vielen Bachelor- und Masterarbeiten in der experimentellen Physik werden die hier vermittelten Kenntnisse angewandt. Diese Lehrveranstaltung wird je nach Wunsch der Studierenden auf Englisch oder Deutsch angeboten.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-2</i>		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Vakuumphysik II (Vacuum Physics II)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VEXNUAS</b>	<b>Experimente zur nuklearen Astrophysik</b> (Experiments of nuclear astrophysics)			<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>								
Messung von Reaktionen mit geladenen Teilchen, Messung von photoneninduzierten Reaktionen, Messung von neutroneninduzierten Reaktionen								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
In diesem Modul werden spezielle experimentelle Techniken der Kernphysik, die für Prozesse der nuklearen Astrophysik wichtig sind, detailliert vorgestellt, so dass die Studierenden befähigt werden, an experimentellen Programmen in dieser Richtung teilzunehmen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Einführung in die Astronomie 1-2, Experimentalphysik 4a: Kerne und Elementarteilchen</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Reifarth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Experimente zur nuklearen Astrophysik (Experiments of nuclear astrophysics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					



<b>VENGW</b>	<b>Physik der Energiegewinnung</b> (Physics of Energy Production)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Sozioökonomische Zusammenhänge hinsichtlich Energieverbrauch, Wirtschaftsleistung usw., historische Entwicklung des Energieverbrauchs, Energie als physikalische Größe, Energieerntefaktor, fossile Energieträger (Entstehung, Vorkommen, Abbau), Treibhauseffekt, Kreisprozesse und Wärmekraftmaschinen (Motoren, Turbinen), Kraft-Wärme-Kopplung, Regenerative Energieformen (Photovoltaik, Photothermik, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermik), Kernspaltung (Grundlagen, Reaktortypen, Neutronenbilanz, Aufarbeitung), Transmutation, Fusion, Risikobegriff, Speicherung von Energie, Transport von Energie			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul behandelt die physikalischen Grundlagen der Energieumwandlung im Hinblick auf die Energieversorgung. Neben sozioökonomischen und historischen Zusammenhängen lernen die Studierenden wichtige Grundbegriffe der Energieversorgung wie Wirkungsgrad, Energieerntefaktor, Energierücklaufzeit und Globalbilanz kennen. Der Schwerpunkt der Vorlesung liegt auf der Beschreibung der Grundlagen der verschiedenen Energiequellen (fossil, regenerativ, nuklear) mit ihren jeweiligen Potentialen und Grenzen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Physik der Energiegewinnung (Physics of Energy Production)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VPLAHER1</b>	<b>Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor I</b> (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory I)	<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3
<b>Inhalte</b>		
Grundlagen Plasmaphysik, hydrodynamische Gleichungen, Erzeugung und Eigenschaften von Plasmen hoher Energiedichte, Anwendung in Planetenmodellen, Erzeugung im Labor (Schockwellen, Röntgen- und Teilchenstrahlen), Laser-erzeugte Plasmen, Hochenergielaser, Inertialfusion		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Das Modul soll die Grundlagen für die Erzeugung von Plasmen hoher Energiedichte vermitteln. Es werden moderne experimentelle Techniken vorgestellt, die Vorlesung ist eng verbunden mit der aktuellen Forschung, insbesondere mit laufenden Experimenten an der GSI und anderen Großforschungseinrichtungen.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-3</i> , Grundlagen der Atomphysik		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen	
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory I)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VPLAHER2</b>	<b>Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II</b> (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory II)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Strahlungsmechanismen, Diagnostiken, technische und astrophysikalische Anwendungen. Verschiedene Strahlungsmechanismen. Elementare Prozesse in Plasma. Röntgen-Spektren aus Plasmen - Informationsquelle über Plasmeneigenschaften. Methoden und Techniken von Röntgendiagnostiken. Anwendungen für Lasererzeugten Plasmen.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul soll weiterführende Grundlagen für die Erzeugung von Plasmen hoher Energiedichte vermitteln. Es werden moderne experimentelle Techniken vorgestellt, die Vorlesung ist eng verbunden mit der aktuellen Forschung, insbesondere mit laufenden Experimenten an der GSI und anderen Großforschungseinrichtungen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-3</i> , Grundlagen der Atomphysik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II (High Energy Density Plasmas: X-rays in the Universe and Laboratory II)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VHSPANN</b>	<b>Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik</b> (Physics and Application of High Voltage Technology)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>Aufgaben und Anwendungen der Hochspannungstechnik, Perspektiven der Hochspannungstechnik, Wechsel- und Drehstromtechnik, Energieübertragung, Grundlagen elektrischer Felder, technische Beanspruchungen, statische, stationäre und quasistationäre Felder in homogenen Dielektrika, Gasentladungskennlinien, raumladungsfreie Entladung im homogenen Feld (nach Townsend und Paschen), raumladungsbeschwerte Entladung, Kanalentladung (Streamer-Mechanismus), Entladeverzug, Stoßkennlinien und Hochfrequenzdurchschlag, Entladungen im inhomogenen Feld, Oberflächenentladungen, Funken-, Bogen- und Blitzentladung, Entladungen in flüssigen und festen Dielektrika, Entladungen in festen Stoffen, Teilentladungen (TE), Vakuumdurchschlag, Isolierstoffe, Typische Isoliersysteme für Gleich-, Wechsel-, und Impulsspannungen, Prüfen, Messen, Diagnose, Hochspannungsprüfungen, Überspannungsableiter, Erzeugung hoher Spannungen, weitere Anwendungen, Blitzschutz, Sicherstellung der EMV, Hochleistungsimpulstechnik.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Im Modul wird eine Einführung in die Grundbegriffe der Hochspannungstechnik gegeben. Dabei wird ein Überblick über die Aufgaben und Anwendungen der Hochspannungstechnik dargestellt und die Grundlagen der elektrischen Energieübertragung, elektrischer Felder und Gasentladungen abgehandelt. Weiterhin gibt es eine Einführung über Isolierstoffe, Transformatoren, Kondensatoren, Gasentladungsschalter. Weitere wichtige Inhalte des Moduls bilden die Hochspannungsmesstechnik, Marxgeneratoren, Blitzschutz und EMV. Die Übungen ermöglichen die aktive Anwendung der Grundbegriffe und die Einübung der mathematischen Behandlung anhand von Beispielen.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-3</i> , <i>Theoretische Physik 1-2</i> und <i>Anfängerpraktikum 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Iberler		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik (Physics and Applications of High Voltage Technology)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					



<b>VCOMPSIG</b>	<b>Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung</b> (Basics of computer-aided signal processing)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Einführung Signal- und Systemtheorie, Signalverarbeitungsmethoden im Zeitbereich, Frequenzbereich und Zeitfrequenzbereich (z.B. Waveletanalyse), statistische Signalverarbeitung, Mustererkennung			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Im ersten Teil der Veranstaltung wird eine Einführung in die computergestützte Signalverarbeitung gegeben, bei der die Vermittlung von grundlegenden Analysekonzepten im Vordergrund steht. Anschließend erfolgt im zweiten Teil die Bearbeitung von Mini-Projekten mit aktuellem Forschungsbezug, die in Form von kleinen Projektteams erarbeitet werden. Am Ende steht die Präsentation der Ergebnisse. Ein wichtiges Ziel der Veranstaltung besteht in der Vermittlung von methodischen Kenntnissen, die unmittelbar auf die Bachelor- bzw. Masterarbeit vorbereiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
keine			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Krozer		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung (Basics of computer-aided signal processing)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VMUKLA</b>	<b>Musterklassifikation und Signalschätzung</b> (Pattern classification and signal estimation)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Musterklassifikation mit Support-Vector-Machines, Musterklassifikation basierend auf Topologischen Merkmalskarten, mehrschichtigen Perzeptrons und Radial-Basis-Funktionen; Theoretische Grundlagen statistischer Musterklassifikation, Klassifikation dynamischer Muster mit Hidden-Markov-Modellen.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Gegenstand der Vorlesung sind Konzepte moderner Methoden der Signalverarbeitung mit Schwerpunkt auf Musterklassifikation. Ziel ist die Vermittlung von theoretischen Grundlagen anwendungsorientierter Verfahren der Signalanalyse sowie deren algorithmische Umsetzung in einer praxisnahen Darstellung. Anhand von Beispielen aus verschiedenen Anwendungsbereichen werden typische Problemstellungen und Vorgehensweise beim Einsatz der datengetriebenen Signalverarbeitungsmethoden diskutiert. Hierdurch werden die Studierenden einerseits angeregt die theoretischen Konzepte selbständig weiter zu vertiefen und andererseits in die Lage versetzt, die Anwendung der Konzepte auf andere Bereiche vorzunehmen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Mathematik für Studierende der Physik 1 - 3</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Musterklassifikation und Signalschätzung (Pattern classification and signal estimation)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VANION</b>	<b>Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen</b> (Principles of Analytics and Surface Modification with Ion Beams)		<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Modelle für niederenergetische Kernreaktionen; niederenergetische Teilchenbeschleuniger; Detektoren für den Nachweis von Ionen, Röntgen- und Gammastrahlung; Bremsvermögen von Ionen in Materie; Grundlagen der Ionenimplantation; Berechnung von Implantationsprofilen; Beispiele für die Oberflächenmodifizierung mittels Ionenimplantation; Überblick über die Verfahren der Ionenstrahlanalytik (RBS, PIXE, PIGE, NRA, Channeling); Tiefenprofilierung leichter Elemente mittels PIGE; Anwendung der Oberflächenmodifizierung in der Materialforschung und Medizin.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Studierende erlangen grundlegendes Verständnis für die Wechselwirkungen von energiereichen Ionen in Materie. Sie sind in der Lage, aus dem Ensemble der Ionenstrahlverfahren die geeignete Methode auszuwählen und für die zerstörungsfreie Analytik einzusetzen. Das erworbene Wissen über Ionenimplantation befähigt sie, dieses leistungsfähige Verfahren zur Modifizierung von Werkstoffeigenschaften anzuwenden.</p> <p>Das Modul bereitet Studierende auf die Arbeit an Teilchenbeschleunigern (bis ca. 10 MV) und Implantationsanlagen vor. Im Bereich der Ionenstrahlanalytik umfasst dies den Aufbau der experimentellen Anordnung, Wahl der Ionensorte und -energie sowie die Auswertung. Damit umfasst das Modul typische Elemente von Bachelor-, Master-, und Doktorarbeiten auf diesem Gebiet und ist auch als Voraussetzung dafür konzipiert.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module VEX1A (Mechanik), VEX2 (Elektrodynamik), VEX3 (Optik, Atome und Quanten)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Dörner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen (Principles of Analytics and Surface Modification with Ion Beams)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VLASAC</b>	<b>Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik</b> (Laser Applications in Accelerator Physics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>The lecture focuses on laser applications in particle accelerators. The contents of the lecture are: Introduction to lasers with a focus on high power lasers in the TW and PW range; Laser-plasma interactions and laser-matter interactions with the special application laser ion source"; Different methods of particle acceleration with high power lasers such as TNSA (Target Normal Sheath Acceleration), LWFA (Laser Wakefield Acceleration), and Dielectric Laser Accelerators with an overview of current research activities; The potential of laser driven accelerator concepts for the design of future research facilities and the applications of laser-accelerated beams; Beam matching of laser-accelerated beams to conventional linac structures and laser based beam diagnostics; Other topics of this lecture are free electron lasers (FELs) and their applications. Important mechanisms in FELs like undulators, self-amplified spontaneous emission, micro-bunching and seeding will be explained.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>The students will become familiar with recent technology for large-scale research facilities and gain an understanding of the involved physical concepts. By incorporating recent research results in the lecture, the students will gain an understanding of the research field and get familiar with scientific publications.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module VEX3, VTH3, VBEP			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Laseranwendungen in der Beschleunigerphysik (Laser Applications in Accelerator Physics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					



<b>VBISD</b>	<b>Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose</b> (Accelerator beam instrumentation and diagnostics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Es werden folgende Themen behandelt: Aufgaben der Strahldiagnostik an Beschleunigern, Messgeräte zur Strahlstrom-Messung, Verfahren der transversalen Profilmessung, Methoden der Emittanzbestimmung, Physik und Technik der Beam Position Monitore, Messung longitudinaler Strahlparameter, Strahlverlust-Detektion. Die Herleitung der Funktionsprinzipien der Instrumente wird ausführlich behandelt. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Durchführung von Messaufgaben mit praxis-relevanten Methoden als Teil der Übungen, d.h. mess-technischer Demonstrationen der Instrumente mit Oszilloskop, Spektrum- und Netzwerkanalysatoren.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Primär: Die grundlegenden Verfahren zur Diagnose von Ionen- und Elektronenstrahlen werden in der Vorlesung diskutiert. Das Ziel ist, die physikalischen Grundlagen zu verstehen, um die Methoden bei Beschleunigern anzuwenden bzw. Messergebnisse richtig zu interpretieren. Weiterhin werden Grundlagen der Messtechnik praxis-nah dargestellt, um eine adäquate Auslegung der Diagnosegeräte zu ermöglichen. Die praktische Benutzung von Messmethoden insbesondere zur Hochfrequenztechnik mit adäquaten Messgeräten wird erlernt. Die Fähigkeit zur selbständigen Durchführung von Gerätetests soll erreicht werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , Anfängerpraktikum, Einführung in die Beschleunigerphysik (oder äquivalentes Wissen)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose (Accelerator beam instrumentation and diagnostics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VHIACC</b>	<b>Hochintensitätsbeschleuniger und ihre Anwendungen</b> (High Intensity Accelerators and their Applications)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Das Modul behandelt Hochintensitäts-Beschleuniger. Nach einer allgemeinen Einführung liegt der Schwerpunkt auf hohen Intensitäten und den assoziierten Effekten. Grundlagen der Strahldynamik, transversale und longitudinale Strahldynamik, Raumladungseffekte, spezielle Effekte in raumladungs-dominierten Beschleunigern, Hochstrom-Ionenquellen, HF-Parameter, RFQ-Strukturen, Driftröhrenstrukturen, supraleitende HF-Strukturen, FRANZ-Projekt, MYRRHA-Projekt, IFMIF, FRIB, ESS, FAIR, HBS.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Detaillierte Kenntnisse der relevanten physikalischen Phänomene versetzt die Studierenden in die Lage einen Zugang zu der Entwicklung von Hochstrombeschleunigern bzw. der jeweiligen Subsysteme zu finden bzw. Herausforderungen dieser Anlagen zu realisieren. Das Modul bereitet Studierende für die Arbeit an Hochstrombeschleunigern bzw. für deren Auslegung und Realisierung vor. Die Grundlagen der Hochstromstrahldynamik, von thermisch hoch belasteten Beschleunigerkavitäten und deren Subsysteme sind die Grundlagen für Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten auf diesem Gebiet.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module VAEX1A, VEX1B, VEX2, VEX3, VEX4A			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Hochintensitätsbeschleuniger und ihre Anwendungen (High Intensity Accelerators and their Applications)	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

## 3.7 Biophysik

<b>VBIOMOL-DYN</b>	<b>Biomolekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden</b> (Biomolecular Dynamics — Measuring Methods and Applications from Femtoseconds to Seconds)	<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
<p>Experimentelle Methoden werden vorgestellt aus den Bereichen: Ultrakurzzeitspektroskopie; nichtlineare Laserspektroskopie; Einzelmolekülspektroskopie; Einzelmolekülmikroskopie; Kraftmikroskopie; Optische Pinzetten; zeitaufgelöste NMR-Spektroskopie; Massenspektrometrie; zeitaufgelöste Röntgenbeugung, Kristallographie und Elektronenbeugung. Der Informationsgehalt der verschiedenen Experimente wird anhand wichtiger Beispiele erläutert. Diese umfassen unter anderem: Protonentransfer; Bruch und Bildung chemischer Bindungen; Katalysatoren; Bildung transienter Strukturen in Flüssigkeiten; Energietransfer in Molekülen; Proteinfaltung; Enzymfunktion; Photorezeptoren; Molekulare Motoren; Photosynthese.</p>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>Die Studierenden erlangen einen Überblick über dynamische Prozesse in Molekülen mit Bedeutung für chemische Reaktionen, für die Funktion von biologischen Makromolekülen im Organismus und für Strukturbildung in kondensierter Materie. Die Bedeutung der Kopplung von Prozessen auf verschiedenen Zeitskalen (Femtosekunden bis Sekunden), sowie auf verschiedenen Längenskalen (Bruchteil einer Bindungslänge bis hin zum Durchmesser grosser Proteine) wird erarbeitet. Die Studierenden lernen aktuellste Methoden kennen, die die Messung von Moleküldynamik auf diesen unterschiedlichen Zeit- und Längenskalen ermöglichen.</p> <p>Die Studierenden können die Aussagekraft von Experimenten in der Fachliteratur richtig beurteilen. Die Studierenden können beurteilen welche Informationen über Moleküldynamik mit unterschiedlichen Methoden zugänglich sind und die Methode wählen, die für eine bestimmte Fragestellung geeignet ist. Die Studierenden können die Bedeutung von Moleküldynamik für unterschiedliche Phänomene (chemische Reaktionen, Proteinfunktion, Strukturbildung in kondensierter Materie) einschätzen.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
keine		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Biophysik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik, BSc Chemie, MSc Chemie	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Bredenbeck	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Biophysik, unbenotet	

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (30 Min.) oder einer Klausur (90 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Biomolekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden (Biomolecular Dynamics — Measuring Methods and Applications from Femtoseconds to Seconds)	V	2	3	Pf		X		
Summe		2	3					

<b>VBCMETH</b>	<b>Biochemische Methoden in der Biophysik</b> (Biochemical Methods in Biophysics)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Die vorgestellten Techniken beinhalten: Methoden der Molekularbiologie (Identifikation und Isolierung von Genen, Sequenzierung, Synthese, Klonierung, Mutagenese, Expression von rekombinanten Genen); Proteinchemische Methoden (lösliche Expression, Rückfaltung von denaturierten Proteinen, Besonderheiten bei Membranproteinen, chromatographische Trennverfahren, Pufferaustausch und Konzentrieren, Immobilisieren, Kristallisieren); Analytische Methoden (Konzentrations- und Reinheitsbestimmung, Elektrophorese, Bestimmung von Bindungskonstanten und Aktivitäten); Markierungstechniken ( <i>Tags</i> , chemische Label, Isotopenlabel, künstliche Aminosäuren); biochemisch relevante Datenbanken und Software			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul vermittelt häufig angewendete Methoden für die Herstellung und Modifikation biologischer Proben, z.B. Proteinen, die biophysikalisch untersucht werden sollen. Die Kenntnis dieser Methoden ist in dreifacher Hinsicht wichtig:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• für die Produktion eigener Proben</li> <li>• für die korrekte Behandlung und Kontrolle von Proben, die z.B. ein Kooperationspartner zur Verfügung stellt</li> <li>• für die Interpretation von Untersuchungsergebnissen, sowohl eigener als auch solchen aus der Literatur</li> </ul>			
In Übungsaufgaben wird das erworbene Wissen angewendet und vertieft.			
Die Studenten sollen befähigt werden, den Methodenteil und die Aussagekraft von Messungen in der Fachliteratur korrekt zu interpretieren sowie eigene Experimente sinnvoll zu planen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundbegriffe der allg. und anorganischen Chemie (Begriffe: Stoffmenge, Konzentration, Reaktionsgeschwindigkeit und -gleichgewicht, pH-Wert; Funktionsweise von Puffern), Struktur von Nukleinsäuren und Proteinen, Grundlagen der elektronischen Spektroskopie (Absorptionskoeffizient, Lambert-Beer'sches Gesetz, Fluoreszenz) Grundkenntnisse der Biochemie (Stoffwechsel von Pro- und Eukaryoten) und der organischen Chemie (grundlegende Reaktionstypen) sind wünschenswert			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Biophysik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc und MSc Biophysik, BSc und MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Wille		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (30 Min.) oder einer Klausur (90 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Biochemische Methoden in der Biophysik (Biochemical Methods in Biophysics)	V	2	3	Pf		X		
Summe		2	3					



<b>VSTUMBPH</b>	<b>Strahlen- und Umweltbiophysik</b> (Radiation and Environmental Biophysics)	<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
Grundlagen der Wechselwirkung ionisierender und nichtionisierender Strahlung mit Materie; Grundbegriffe von Dosis, Dosimetrie; gesetzliche Grundlagen des Strahlenschutzes; Anwendungen von Teilchenstrahlung und elektromagnetischer Strahlung in der Medizin; natürliche und künstliche Radioaktivität; nicht-ionisierende Strahlung. Übungen sind in die Vorlesung integriert.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung der Grundlagen der Wechselwirkung ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung mit Materie und die Bewertung von Risiken aus diesen Wechselwirkungen. Die Studierenden lernen die sachliche Bewertung der potentiellen Risiken ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung auf der physikalischen Grundlage der Wechselwirkung von Strahlung mit Materie. Mit diesen Grundlagen werden sie beispielsweise in die Lage versetzt, im sozialen Spannungsfeld zwischen Hochtechnologien und der verbreiteten naiven Technikfeindlichkeit kompetent und sachlich begründet Stellung zu beziehen und Bewertungen abzugeben.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Grundlagen des Atommodells und des Aufbaus der Atomkerne, beispielsweise aus der Vorlesung Experimentalvorlesung 3 (Atome und Quanten)		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Biophysik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Klein	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Biophysik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (30 Min.) oder einer Klausur (90 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Strahlen- und Umweltbiophysik (Radiation and Environmental Biophysics)	V+Ü	1.5+0.5	3	Pf		X		
Summe		2	3					

<b>LEMIKRO</b>	<b>Licht- und Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung</b> (Light and Electron Microscopy with Image Processing)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p><i>Licht- und Elektronenmikroskopie:</i> Moderne Visualisierungsverfahren in Forschung und Entwicklung in Biologie und Medizin erfordern die Verschmelzung verschiedener mikroskopischer Verfahren. In der Vorlesung werden verschiedene mikroskopische Verfahren ausführlich dargestellt und ihr mathematischer und physikalischer Hintergrund detailliert erläutert. Wir bieten eine Einführung in Mikroskopietechniken, beginnend bei konventioneller Lichtmikroskopie und Fluoreszenzmikroskopie, und weiter zur Transmissionselektronenmikroskopie und -tomografie. Die Vorlesung wird begleitet von einem Praktikum, in dem die Studierenden die Entwicklung von Softwarealgorithmen in MATLAB und/oder C++ üben.</p> <p>Schlüsselworte: Lichtmikroskopie (verschiedene Anwendungen), Elektronenmikroskopie (verschiedene Anwendungen), Fourier-Transformation</p> <p>Modern visualization of samples in research and development in biology and medicine can only be performed through the merging of different microscopy methods. Here we offer a lecture, which comprehensively addresses several microscopy techniques, and explains their physical and mathematical background in detail. We give a comprehensive introduction to microscopy techniques, starting from conventional light microscopy and fluorescence light microscopy and proceeding to transmission electron microscopy and tomography. Accompanying to the lecture we run a practical course to train students in the development of new software algorithms on platforms like MATLAB and/or C++.</p> <p>Keywords: light microscopy (various applications), electron microscopy (various applications), Fourier transform</p> <p><i>Licht- und Elektronenmikroskopie: Bildverarbeitung mit MATLAB:</i> Moderne Visualisierungsverfahren in Forschung und Entwicklung in Biologie und Medizin erfordern die Verschmelzung verschiedener mikroskopischer Verfahren. Begleitend zur Vorlesung <i>Licht- und Elektronenmikroskopie</i> bieten wir dieses Praktikum an, in dem die Studierenden die Entwicklung von Softwarealgorithmen in MATLAB und/oder C++ üben. Übungen für die Folgewoche werden eine Woche vorher ausgegeben. In den zwei Stunden des Praktikums werden die Algorithmen und Ergebnisse der Studierenden detailliert mit den Tutoren besprochen. Die Hausaufgaben sollen in der anschließenden Woche fertig bearbeitet sein, wonach sich die Schrittfolge wiederholt. Auf diese Weise wird die Komplexität der Algorithmen schrittweise erhöht und eine gute Lernerfahrung erreicht. Wir bieten technische und inhaltliche Beratung während der ganzen Woche, so dass alle Übungen erfolgreich bearbeitet werden können.</p> <p>Schlüsselworte: Lichtmikroskopie (verschiedene Anwendungen), Elektronenmikroskopie (verschiedene Anwendungen), Fourier-Transformation, MATLAB-Programmierung, C/C++ -Programmierung</p> <p>Modern visualization of samples in research and development in biology and medicine can only be performed through the merging of different microscopy methods. Accompanying to the lecture <i>Light and Electron Microscopy</i> we run this practical course to train students in the development of new software algorithms on platforms like MATLAB and/or C++.</p> <p>Exercises for the following week are given to the students one week ahead. In the two hours of the practical course, the algorithms and results of the students are being discussed in detail with the tutors. The students are expected to have finished their homework by the following week, where the procedure is repeated again. In this way we maintain a stepwise increase in the complexity of the algorithms, and a great learning experience. We offer support both in terms of hardware and consulting throughout the week, such that all exercises are completed successfully.</p> <p>Keywords: electron microscopy (various applications), light microscopy (various applications), Fourier Transform, MATLAB programming, C/C++ programming</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			

Mikroskopische Verfahren sind unerlässlich für Diagnose, Analyse und Untersuchung einer großen Vielfalt an Proben auf allen Auflösungsstufen, beginnend bei Molekülen, über einzelne Zellen hin zu kompletten Organismen.

Vorlesung: Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung eines breiten Spektrums moderner mikroskopischer Verfahren, wie sie in Forschung und Industrie eingesetzt werden. Nach der Vorlesung können die Studierenden die Anwendungsfelder, Ähnlichkeiten und Unterschiede dieser Verfahren benennen.

Darüberhinaus sind die Studierenden in der Lage, die richtigen Methoden für eine gegebene Anwendung auszuwählen und zu kombinieren; sie verstehen die Einschränkungen bei der Probenpräparation und können selbstständig Experimente für medizinische und biologische Fragestellungen entwerfen.

Praktikum: Die Themen der Vorlesung werden im praktischen Kurs vertieft, in dem die Studierenden in moderne Softwareentwicklung eingeführt werden und lernen, mit modernen High-Level-Programmiersprachen wie MATLAB zu programmieren.

Microscopy methods are indispensable in diagnosis, analysis and investigation of a large variety of samples across the resolution scale, starting from molecules to single cells to complete organisms.

Vorlesung: The aim of the lecture is to teach a wide spectrum of modern microscopy techniques, as being used in cutting-edge research and industry. At the end of this lecture the students should be able to understand the areas of application for the above-mentioned techniques, their similarities and differences. Furthermore, the students should be able to choose and combine the proper technique for their specific application, understand the preparation caveats and being able to independently design experiments in order to address various medical and biological questions.

Praktikum: The topics of the lecture can be deepened in the accompanying practical course which trains the students in modern programming higher-level languages (e.g. MATLAB), and teaches them modern software development.

#### Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls

keine

#### Empfohlene Vorkenntnisse

Module VEX1A, VEX1B

**Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)** BSc Biophysik, MSc Biophysik / FB Physik

**Verwendbarkeit** BSc Biophysik, MSc Biophysik

**Häufigkeit des Angebots** jährlich

**Dauer** einsemestrig

**Modulbeauftragte / Modulbeauftragter** Frangakis

**Unterrichts- / Prüfungssprache** Englisch oder Deutsch

#### Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen

**Teilnahmenachweise** Praktikum: regelmäßige und erfolgreiche Teilnahme

**Leistungsnachweise** Vorlesung: gemäß Studienordnung Physik, unbenotet

**Prüfungsvorleistungen** Erbringen aller Teilnahme- und Leistungsnachweise

**Lehr- / Lernformen** Vorlesung, Praktikum

#### Modulprüfung

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Licht- und Elektronenmikroskopie (Light and Electron Microscopy)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Licht- und Elektronenmikroskopie: Bildverarbeitung mit MATLAB (Light and Electron Microscopy: Image Processing with MATLAB)	P	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>IMPRO</b>	<b>Bildverarbeitung</b> (Image Processing)	<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4
<b>Inhalte</b>		
<p>Image processing is currently one of the most exciting fields of research and development. Modern imaging techniques used in medicine and biology are not possible without dedicated and highly specialized image processing algorithms and hardware. Meanwhile image processing is also essential in various fields such as social networks, intelligent car design, and the 3D movie industry.</p> <p>The lecture comprehensively addresses all basic image processing algorithms and provides the platform for designing new and improved ones. Both the mathematical background as well as the implementation is discussed. Given the great expertise of the Goethe University in imaging techniques, the algorithms will be associated to modern imaging methods like medical tomography, fluorescence light microscopy and transmission electron microscopy.</p> <p>Parallel to the lecture Image Processing, a lab class trains students in the development of new software algorithms on platforms like MATLAB and/or C/C++. Exercises for the following week are given to the students one week ahead. In the two hours of the lab class, the algorithms and results of the students are being discussed in detail with the tutors. The students are expected to have finished their homework by the following week, in which the procedure is repeated again. In this way we ensure a stepwise increase in the complexity of the algorithms and an optimized learning experience.</p> <p>Throughout the week we offer support both in terms of hardware and consulting, so that all exercises can be completed successfully.</p> <p>Topics include: Fourier Transform, Imaging Methods, Image Reconstruction Methods, Denoising methods, Image manipulation methods, MATLAB programming, C/C++ programming</p> <p>Bildverarbeitung ist gegenwärtig eines der spannendsten Gebiete in Forschung und Entwicklung. Moderne Bildgebungsverfahren in Medizin und Biologie sind ohne dezidierte und hoch spezialisierte Bildverarbeitungsalgorithmen und Hardware unmöglich. Mittlerweile ist Bildverarbeitung auch essentiell in so verschiedenen Gebieten wie sozialen Netzwerken, der Entwicklung intelligenter Automobile und der 3D-Filmindustrie.</p> <p>Die Vorlesung behandelt umfassend alle grundlegenden Bildverarbeitungsalgorithmen und legt die Basis für die Entwicklung neuer und verbesserter Algorithmen. Sowohl der mathematische Hintergrund als auch die Implementation werden diskutiert. Auf der Basis der großen Expertise der Goethe-Universität in bildgebenden Verfahren werden Anwendungen der Algorithmen in modernen Bildgebungstechniken wie der medizinischen Tomographie, der Fluoreszenzmikroskopie und der Transmissionselektronenmikroskopie vorgestellt.</p> <p>Parallel zur Vorlesung trainiert ein Praktikum die Studierenden in der Entwicklung neuer Algorithmen auf der Basis von Plattformen wie beispielsweise MATLAB und/oder C/C++. Aufgaben für die folgende Woche werden den Studierenden in der vorangehenden Woche gestellt. Während der zwei Praktikumsstunden werden die Algorithmen und Ergebnisse der Studenten im Detail mit den Tutoren diskutiert. Von den Studierenden wird erwartet, dass sie die Hausarbeiten in der folgenden Woche abgeschlossen haben, worauf sich dieser Zyklus wiederholt. Dadurch ergibt sich eine schrittweise Erhöhung der Komplexität der Algorithmen und eine optimierte Lernerfahrung. Während der gesamten Woche bieten wir Unterstützung durch Hardware und Beratung, so dass alle Übungen erfolgreich bearbeitet werden können.</p> <p>Themen beinhalten: Fourier-Transformation, Verfahren zur Bildgebung, Bildrekonstruktion, Entrauschen und Bildbearbeitung, MATLAB-Programmierung, C/C++-Programmierung</p>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>This module provides a comprehensive introduction to image processing. With increasing computing power image processing methods use sophisticated algorithms to accomplish a variety of tasks. As a result of this module, students know a variety of algorithms and ways of processing multidimensional images. In the lab class students become familiar with modern higher-level programming languages (e.g. MATLAB) and modern software development.</p> <p>Das Modul vermittelt umfassende Kenntnisse zur Bildverarbeitung. Mit zunehmender Rechenleistung verwenden Bildverarbeitungsmethoden hochentwickelte Algorithmen zur Lösung verschiedenster Aufgaben. Nach Absolvieren dieses Moduls beherrschen Studierende eine Reihe solcher Algorithmen sowie Verfahren zur Verarbeitung mehrdimensionaler Bilder. Im Praktikum machen sich Studierende mit modernen higher-level Programmiersprachen (z.B. MATLAB) und moderner Softwareentwicklung vertraut.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		

keine												
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>												
Module VEX1A, VEX1B												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>					BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>					BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>					jährlich							
<b>Dauer</b>					einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>					Frangakis							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>					Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>					regelmäßige Teilnahme am Praktikum							
<b>Leistungsnachweise</b>					erfolgreiche Teilnahme am Praktikum; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>					Erbringen aller Leistungsnachweise							
<b>Lehr- / Lernformen</b>					Vorlesung, Praktikum							
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Bildverarbeitung (Image Processing)					V	2	3	Pf		X		(X)
Praktikum Bildverarbeitung (Lab Class Image Processing)					P	2	3	Pf		X		(X)
Summe						4	6					

<b>VEBP</b>	<b>Einführung in die Biophysik</b> (Introduction to Biophysics)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Struktur, Dynamik und Funktion von Proteinen und Nukleinsäuren, z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik; Eigenschaften biologischer Membranen; Erregungsleitung; Reaktionsmechanismen; experimentelle Methoden zur Untersuchung von Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle; theoretische Methoden zu ihrer Beschreibung.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden erlangen Kenntnisse von Struktur und Aufbau biologischer Makromoleküle und Membranen (z.B. im Hinblick auf Molekulare Motoren, Informationsübertragung, Energiewandlung, Sensorik), von Grundlagen der Dynamik dieser Systeme, Grundlagen der Funktionen von Proteinen, Grundlagen der Reaktionskinetik, Grundlagen der Bioenergetik, von spektroskopischen Techniken, bildgebenden Techniken und Beugungstechniken zur Untersuchung von Struktur und Dynamik biologischer Makromoleküle. Die Studierenden können biophysikalische Zusammenhänge verstehen, diskutieren und Modelle zur Lösung von biophysikalischen Problemen einsetzen. Das Modul führt die Studierenden in die Biophysik ein und kann auf die Bachelorarbeit oder Masterarbeit vorbereiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Chemie Grundkenntnisse			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Bredenbeck		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Biophysik (Introduction to Biophysics)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf		X		(X)
Summe		4	5					

## 4 Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs: II) Unregelmäßig oder zweijährlich angebotene Module

### 4.1 Fachgebietsübergreifende Module

<b>VNUMP</b>	<b>Numerische Methoden der Physik</b> (Numerical Methods in Physics)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 5	
<b>Inhalte</b>			
Darstellung von Zahlen, Rundungsfehler; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Anfangswertprobleme; Einheitenbehaftete/dimensionslose Größen; Nullstellensuche, lösen nicht-linearer Gleichungen; Gewöhnliche Differentialgleichungen, Randwertprobleme; Lösen linearer Gleichungssysteme; Numerische Integration; Eigenwertprobleme; Verwendung numerischer Bibliotheken; Interpolation, Extrapolation, Approximation; Funktionsminimierung, Optimierung; Monte Carlo-Simulation statistischer Zustandssummen.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul vermittelt auf einer praktischen Ebene die wichtigsten numerischen Verfahren, die in physikalischen Rechnungen eingesetzt werden. Die Studierenden erlangen die Kompetenz, selbst Methoden zu implementieren und aus Programmbibliotheken kritisch die für ein Problem geeigneten Verfahren auszuwählen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Mathematische Kenntnisse etwa aus den Modulen VTH1-VTH4; Programmierkenntnisse in einer numerischen Sprache, etwa Fortran, Java, C, C++			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Wagner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Numerische Methoden der Physik (Numerical Methods in Physics)	V+Ü	3+2	6	Pf		X		
Summe		5	6					

<b>VHSTATP</b>	<b>Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht</b> (Advanced Statistical Physics: Many-body systems out of equilibrium)		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung, Keldysh-Formalismus, Funktionalintegral-Formulierung der Nicht-Gleichgewichts-Vielteilchentheorie, Quantenkinetische Gleichungen.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In der Vorlesung wird ein Überblick über die Statistische Physik von physikalischen Systemen im Nicht-Gleichgewicht gegeben. Die Vorlesung baut auf der einführenden Vorlesung in die Thermodynamik und Statistische Physik (VTH5) auf, in der in erster Linie Gleichgewichtsphänomene behandelt werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht (Advanced Statistical Physics: Many-body systems out of equilibrium)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		4	6					

<b>VCPSM</b>	<b>Computational Physics and Simulations in Matlab</b>		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Programmieren und Visualisieren in Matlab, numerische Simulationen physikalischer Fragestellungen: Ableitung und Integration, Optimierung and Minimierung, gewöhnliche Differentialgleichungen, chaotische Dynamik, Fraktale, Zufallsbewegungen, Eigenwertprobleme, Matrixzerlegungen, partielle Differentialgleichungen, Perkolations, Monte-Carlo-Methoden, neuronale Netze.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Im Rahmen des Tutoriums wird die Anwendung der vorgestellten Algorithmen auf konkrete physikalische Problemstellungen vermittelt. Dabei erlernen und verwenden die Studierenden die Programmierumgebung MATLAB, die auch bei geringen Vorkenntnissen effiziente Simulationen und Visualisierung ermöglicht.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundlagen der Analysis und der linearen Algebra, sowie der Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1-2</i> , insbesondere Newton- und Hamilton-Mechanik, Phasenraum, Wellengleichung.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Hofstetter		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; im Fall von Studierenden des MSc Physik mit Schwerpunkt *Computational Physics* und von Studierenden des BSc Physik, die sich dieses Modul für das Pflichtmodul *Programmierpraktikum für Physiker* anrechnen lassen wollen, sowie auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Computational Physics and Simulations in Matlab	V+Ü	3+3	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		6	6					

<b>VCADS</b>	<b>Complex Adaptive Dynamical Systems</b>		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
<p>Foundations Graph Theory, Information Theory, Neural Networks, Bifurcation Theory, Game Theory, Branching Theory, Cognitive System Theory</p> <p>Models Small-World Network, Cellular Automata, Boolean Networks, Sandpile Model, Kuramoto Model, Quasispecies Model, Galton-Watson Process</p> <p>Phenomena Self-Organized Criticality, Deterministic Chaos, Stochastic Resonance and Escape, Synchronization, Dynamical Phase Transitions, Error Catastrophy, Small-World Phenomenon</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>The course aims to convey the basics of modern dynamical systems theory for complex systems. An overview of the most important concepts, phenomena and models is presented. The treatment of the models is performed step by step, all mathematical tools required are introduced and explained. Diese Lehrveranstaltung wird je nach Wunsch der Studierenden auf Englisch oder Deutsch angeboten.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Einführende Vorlesungen in die Mathematik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	zweijährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Gros		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Complex Adaptive Dynamical Systems	V+Ü	4+2	8	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		6	8					

<b>VIQMPT</b>	<b>Introduction to Quantum Many-Particle Theory</b> (Einführung in die Vielteilchentheorie)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>many-particle states and operators; Hartree-Fock approximation, correlation (Part I); 2nd quantization, Fock space; pictures in quantum theory; linear response; Green's functions, equations of motion for Green's functions; perturbation theory; Dyson equations, irreducible functions; Hartree-Fock approximation, correlation (Part II), conserving approximations.</p> <p>Vielteilchenzustände und -operatoren; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil I); 2. Quantisierung, Fockraum; Bilder in der Quantenmechanik; Lineare Antwort; Greensfunktionen und ihre Bewegungsgleichungen; Störungstheorie; Dyson-Gleichung, irreduzible Funktionen; Hartree-Fock Näherung, Korrelation (Teil II); erhaltende Näherungen.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>In this module students acquire a basic understanding of many-particle wave functions and operators, as well as of standard methods for studying the properties of many-particle systems. In particular, students become familiar with the fundamental differences between single- and many-particle systems (Pauli and Coulomb correlation) and make first contact with alternatives to the Schrödinger equation for dealing with quantum systems. In the tutorial students learn to translate the general many-body formalism to specific systems and gain versatility in explicitly calculating many-body matrix elements and Green's functions.</p> <p>The course is fully self-contained and emphasizes the structural and formal aspects of many-particle theory, rather than particular many-body systems. It is directly based on the mandatory theory courses <i>Theoretische Physik I-IV</i> and does not require additional preparation. Explicit examples are drawn from electronic structure theory, the material is, however, also relevant for atomic, molecular and nuclear physics. The module prepares students for attending more advanced theory courses which then lead to research projects in this field.</p> <p>Die Studierenden entwickeln ein grundlegendes Verständnis für Vielteilchenwellenfunktionen und -operatoren, sowie für Standardmethoden zur Untersuchung der Eigenschaften von Vielteilchensystemen. Insbesondere sind die Studierenden mit den fundamentalen Unterschieden zwischen Ein- und Vielteilchensystemen (Pauli und Coulomb-Korrelation) vertraut und kommen erstmals mit Alternativen zur direkten Lösung der Schrödinger-Gleichung bei der Diskussion von Quantensystemen in Kontakt. In den Übungen lernen die Studierenden, den allgemeinen Vielteilchenformalismus auf spezifische Problemstellungen zu übersetzen und gewinnen Erfahrung mit der Berechnung von Vielteilchenmatrixelementen sowie Greensfunktionen.</p> <p>Dieser Kurs ist in sich abgeschlossen und betont die strukturellen und formalen Aspekte des Vielteilchenformalismus, weniger dagegen die Physik konkreter Vielteilchensysteme. Er basiert unmittelbar auf den Pflichtmodulen <i>Theoretische Physik I-IV</i>, darüber hinausgehende Vorkenntnisse sind nicht erforderlich. Explizite Beispiele entstammen dem Gebiet der Elektronenstrukturtheorie, das Material der Vorlesung ist aber ebenso relevant in den Bereichen Atom-, Molekül- und Kernphysik. Das Modul bereitet Studierende auf die Teilnahme an fortgeschrittenen Lehrveranstaltungen in diesen Fachgebieten vor.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

<p>elementary quantum mechanics (single-particle wavefunctions, operators, Schrödinger equation, boundary conditions, spin, Coulomb interaction); basic elements of functional analysis (Hilbert space, complete and orthonormal basis sets).</p> <p>elementare Quantenmechanik (1-Teilchen-Wellenfunktionen, Operatoren, Schrödinger-Gleichung, Randbedingungen, Spin, Coulomb-Wechselwirkung); Grundelemente der Funktionalanalyse (Hilbertraum, vollständige und orthonormale Basen).</p>												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>					BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>					BSc Physik, MSc Physik, MSc Biophysik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>					unregelmäßig							
<b>Dauer</b>					einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>					Engel							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>					Englisch oder Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>					regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>					erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>					Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>					Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
									1	2	3	4
Introduction to Quantum Many-Particle Theory					V+Ü	2.5+1.5	5	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe						4	5					

<b>VMCM</b>	<b>Monte Carlo Methoden in der Statistischen Physik und Feldtheorie</b> (Monte Carlo methods in statistical physics and field theory)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Markov-Ketten (Sampling, Detaillierte Balance, Statistische Datenauswertung), Algorithmen (Metropolis, Cluster, Worm, Heatbath), Statistische Modelle (Harte Kugeln, Spin Systeme, Dimer Systeme, Bose Gas), Kritische Phänomene (Phasenübergänge, Skalenanalyse)			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul soll den Studenten die Grundlagen zur Theorie der Markov-Ketten und deren statistischen Auswertung vermitteln, und anhand einer großen Zahl von Modellen und praktischer Beispiele die Studenten befähigen, selbständig Monte Carlo Algorithmen zu entwickeln. Die Modelle sind derart ausgewählt, dass an ihnen exemplarisch Teilgebiete der statistischen Physik und Quantenfeldtheorie behandelt werden können, und an denen die Funktionsweise bestimmter Monte Carlo Algorithmen gut herausgearbeitet werden können.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 4-5</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philippen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Monte Carlo Methoden in der Statistischen Physik und Feldtheorie (Monte Carlo methods in statistical physics and field theory)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VBRAIN</b>	<b>Brain Dynamics: From Neuron to Cortex</b>		<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Brain dynamics is described at the level of single neurons, microcircuits, and global cortical dynamics. Beginning from the discussion of harmonic oscillators, we introduce the basic knowledge needed to describe spiking dynamics of neurons. This is then used to classify neurons according to different spiking behaviors. We then describe universal architectural aspects of microcircuits that connect the single neurons into functional substructures. Finally, we describe generation, stability, and possible functionality of cortical oscillations. The latter are observed in the context of cognitive processing.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Dynamical systems theory is central for understanding brain processes. This course gives an introduction to modeling brain activity with dynamical systems, ranging from the firing and bursting of single neurons up to collective neural dynamics occurring during cognitive processes. This course should enable the student to apply concepts of dynamical systems theory to model the discussed fundamental mechanisms and functionalities of activities in the brain.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Die Teilnehmer sollten ein grundsätzliches Verständnis für Differentialgleichungen haben auf dem Niveau, das etwa in den grundlegenden Vorlesungen der Theoretischen Physik (insb. Mechanik) vermittelt wird.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Triesch		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Brain Dynamics: From Neuron to Cortex	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

<b>VVISY</b>	<b>Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function</b>		<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Electromagnetic spectrum and light as visual stimulus; structure of eye, retina, and optic nerve; the thalamus as relay station to cortex and recurrent modulator; primary and secondary visual cortex; hypercolumns as modules of information processing; microcircuits; what- and where-paths; feedback connections; maps of cortical visual areas in monkey and human; representations of color, form, motion, and location; analysis of semantic categories; attention; psychological theories; capacity of working memory; visual search, illusory conjunctions, and binding problem; distractor interference phenomena; priming; attentional gating of information flow; oscillations and synchrony.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
The visual system, as a sensory system of the brain, is crucial for our perception of the world. The course aims at connecting the physiological level of neurons, cortical microcircuits and anatomy of the brain with the psychological level of visual cognition.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Einführende Vorlesungen in die Mathematik und Physik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Triesch		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Visual System – Neural Structure, Dynamics, and Function	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

<b>VSRT</b>	<b>Spezielle Relativitätstheorie</b> (Special Relativity)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vierer-Vektoren, relativistische Kinematik, Anwendungsbeispiele</li> <li>• Lorentz-Transformation, Poincare-Gruppe, Noether-Theorem</li> <li>• Relativistische Formulierung der Elektrodynamik und Hydrodynamik</li> <li>• Einführung in relativistische Wellengleichungen</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul soll einen souveränen Umgang mit Vierer-Vektoren und relativistischen Phänomenen vermitteln. Die kovariante Formulierung der Mechanik, Elektrodynamik und Quantenmechanik werden in detaillierterer Form erlernt als das in der Grundvorlesung vorgesehen ist. Die mathematischen Grundkenntnisse werden auf Beispiele angewendet. Die im Modul vermittelten Kenntnisse sollen den Teilnehmern den Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Elementarteilchen- und Kernphysik ermöglichen und dienen als Grundlage für die Beschäftigung mit der höheren Quantenmechanik, Quantenfeldtheorie und der allgemeinen Relativitätstheorie.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-2</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Petersen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Spezielle Relativitätstheorie (Special Relativity)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

<b>VEHLF1</b>	<b>Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1</b> (Extended Hamilton-Lagrange Formalism in Point Mechanics and Field Theory 1)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>Rückblick gewöhnlicher Hamilton-Lagrange-Formalismus, Erweiterung, so dass die Zeit von einem Parameter zu einer dynamischen Variablen wird, erweiterte, kanonische Transformation, Beispiele: Lorentz-Transformation, verallgemeinertes Noether Theorem, Anwendung: relativistisches Pfadintegral, Hamilton-Lagrange Formalismus in der Feldtheorie: kanonische Transformationen, Poisson-Klammern, Liouville-Theorem, Anwendung: Noether Theorem in der Feldtheorie, Eichtheorien, Feynman Formalismus, Ausblick: Erweiterte kanonische Transformationen in der Feldtheorie (dynamische Raumzeit)</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennenlernen der explizit kovarianten Erweiterung des Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie; Behandlung der Zeit als dynamische Variable anstelle der Newtonschen absoluten Zeit; Punktmechanik: Aufbau einer kanonischen Transformationstheorie, welche die Zeit relativistisch korrekt mittransformiert, Feldtheorie: Aufbau einer kovarianten, kanonischen Transformationstheorie in welcher Raum- und Zeitkoordinaten gleichberechtigte dynamische Variable sind; Formulierung von Eichtheorien als kanonische Transformationen; Übergang zur Quantenfeldtheorie</li> <li>• im Gegensatz zur gängigen Herangehensweise an dieses Thema werden keine differentialgeometrischen Methoden verwendet, durchgängige Verwendung mathematischer Methoden der Tensoranalysis, enger Bezug zum „Prinzip der kleinsten Wirkung“ und dem „Prinzip der Eichinvarianz“</li> <li>• zusätzliche Fähigkeiten und Kompetenzen: Entwicklung physikalisch-analytischer Fähigkeiten, Methoden der mathematische Physik, Verständnis für den Aufbau physikalischer Theorien auf der Grundlage abstrakter Prinzipien (Wirkungsprinzip, Eichprinzip).</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundlagen des klassischen Lagrange- und Hamiltonformalismus, Vektoranalysis, Lineare Algebra, Basiswissen Tensoranalysis			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		

<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1 (Extended Hamilton-Lagrange Formalism in Point Mechanics and Field Theory 1)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VEHLF2</b>	<b>Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 2</b> (Extended Hamilton-Lagrange Formalism in Point Mechanics and Field Theory 2)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Rückblick Erweiterter Hamilton-Lagrange-Formalismus der Punktmechanik, erweiterte, kanonische Transformation, Beispiele: Lorentz-Transformation. verallgemeinertes Noether Theorem. Anwendung: relativistisches Pfadintegral, Hamilton-Lagrange Formalismus in der Feldtheorie: kanonische Transformationen, Poisson-Klammern, Liouville-Theorem, Anwendung: Noether Theorem in der Feldtheorie, Eichtheorien Erweiterte kanonische Transformationen in der Feldtheorie (dynamische Raumzeit)			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennenlernen der explizit kovarianten Erweiterung des Hamilton-Lagrange Formalismus in der klassischen Feldtheorie; Formulierung von Eichtheorien als kanonische Transformationen; Übergang zur Quantenfeldtheorie</li> <li>• Im Gegensatz zur gängigen Herangehensweise an dieses Thema werden keine differentialgeometrischen Methoden verwendet, durchgängige Verwendung mathematischer Methoden der Tensoranalysis, enger Bezug zum „Prinzip der kleinsten Wirkung“ und dem „Prinzip der Eichinvarianz“</li> <li>• Die kovariante Eichtheorie werden dahingehend erweitert, dass auch die Raumzeit als dynamische Variable behandelt wird. Die Inhalte dieses Moduls stellen einen neuen Ansatz in dieser Thematik dar, der an vielen Stellen die Möglichkeit weiterer Ausarbeitungen in Form von BA, MA und Diss-Arbeiten bietet.</li> <li>• Zusätzliche Fähigkeiten und Kompetenzen: Entwicklung physikalisch-analytischer Fähigkeiten, Methoden der mathematische Physik, Verständnis für den Aufbau physikalischer Theorien auf der Grundlage abstrakter Prinzipien (Wirkungsprinzip, Eichprinzip).</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundlagen des klassischen Lagrange- und Hamiltonformalismus, Vektoranalysis, Lineare Algebra, Basiswissen Tensoranalysis			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		

<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 2 (Extended Hamilton-Lagrange Formalism in Point Mechanics and Field Theory 2)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSELFORG</b>	<b>Self-Organization: Theory and Simulations</b>		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
<p>The course will be a combination of lectures on complex system theory with a focus on self-organization, together with a computer lab. The lectures will treat topics like pattern formation in reaction-diffusion systems, opinion dynamics, swarm intelligence, Darwinian evolution and cognitive system theory. An introduction to dynamical system theory will be given, including bifurcation theory, chaos and dissipative systems. In the computer lab an introduction to programming in general will be given and students are expected to write their own codes and to perform then a series of simulations for self-organizing systems.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>To comprehend the basics of the complex system theory and the principles leading to self-organizing processes in physics and nature. Both an analytic and mathematical understanding and the capability to perform numerical simulations and experiments testing the respective phenomena.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
The physics basic math knowledge			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc/MSc Physik, BSc/MSc Biophysik, BSc/MSc Meteorologie		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Gros		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Self-Organization: Theory and Simulations	V+Ü	4+2	8	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		6	8					

<b>VNGTD</b>	<b>Nichtgleichgewichtsthermodynamik</b> (Non-equilibrium thermodynamics)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Terminologie stochastischer Prozesse (Gauß'scher Prozess, Markov-Prozess), Transportprozesse (Brownscher Prozess, Langevin-Gleichung, Fokker-Planck-Gleichung, Boltzmann-Gleichung), (ggf. kl. Hierarchien von Korrelationen, Nicht-Gleichgewichts-Vielteilchentheorie), random walk to finance, modelling of risk free financial market (classical option pricing, Black-Scholes equation)			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe von stochastischen Prozessen in der (theoretischen) Physik. Die Studierenden wissen im Besonderen um die Bedeutung von Gauß'schen Prozessen und speziell um die Bedeutung eines Wiener Prozesses. In der Physik können die Studierenden nun nach erfolgreicher Belegung des Kurses die verschiedenen bekannten dynamischen Konzepte als Markov-Prozesse formulieren, wie die Master-Gleichung, die Fokker-Planck-Gleichung, die Langevin-Gleichung und die Boltzmann-Gleichung. Die Studierenden sind in der Lage, diese Konzepte für verschiedene Fragestellungen mittels der vielen Beispiele des Kurses und der Übungen anzuwenden, wie das Erreichen vom thermodynamischen Gleichgewicht eines Systems, die Begründung des H-Theorems, die Beschreibung von (einfachen) Birth- and Death- Populationen, die Transporteigenschaften von Systemen uvm. Die Studierenden können die erlernten Methodiken der stochastischen Prozesse auch in die Ökonomie (Écophysis") übertragen und anwenden: Sie kennen die Bedeutung von Levy-Verteilungen zur Betrachtung der Fluktuationen von Preisen von Aktien, und sie verstehen die zeitliche Dynamik (Black-Scholes-Gleichung) zur Berechnung der Preise von Optionen als einem effektiven Fokker-Planck-Prozess. Die Studierenden sind nun in der Lage, sich selbständig in die einschlägige fortführende Literatur und in wissenschaftlichen Publikationen einzuarbeiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module <i>Quantenmechanik</i> , <i>Statistische Mechanik</i> (bedingt), <i>Höhere Quantenmechanik</i> (bedingt)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Greiner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Nichtgleichgewichtsthermodynamik (Non-equilibrium thermodynamics)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VCPPML</b>	<b>Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning</b>		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Einführung in Linux und C++; Datentypen, Kontrollfluss, Exceptions, Pointers, Funktionen, Templates, Klassen, Konstruktoren, Destruktoren, Vererbung, String- und Filestreams, IO Manipulation, Containers, Assoziative Datenstrukturen. Zusätzlich werden die grundlegenden numerischen Methoden und Konzepte behandelt wie Summation, Rekursion, Stabilität, Auswertung von Integralen, Lösung von Differentialgleichungen, das Runge-Kutta Verfahren, Elimination, Gauss Verfahren, Monte Carlo- und Metropolis Verfahren. Weiterhin wird eine Einführung in die grundlegenden Konzepte des Maschinellen Lernens gegeben, wie überwachtes, nicht-überwachtes und verstärktes Lernen, Klassifikation, Regression, Klustering, Dimensionalitätsreduktion und Neuronale Netze.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Für den Physiker ist es wichtig, sich in jeder Programmier-Umwelt zurechtzufinden, sei es wissenschaftliches Rechnen, Web-Programmierung oder Maschinelles Lernen. Ziel der Vorlesung ist es, das hierfür notwendige Basiswissen zu vermitteln. Dafür soll das eigenständige Programmieren in C++ anhand von Übungen und von größeren numerischen Projekten erlernt werden. Mit den Grundlagen numerischer Methoden und vom Maschinellen Lernen soll die Fähigkeit erworben werden, moderne Programmpakete nicht nur zu benutzen, sondern auch zu verstehen nach welchen Prinzipien diese arbeiten.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
keine			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik (kann anstelle des Pflichtmoduls PPROG absolviert werden), MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Gros		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; erfolgreicher Abschluss von Programmierprojekten		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning	V+Ü	4+2	8	Pf	X		(X)	
Summe		6	8					

<b>VKMTP</b>	<b>Konzepte der modernen theoretischen Physik</b> (Concepts of modern theoretical physics)				<b>CP</b> <b>3</b>							
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2								
<b>Inhalte</b>												
Darstellung übergreifender Zusammenhänge in der Physik an Beispielen aus der Mechanik, Elektrodynamik, und Quantenmechanik. Grundlegende Einführung und Vertiefung der Begriffe der speziellen Relativitätstheorie und in Symmetrien und Gruppen am Beispiel der Rotationsgruppe und der Lie-Gruppen. Formulierung der Theorien im (relativistischen) Lagrangeformalismus.												
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>												
Die Studierenden lernen die gemeinsamen Grundlagen verschiedener Theorien kennen. Sie erwerben einen übergeordneten Überblick über die Teilbereiche der klassischen Physik. Sie vertiefen ihre Kompetenz im Bereich der speziellen Relativitätstheorie und im Bereich der Symmetrien.												
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>												
keine												
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>												
Grundlagen der Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik. Grundkenntnisse der speziellen Relativitätstheorie.												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik								
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik								
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				unregelmäßig								
<b>Dauer</b>				einsemestrig								
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Bleicher								
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Deutsch oder Englisch								
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine								
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet								
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht								
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung								
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>							
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4				
Konzepte der modernen theoretischen Physik (Concepts of modern theoretical physics)					V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe						2	3					

<b>VQI</b>	<b>Quantenwahrscheinlichkeit und Informationsverarbeitung</b> (Quantum probability and information processing)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p><i>Wahrscheinlichkeit und Information in der Quantentheorie:</i> Logik, klassische Wahrscheinlichkeitstheorie, Wahrscheinlichkeiten in der Quantentheorie, Kochen-Specker-Theorem, Geometrie des Zustandsraums, empirische Rekonstruktion von Quantenzuständen, Entropie und Information, Holevo-Schranke, Gibbs-Modelle, Optimierung der Beschreibungsebene, Symmetrien, Informationsübertragung mit und ohne gemeinsame Bezugssysteme</p> <p><i>Quantencomputer:</i> Qubits, Quantengatter, Schaltkreise, no-cloning-Theorem, Bell-Zustände, Verschränkung, Quanten-Teleportation, dense coding, Deutsch-Algorithmus, Fehlerkorrektur, Shor-Code, Quantenkryptografie, BB84-Protokoll, Quanten-Fouriertransformation, Faktorisierung (Shor-Algorithmus), Grover-Iteration, Datenbanksuche, experimentelle Realisierung, DiVincenzo-Kriterien, nichtlineare Optik, optische Kavitäten, Ionenfallen, Kernspinresonanz, Einweg-Quantencomputer</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Das Modul führt in die Grundlagen der klassischen und quantenmechanischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie ein sowie in die modernen Forschungsgebiete der Quanteninformationsverarbeitung, der statistischen Rekonstruktion von Zuständen und Prozessen sowie der Thermodynamik kleiner Systeme. Nach Absolvieren des Moduls kennen Studierende die Bedeutung von Wahrscheinlichkeit und Information für das moderne Verständnis der Quantentheorie sowie deren Ähnlichkeiten und Unterschiede zur klassischen Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie. Studierende sind in der Lage, einfache Quanten-Schaltkreise zu skizzieren und deren Funktionsweise zu erläutern. Insbesondere beherrschen Studierende die grundlegenden Protokolle zur Fehlerkorrektur, zur sicheren Verteilung kryptografischer Schlüssel, zur effizienten Faktorisierung sowie zur effizienten Datenbanksuche. Darüber hinaus sind Studierende mit den Möglichkeiten der Realisierung in realen physikalischen Systemen vertraut. Die Lehrveranstaltungen sind interaktiv und ermuntern die Teilnehmer zu aktiver Diskussion. Sie stärken somit über die reine Wissensvermittlung hinaus die Fähigkeit der Studierenden zur Argumentation und zur kritischen Auseinandersetzung mit physikalischen Fragestellungen.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Module Theoretische Physik 4–5 (Quantenmechanik, Statistische Mechanik), im Besonderen: Wellenfunktion, Hilbertraum, Schrödingergleichung, quantenmechanische Messung, Pauli-Matrizen, Dichtematrix, Entropie, statistische Ensembles			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	zweisemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Hofstetter		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		

<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesungen							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Wahrscheinlichkeit und Information in der Quantentheorie (Quantum probability and information)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Quantencomputer (Quantum computing)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		4	6					



<b>VENER- GNET</b>	<b>Complex Renewable Energy Networks</b>		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Physics of renewable energy generation (including weather-dependent modeling); stochastic modeling; physics of general complex networks; system design; power transmission; storage; physics of coupled networks; the role of energy in society.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
1) Objective of the course: The theory of complex networks is crucial for the understanding of many physical systems. With regard to energy supply, renewable energies are going to play the key role in the transition from today's fossil based energy system to tomorrow's sustainable energy system. This course will give a quick overview of the basics of complex and coupled networks, the most important renewable energy sources, and will discuss at length their interplay in a future networked energy system. The emphasis will be on the generic physical principles and the mathematical methods more than on the details of the technological implementations.			
2) Learning outcomes (solo taxonomy): After the completion of the course the student will have obtained basic knowledge of the physics of complex and coupled networks and is expected to be able to:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• describe and explain the important characteristics of the energy resources covered by this course</li> <li>• critically evaluate models for proposed energy systems based on renewable energies</li> <li>• do model calculations for power systems based on renewable energies</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Basic mathematics; courses on Fluid Dynamics and Networks are not required, but useful.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schramm		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Complex Renewable Energy Networks	V+Ü	2+1	4	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		3	4					

<b>VThERA</b>	<b>Thermodynamik im Alltag</b> (Thermodynamics in everyday life)			<b>CP</b> <b>3</b>					
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>									
Die Vorlesung beleuchtet eine Reihe von alltäglichen Phänomenen und Konstrukten unter thermodynamischen Gesichtspunkten, z.B.: Wärmebilanz von Lebewesen, Temperatur der Atmosphäre, Kältemaschinen, Verbrennungsmotoren, Wärmetauscher, Kochen, Sterne, Planeten									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Tieferes Verständnis der in der Experimentalphysik 1 gelegten Grundlagen der Thermodynamik und wichtiger Anwendungen. Die Studierenden sollten nach der Vorlesung in der Lage sein, viele der uns umgebenden Phänomene mit den Methoden der Thermodynamik zu beschreiben.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1a: Mechanik, Experimentalphysik 1b: Thermodynamik</i>									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		unregelmäßig							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Reifarth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
						<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Thermodynamik im Alltag (Thermodynamics in everyday life)		V	2	3	Pf		X		(X)
Summe			2	3					

<b>VKOED</b>	<b>Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie</b> (Covariant Electrodynamics and Special Theory of Relativity)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Einführung des Feldstärketensors, kovariante Maxwell-Gleichungen; Lagrange-Formalismus für Teilchen und Felder; Noether-Theorem; Energie-Impuls-Tensor; Einführung in relativistische Wellengleichungen; kovariante Formulierung des elektromagnetischen Strahlungsfeldes; Lienard-Wiechert-Potentiale und Bremsstrahlung; Weizsäcker-Williams-Methode und Photonenspektrum			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte der Elektrodynamik in einer kovarianten, relativistischen Beschreibung. Sie beherrschen die Grundzüge der Tensoralgebra, die mathematische Formulierung auf dem Minkowski-Raum und die relativistischen Transformationen der Systemgrößen betrachtet aus verschiedenen Bezugssystemen sind den Studierenden offensichtlich. Nach der erfolgreichen Belegung des Moduls wissen die Studierenden, dass sich die Maxwell-Gleichungen zwanglos aus einer einfachen relativistischen klassischen Feldtheorie ergeben. Auf der Basis der vielen Beispiele aus der Vorlesung und den Aufgaben der Übungen ist den Studierenden der Umgang mit dem relativistischen Potential zur Berechnung des Feldstärke-Tensors und des Energie-Impulstensors für verschiedenste Fragestellungen der Elektrodynamik nun völlig vertraut. Die Studierenden können jetzt auch elektromagnetische Strahlungsphänomene mittels der kovarianten Darstellung der Lienard-Wiechert Potentiale vollständig relativistisch beschreiben. Die Studierenden sind am Schluss in der Lage, sich selbständig in die einschlägige fortführende Literatur einzuarbeiten. Die erfolgreiche Belegung der Vorlesung bereitet die Studierenden insbesondere auf die Konzepte der Allgemeinen Relativitätstheorie und von relativistischen Quantenfeldtheorien vor.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 2: Klassische Mechanik, Theoretische Physik 3: Elektrodynamik</i> , Grundkenntnisse der speziellen Relativitätstheorie			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Greiner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	aktive Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie (Covariant Electrodynamics and Special Theory of Relativity)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VMSDA</b>	<b>Modern Statistical Data Analysis for Practitioners</b>		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>We introduce the basics of probability theory, classical statistics, and classical error analysis (p-values, confidence intervals), which serves as the starting point to explore modern methods of statistics (Maximum Likelihood, Bayes). We use these methods to extract information from noisy data through (non-)linear parameter estimation (fitting) and model comparison. We show how to analyze data containing dynamical information by time series analysis (correlation functions, error analysis) and Markov-Chain models and kinetic models described by rate equations.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>The overarching goal is to equip the students with the necessary statistical tools to extract information from noisy data reliably and with quantified uncertainties. The students should be able to identify the common pitfalls of statistical data analysis in their own work and be able to critically assess the quality of published data and statistical analyses. These goals will be practiced in the practical course on real world examples.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Basic knowledge of physics and mathematics. Any experience in programming and Linux OS.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Biophysik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Biophysik, BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Hummer		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Modern Statistical Data Analysis for Practitioners	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf	X		(X)	
Summe		4	5					

## 4.2 Astrophysik und Kosmologie

<b>VEXTRA</b>	<b>Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme</b> (Structure and Dynamics of Extragalactic Systems)				<b>CP 3</b>							
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h			SWS: 2								
<b>Inhalte</b>												
Innere Struktur und Physik extragalaktischer Systeme (Galaxien, Galaxienhaufen, Intergalaktische Materie) sowie ihre räumliche Verteilung und Dynamik. Großräumige Struktur und Entwicklung des Kosmos. Relevante Beobachtungen und Modelle.												
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>												
Dieses Modul führt in die Beobachtungen und die theoretische Beschreibung der Materie im Universum jenseits unserer eigenen Galaxis ein, d.h. extragalaktische Galaxien, Galaxienhaufen und intergalaktische Materie. Zusammen mit den Modulen VGALAX und VSTERN erhalten die Studierenden einen Überblick über die Astronomie auf mehreren Größenskalen.												
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>												
keine												
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>												
Inhalt der Module Astronomie I und II												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik								
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik								
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				alle 3 Semester								
<b>Dauer</b>				einsemestrig								
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schaffner-Bielich								
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Deutsch								
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine								
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet								
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht								
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung								
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.), Hausarbeit oder Vortrag												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>							
	<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>				
Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme (Structure and Dynamics of Extragalactic Systems)					V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe						2	3					



<b>VGALAX</b>	<b>Struktur und Dynamik der Galaxis</b> (Structure and Dynamics of the Galaxy)			<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>								
Komponenten der Galaxis: Sterne, Sternhaufen, interstellare Materie, Magnetfelder, kosmische Strahlung, räumliche Verteilung, Kinematik und Dynamik, Interpretation von Beobachtungsdaten								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
In diesem Modul soll der gegenwärtige Wissensstand über die Galaxis, in der unsere eigene Sonne liegt, vermittelt werden. Dazu gehören sowohl ein Überblick über die Beobachtungen als auch die Diskussion der wichtigsten theoretischen Modelle, die die Entwicklung und heutige Struktur der Galaxis beschreiben. Zusammen mit den Modulen VEXTRA und VSTERN erhalten die Studierenden einen Überblick über die Astronomie auf mehreren Größenskalen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Module Astronomie I und II								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	alle 3 Semester							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.), Hausarbeit oder Vortrag								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Struktur und Dynamik der Galaxis (Structure and Dynamics of the Galaxy)	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

<b>VSTERN</b>	<b>Innere Struktur und Dynamik der Sterne</b> (Internal Structure and Dynamics of Stars)				<b>CP</b> <b>3</b>			
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
Grundprinzipien des Sternaufbaus, Zustandsgleichung, Energietransport, Energiequellen, Sterne auf der Hauptreihe, die Sonne, Nach-Hauptreihen-Entwicklung, Endstadien der Sternentwicklung, Pulsationen und Astroseismologie, Novae und Supernovae								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
In diesem Modul wird der gegenwärtige Stand der Kenntnis zum Aufbau und Entwicklung der Sterne behandelt. Dies erfordert die Diskussion der Beobachtungstatsachen, sowie die theoretischen Grundlagen für Modelle zur Entwicklung der Sterne, die grundlegende Kenntnisse aus mehreren Gebieten der Physik erfordern, so etwa Plasmaphysik, Hydrodynamik und Kernphysik. Zusammen mit den Modulen VEXTRA und VGALAX erhalten die Studierenden einen Überblick über die Astronomie auf mehreren Größenskalen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Module Astronomie I und II								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>			BSc Physik / FB Physik					
<b>Verwendbarkeit</b>			BSc Physik, MSc Physik					
<b>Häufigkeit des Angebots</b>			alle 3 Semester					
<b>Dauer</b>			einsemestrig					
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>			Schaffner-Bielich					
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>			Deutsch					
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>			keine					
<b>Leistungsnachweise</b>			Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet					
<b>Prüfungsvorleistungen</b>			Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht					
<b>Lehr- / Lernformen</b>			Vorlesung					
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.), Hausarbeit oder Vortrag								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>			
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4
Innere Struktur und Dynamik der Sterne (Internal Structure and Dynamics of Stars)	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

<b>VTHASTRO</b>	<b>Theoretische Astrophysik</b> (Theoretical Astrophysics)			<b>CP</b> <b>4</b>				
Kontaktstudium: 45 h		Selbststudium: 75 h		SWS: 3				
<b>Inhalte</b>								
Theoretische Grundlagen der Physik, Strahlung, Hydrodynamik, Plasmaphysik, Magnetohydrodynamik, Stellare Dynamik								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Dieses Modul führt in die theoretischen physikalischen Grundlagen zur Beschreibung von astrophysikalischen Prozessen und astronomischen Objekten ein und vermittelt den Zusammenhang zwischen abstrakter physikalischer Modellierung und modernen astrophysikalischen Anwendungen und Beobachtungen.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Grundkenntnisse in Astronomie und Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik				
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik				
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				unregelmäßig				
<b>Dauer</b>				einsemestrig				
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schaffner-Bielich				
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Deutsch				
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>				regelmäßige Teilnahme an den Übungen				
<b>Leistungsnachweise</b>				erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedet				
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht				
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung, Übung				
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					Semester			
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4
Theoretische Astrophysik (Theoretical Astrophysics)	V+Ü	2+1	4	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		3	4					

<b>VHYMAG</b>	<b>Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics</b>		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>On the fluid approximation, Newtonian kinetic theory, The Boltzmann equation, The H-theorem, The moment equations, The Maxwell-Boltzmann equilibrium distribution, The zero-order approximation: perfect fluids, The first-order approximation: non-perfect fluids, Relativistic kinetic theory, The relativistic Boltzmann equation, Relativistic transport fluxes, The relativistic moment equations, The general-relativistic hydrodynamic equations, Relativistic equilibrium distributions, The laws of thermodynamics, Equations of state, Kinematic properties of fluids, Kinematic shear, expansion and vorticity, Evolution laws of the kinematic quantities, Mass current and energy-momentum of perfect fluids, Hydrodynamics equations of perfect fluids, Stationary flows, Bernoulli's theorem, Irrotational flows, Vorticity, Irrotational flows, Kelvin-Helmholtz theorem, Isentropic flows, Hyperbolic systems of partial differential equations, Quasi-linear formulation, Conservative formulation, Linear and nonlinear behaviour, Characteristic equations for linear systems, Riemann invariants, Characteristic curves and caustics, Domain of determinacy and region of influence, Linear hydrodynamic waves, Sound waves, Nonlinear hydrodynamic waves, Simple waves and discontinuous waves, Rarefaction waves, Shock waves, Contact discontinuities, The Riemann problem, Introduction to plasmas, The magnetohydrodynamic equations, Flux-freezing condition, Magnetohydrostatic solutions, Hydromagnetic waves, Magnetic reconnection.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>At the end of the course the students will have been exposed to the basic concept of modern hydrodynamics and magnetohydrodynamics. Furthermore, with the discussion of the mathematical and computational techniques employed in the solution of the equations of hydrodynamics and magnetohydrodynamics, the students will be able to carry out quantitative studies employing the solution of these equations. Overall, the material in the course will provide all the necessary background for a successful research work in plasma physics and relativistic astrophysics.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Classical Mechanics			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rezzolla		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

<b>VASTBIO</b>	<b>Astrobiologie</b> (Astrobiology)			<b>CP</b> <b>6</b>				
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h		SWS: 4					
<b>Inhalte</b>								
Entstehung der Elemente, Chemie im Weltraum, Habitable Erde, Eigenschaften von Leben, Terrestrische Biochemie, Ursprung des Lebens, Leben im All, Exoplaneten								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Dieses Modul führt in die Beschreibung der Entstehung des Lebens im Universum ein und behandelt die Fragestellung nach möglichen extraterrestrischen Lebensformen. Es vermittelt dabei interdisziplinäre Denkweisen in der fachübergreifenden Verknüpfung von Physik, Chemie, Biologie und Geowissenschaften in der Astronomie.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
keine								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedigend							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Astrobiologie (Astrobiology)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		4	6					

<b>VDIST</b>	<b>Verteilungsfunktionen in der Astrophysik</b> (AGN distribution functions)		<b>CP</b> <b>2</b>
Kontaktstudium: 15 h	Selbststudium: 45 h	SWS: 1	
<b>Inhalte</b>			
<p>Definition thermodynamisches Gleichgewicht, Erläuterung der Verteilungsfunktion <math>dNp = (dgp)/(exp(-n + E/kT) \pm 1)</math> und verständliche mathematische Ableitung der Maxwell-, Boltzmann, Saha-Verteilung und der Planckfunktion, anschauliche Beispiele für die Besetzungszahlen verschiedener Energiezustände für die Boltzmann- und Saha-Verteilung, Ableitung des Stefan-Boltzmann Gesetzes aus dem Planck'schen Strahlungsgesetz, Rayleigh-Jeans und Wien-Näherungen des Planck'schen Strahlungsgesetzes, Beispiele für Entartung in der Astrophysik, Unterschiede zwischen dem thermodynamischen Gleichgewicht und dem lokalen thermodynamischen Gleichgewicht, Erläuterung der Lösung der Strahlungstransportgleichung in der Astrophysik und verständliche mathematische Ableitung von vier grundlegenden elektromagnetischen spektralen Energieverteilungen in Abhängigkeit von Strahlungsintensität und der optischen Tiefe der Materie im Universum.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>In diesem Modul lernen die Studierenden die wesentlichen Verteilungsfunktionen für Teilchen und Photonen im astrophysikalischen Kontext kennen. Die Gültigkeit und die mathematische Ableitung der einzelnen Verteilungsfunktion wird ausführlich diskutiert. Zusätzlich wird die Rolle der Abweichungen vom thermischen Gleichgewicht im Zusammenhang mit Lösungen der Transportgleichung diskutiert. Damit soll ein grundlegendes Verständnis der elektromagnetischen Strahlung im Universum und ihrer Wechselwirkung mit Materie vermittelt werden.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundkenntnisse der Physik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Verteilungsfunktionen in der Astrophysik (AGN distribution functions) (Blockveranstaltung, 5 Tage V3)	V	1	2	Pf		X		(X)
Summe		1	2					



<b>VA-STROKZK</b>	<b>Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung</b> (Astrophysical coordinate systems, calculation of times, calendrical calculations)		<b>CP 2</b>
Kontaktstudium: 15 h	Selbststudium: 45 h	SWS: 1	
<b>Inhalte</b>			
Astrophysikalische Koordinatensysteme und ihre Anwendung in der Astrophysik, Kalender und Zeitrechnung, Definition des Tages und des Jahres			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Beschreibung der in der Astrophysik verwendeten Koordinatensysteme: Horizontalsystem, äquatoriales Koordinatensystem, ekliptisches und galaktisches Koordinatensystem, Bedeutung in der Astrophysik. Definition des Jahres, des Frühlingspunktes, praktische Anwendung zur Definition des Jahres. Berechnung der Kalender von der Zeit 2000 v. Cr. bis heute. Erläuterungen des grundlegenden Wissens des Gebietes und Herausarbeitung der Bedeutung für die Astrophysik.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
Vorlesung Einführung in die Astrophysik			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltung <i>Einführung in die Astrophysik</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung (Astrophysical coordinate systems, calculation of times, calendrical calculations) (Blockveranstaltung, 3 Tage V3 + 2 Tage Ü2)	V	1	2	Pf		X		(X)
Summe		1	2					

<b>VPLANSYS</b>	<b>Dynamik des Planetensystems</b> (Dynamics of planetary system)			<b>CP</b> <b>2</b>					
Kontaktstudium: 15 h	Selbststudium: 45 h		SWS: 1						
<b>Inhalte</b>									
Stern- und Planetenentstehung, die Frühphase des Planetensystems, Komponenten und Vermessung des Planetensystems, Dynamik des Planetensystems, Ableitung der drei Kepler'schen Gesetze und astrophysikalisch relevante Anwendungen.									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Das Modul liefert einen umfassenden Überblick über die Entstehung, die Dynamik und die Physik unseres Planetensystems. Die Entstehung von Sonnen und Planeten durch Verletzung des Virialsatzes wird anschaulich abgeleitet. Außerdem wird die historische Entwicklung unserer Vorstellungen vom Planetensystem vorgestellt und einige weitere astrophysikalische Aspekte seiner Dynamik diskutiert.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Grundkenntnisse der Physik									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		unregelmäßig							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Schaffner-Bielich							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Dynamik des Planetensystems (Dynamics of planetary system) (Blockveranstaltung, 5 Tage V3)		V	1	2	Pf		X		(X)
Summe			1	2					

<b>VSTRAMA</b>	<b>Astrophysikalische Beschreibung von Strahlung und Materie</b> (Radiation and matter in astrophysics)			<b>CP</b> <b>2</b>				
Kontaktstudium: 15 h	Selbststudium: 45 h		SWS: 1					
<b>Inhalte</b>								
Beschreibung elektromagnetischer Strahlung, atomare Strahlungsprozesse, Streuprozesse in der Astrophysik, Absorption von Strahlung und Materie, Strahlungstransportgleichung und deren Lösung, Thermodynamisches Gleichgewicht und Strahlung, astronomische Helligkeits- und Farbsysteme.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Dieses Modul behandelt die Physik der Entstehung von Strahlung und ihrer Wechselwirkung mit Materie im Universum. Dabei werden die wichtigsten Emissions- und Absorptionsprozesse, der Transport von Strahlung und die thermodynamischen Grundlagen eingeführt.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Grundkenntnisse der Physik								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Astrophysikalische Beschreibung von Strahlung und Materie (Radiation and matter in astrophysics) (Blockveranstaltung, 5 Tage V3)	V	1	2	Pf		X		(X)
Summe		1	2					

<b>VFKOS</b>	<b>Fortgeschrittene Kosmologie</b> (Advanced Cosmology)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Korrelationsfunktionen und Leistungsspektrum in der Kosmologie, kosmologische Störungstheorie, kosmische Hintergrundstrahlung, Beobachtete Evidenzen für Dunkle Energie, Modelle für Dunkle Energie, Quintessenz und kosmische Skalarfelder, kosmologische Strukturbildung			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul werden vertiefte Kenntnisse der Kosmologie vermittelt. Im Vordergrund stehen dabei die Erweiterung der kosmologischen Betrachtung auf Strukturen im Universum, die über die uniforme Betrachtung im Rahmen des Kosmologie Modules auf Basis des kosmologischen Prinzips hinaus gehen. Dabei werden kosmologische Methoden zur Bestimmung von Korrelationen und des Leistungsspektrums der Kosmologie erarbeitet und Ansätzen zur großräumigen Strukturbildung im Universum gegenüber gestellt. Die Modellierung der Dunklen Energie mit feldtheoretischen Ansätzen werden mit kosmologischen Beobachtungen konfrontiert. Die Studenten erwerben Zusammenhänge zwischen der mikroskopischen Beschreibung der Materie und Dunklen Energie mit den makroskopischen kosmologischen Strukturen im Universum.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2</i> , <i>Theoretische Physik 1-5</i> , Kosmologie			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Fortgeschrittene Kosmologie (Advanced Cosmology)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VDAPA</b>	<b>Datenanalyse in Physik und Astronomie</b> (Data Analysis in Physics and Astronomy)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>In der Vorlesung werden die Grundlagen der Datenanalyse sowie die Anwendung statistischer Methoden auf Daten aus der Astronomie und anderen Gebieten vorgestellt.</p> <p>Der Kurs behandelt folgende Themen: Deskriptive Statistik, Fehler und Unsicherheiten, Fehlerfortpflanzung, Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, mathematische Statistik (induktive Statistik bzw. Inferenzstatistik), Datenglättung, Interpolationsverfahren, Regressionsanalyse, Multivariate Verfahren, Methode der kleinsten Quadrate, Korrelationsanalyse, Hypothesentests und Anpassungstests. Praktische Aspekte, wie Datenvisualisierung, Datenformate sowie die Arbeit mit realen Daten spielen eine wichtige Rolle. Bei ausreichend Zeit werden zusätzliche Themen wie Bildbearbeitung, astronomische Datenreduktion und andere vorgestellt.</p> <p>Vorlesungsinhalte werden oft anhand realer, astronomischer Daten vorgestellt. Die Inhalte der Vorlesung sind aber auf alle wissenschaftlichen Gebiete anwendbar.</p> <p>The lecture introduces the basic aspects of data analysis and the application of statistical methods to data in astronomy and other sciences.</p> <p>The course covers the following topics: Descriptive statistics, uncertainties and errors, error propagation, probability distributions, statistical inference, data smoothing, interpolation, regression, multivariate analysis, least-squares fitting, correlation analysis, hypothesis testing, correlation and testing fits. We will also cover practical aspects, such as plotting and presenting data, data formats, and work with real data. If time allows additional topics like image processing, astronomical data reduction, and others will be introduced.</p> <p>The course will often use real astronomical data or applications from astronomy, but the contents of the course are of course applicable to all physical sciences.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Studierende lernen die grundlegenden Konzepte gängiger statistischer Methoden und der Datenanalyse kennen und umzusetzen.</p> <p>Understanding of fundamental concepts of statistical methods and data analysis.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			

Mathematik für Studierende der Physik, Einführung in die Programmierung für Studierende der Physik, Grundlagen der Astronomie												
Die Übungen erfordern Zugang zu und sicheren Umgang mit Computern sowie Grundverständnis in einer Datenverarbeitungssoftware Ihrer Wahl (Origin, Excel, Matlab, Mathematica, R, ...) oder in einer Programmiersprache wie Python, Fortran, C, ...												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>					BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>					BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>					alle 3 Semester							
<b>Dauer</b>					einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>					Reifarth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>					Deutsch oder Englisch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>					keine							
<b>Leistungsnachweise</b>					Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>					Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>					Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Datenanalyse in Physik und Astronomie (Data Analysis in Physics and Astronomy)					V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe						2	3					



<b>VGWAV</b>	<b>Gravitationswellen</b> (Gravitational Waves)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Einsteinsche Feldgleichungen, linearisierte Theorie der Allgemeinen Relativitätstheorie, Geometrischer Zugang zu Gravitationswellen, Feldtheoretischer Zugang zu Gravitationswellen, Erzeugung von Gravitationswellen in linearisierter Theorie, Anwendungen (binäre Systeme, rotierende Körper, freier Fall in Schwarze Löcher, beschleunigte Massen), experimentelle Beobachtung von Gravitationswellen			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden lernen die Eigenschaften von Gravitationswellen der Allgemeinen Relativitätstheorie in einem geometrischen Zugang und komplementär innerhalb des Wellenbegriffes eines klassischen Feldes kennen. Sie können mögliche Quellen für die Produktion von Gravitationswellen benennen und einen Bezug zu astrophysikalischen Systemen herstellen. Sie verstehen die Prinzipien hinter der experimentellen Messung von Gravitationswellen und mögliche Methoden zur Detektion. Sie kennen die gegenwärtigen Beobachtungen von Gravitationswellen und wissen die Implikation dieser Messungen für die Eigenschaften von kompakten Objekten einzuschätzen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Theoretische Physik 1-3, Allgemeine Relativitätstheorie			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Schaffner-Bielich		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Gravitationswellen (Gravitational Waves)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		4	6					

<b>VQFTCS</b>	<b>Quantenfeldtheorie in gekrümmter Raumzeit</b> (Quantum field theory in curved space)				<b>CP</b> <b>3</b>			
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2				
<b>Inhalte</b>								
basis of quantum fields in curved spacetimes, quantum fields in expanding universes, Unruh effect, quantum fluctuations and inflation, quantum perturbations in the early universe, particle creation by black holes, Hawking radiation, black hole thermodynamics								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Studierende können den Mechanismus der Teilchenerzeugung in Form von Vorträgen einem breiten Publikum darstellen. Studierende erreichen eine neue Abstraktionsebene in Quantenfeldtheorie und allgemeiner Relativitätstheorie. Das Modul bereitet auf eine Bachelor- oder Masterarbeit in Theoretischer Physik vor.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Allgemeine Relativitätstheorie, Quantenfeldtheorie								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>				BSc Physik / FB Physik				
<b>Verwendbarkeit</b>				BSc Physik, MSc Physik				
<b>Häufigkeit des Angebots</b>				unregelmäßig				
<b>Dauer</b>				einsemestrig				
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>				Schaffner-Bielich				
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>				Englisch oder Deutsch				
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>				keine				
<b>Leistungsnachweise</b>				Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet				
<b>Prüfungsvorleistungen</b>				Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht				
<b>Lehr- / Lernformen</b>				Vorlesung				
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>Semester</b>			
	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	1	2	3	4
Quantenfeldtheorie in gekrümmter Raumzeit (Quantum Field Theory in Curved Spacetime)	V	2	3	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		2	3					

### 4.3 Kern- und Elementarteilchenphysik

<b>VLGT</b>	<b>Gittereichtheorie</b> (Lattice gauge theory)		<b>CP</b> 4
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Gitterdiskretisierung von skalaren Feldern, fermionischen Feldern und Eichfeldern; Kontinuumslikes; grundlegende Monte-Carlo-Simulationsalgorithmen (Metropolis, Heatbath, HMC); Berechnung typischer QCD-Observablen (Wilson-Loops und das statische Quark-Antiquark-Potential, Hadronmassen, Zerfallskonstanten); Hopping-Parameter-Expansion; Gitterstörungstheorie; Verbesserung von Gitterwirkungen und -operatoren.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Übergang von der analytisch-perturbativen zur numerisch-nichtperturbativen Auswertung von Quantenfeldtheorien, insbesondere am Beispiel der starken Wechselwirkungen. Neben theoretischen Kenntnissen Erwerb von praktischem Wissen und Programmierkenntnissen durch computerorientierte Übungen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Siehe VQFT1 und VQFT2 sowie Pfadintegrale, Theorie der starken Wechselwirkungen (QCD), elementare Programmierkenntnisse.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philippen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Gittereichtheorie (Lattice gauge theory)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSTATP</b>	<b>Statistische Physik und kritische Phänomene</b> (Statistical Physics and Critical Phenomena)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Phasenübergänge und kritische Phänomene, Ginzburg-Landau-Theorie für Phasenübergänge</li> <li>2. Ising-Modell und andere einfache Spinmodelle</li> <li>3. Renormierungsgruppe</li> <li>4. Monte-Carlo-Methoden</li> </ol>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Aufbauend auf den Grundvorlesungen über Theoretische Physik vermittelt das Modul vertiefende Kenntnisse über Phasenübergänge. Am Ende des Moduls können die Studierenden zur Beschreibung von kritischen Phänomenen geeignete Modelle heranziehen und das Konzept der Universalität auf kritische Phänomene in allen Bereichen der Physik anwenden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
siehe VQFT1 und VQFT2			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philipsen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Statistische Physik und kritische Phänomene (Statistical Physics and Critical Phenomena)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		4	6					

<b>VHYDRO</b>	<b>Hydrodynamik und Transporttheorie</b> (Hydrodynamics and Transport Theory)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
<p>Hydrodynamik der idealen Flüssigkeiten; Schallwellen; Schock- und Verdünnungswellen; Zerfall der Unstetigkeit; selbstähnliche Lösungen; Zustandsgleichung hochverdichteter Materie; Phasengleichgewicht; Deflagrations- und Detonationswellen; Instabilitäten; Navier-Stokes-Gleichung; Wärme- und Strahlungstransport; kinetische Gastheorie; Einteilchen-Verteilungsfunktion; Boltzmann-Gleichung; Zweierstöße.</p> <p>Hydrodynamics of ideal fluids; sound waves; shock and rarefaction waves; decay of discontinuity; self-similar solutions; equation of state of matter at high pressure; phase equilibrium; deflagration and detonation waves; instabilities; Navier-Stokes equation; heat and radiation transport; kinetic theory of gases; single-particle distribution function; Boltzmann equation; two-body collisions.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Das Modul vermittelt die Grundkonzepte der klassischen Strömungsmechanik als nichtlinearer Feldtheorie. Die Studierenden lernen die Grundgleichungen kennen und erwerben die Kompetenz, das Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen unter verschiedenen Bedingungen zu beurteilen und in typische Lösungsklassen einzuordnen. In der Transporttheorie wird die fundamentale Einsicht vermittelt, wie aus einer reversiblen mikroskopischen Physik irreversibles makroskopisches Verhalten etwa in der Boltzmann-Gleichung entstehen kann und die Kompetenz erlangt, lokales und globales Gleichgewicht sowie Nichtgleichgewichtsprozesse zu erkennen.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
klassische Mechanik, Vektoranalysis			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Tauschwitz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Hydrodynamik und Transporttheorie (Hydrodynamics and Transport Theory)	V+Ü	3+1	6	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		4	6					

<b>VSKTG1</b>	<b>Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht</b> (From quantum field theory to semi-classical transport equations I: many-body systems in equilibrium)		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; kanonische und Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Statistischer Operator; thermodynamisches Gleichgewicht im Matsubara-Imaginärzeit- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Störungstheorie und nichtperturbative Methoden bei endlichen Temperaturen; Anwendung auf den chiralen Phasenübergang in der Schwerionenphysik			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beherrschen die grundlegenden Konzepte der relativistischen Quantenfeldtheorie,</li> <li>• können den Formalismus auf Vielteilchensysteme im thermodynamischen Gleichgewicht anwenden,</li> <li>• beherrschen mathematische Methoden zur perturbativen und nichtperturbativen Berechnung von Green-Funktionen im Matsubara- und Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus,</li> <li>• beherrschen funktionale Methoden zur Regularisierung und Renormierung im 2PI-Formalismus,</li> <li>• kennen die wichtigsten Anwendungen in der relativistischen Schwerionenphysik (Quark-Gluon-Plasma, Mediummodifikationen, chiraler Phasenübergang).</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i> und <i>Höhere Quantenmechanik</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	van Hees		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen I: Vielteilchensysteme im thermischen Gleichgewicht (From quantum field theory to semi-classical transport equations I: many-body systems in equilibrium)	V	3	5	Pf	X		(X)	
Summe		3	5					

<b>VSKTG2</b>	<b>Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht</b> (From quantum field theory to semi-classical transport equations II: many-body systems out of equilibrium)		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Beschreibung von Vielteilchensystemen mittels der relativistischen Quantenfeldtheorie; Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus; Pfadintegral-Quantisierung relativistischer Feldtheorien; Kadanoff-Baym-Gleichungen; „Coarse-Graining“ und Gradientenentwicklung; Markov-Näherung; Quasiteilchennäherung; „Off-Shell-Transport“			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beherrschen die Grundlagen zur Beschreibung von Nichtgleichgewichtsprozessen im Schwinger-Keldysh-Realzeitformalismus,</li> <li>• können relativistische semiklassische Transportgleichungen mittels Coarse-Graining von Kadanoff-Baym-Gleichungen für Wigner-transformierte Green-Funktionen herleiten,</li> <li>• verstehen den Zusammenhang mit relativistisch-hydrodynamischen Beschreibungen von Vielteilchensystemen,</li> <li>• können die theoretischen Techniken auf die Beschreibung von relativistischen Schwerionenstößen anwenden.</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i> und <i>Höhere Quantenmechanik</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	van Hees		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Transportgleichungen II: Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht (From quantum field theory to semi-classical transport equations II: many-body systems out of equilibrium)	V	3	5	Pf		X		(X)
Summe		3	5					

<b>VTQFT</b>	<b>Thermische Quantenfeldtheorie</b> (Thermal quantum field theory)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>Pfadintegral und thermische Zustandssumme, „imaginary-time“ Formalismus, Störungstheorie, Feynmandiagramme und Temperatur, Skalar-, Dirac- und Eichfelder bei endlichen Temperaturen, Anwendungen im Standardmodell (QED, QCD), Phasenübergänge.  Optional: endliche Dichte, magnetische Hintergrundfelder, effektive Theorien; „real-time“ Formalismus, Resummation und Grenzen der Störungstheorie, Linear Response.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Ziel des Moduls ist eine Einführung der theoretischen Konzepte zur Beschreibung von thermischen Effekten in der Quantenfeldtheorie. Der sogenannte Pfadintegralformalismus der Quantenfeldtheorie ist die fundamentale Grundlage der modernen Elementarteilchenphysik. Diese Beschreibung wird bei endlicher Temperatur und Dichte bzw. magnetischen Hintergrundfeldern ausführlich diskutiert. Die theoretischen Konzepte werden anhand von einfachen Modellen explizit hergeleitet und für das Standardmodell (QED, QCD) angewendet. Wesentliche Ergebnisse und Beschreibungen, die für die experimentellen Beobachtungen relevant sind werden vorgestellt. Eine Vertiefung einzelner Aspekte erfolgt in weiterführenden Vorlesungen, wie zum Beispiel Gitter-Quantenfeldtheorie.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Quantentheorie I, Theoretische Physik 5, wünschenswert: Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Philippen		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Thermische Quantenfeldtheorie (Thermal quantum field theory)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSTAF</b>	<b>Statistische Feldtheorie</b> (Statistical Field Theory)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
kanonische und großkanonische Zustandssumme als Funktionalintegral; nichtwechselwirkende skalare Felder, Fermionen, Vektorfelder und Eichfelder im Imaginärzeitformalismus; wechselwirkende Felder in Störungstheorie, diagrammatische Entwicklung der Zustandssumme; vielteilchentheoretische Resummationsmethoden, 1PI- und 2PI-effektive Wirkung; Anwendungen für skalare Felder (Nambu–Jona-Lasinio–Modell), Suprafluidität und Supraleitung; Eichtheorien und Hard-Thermal-Loop–Approximation			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Ziel des Moduls ist eine Einführung in die theoretischen Konzepte der quantenfeldtheoretischen Beschreibung von Systemen bei nichtverschwindenden Temperaturen und Dichten. Die Quantenfeldtheorie ist die fundamentale Grundlage der modernen Elementarteilchenphysik. Im Standardmodell werden die wesentlichen Materiefelder und ihre Wechselwirkungen zusammengefasst. Die theoretische Beschreibung solcher elementaren Freiheitsgrade bei nichtverschwindenden Temperaturen und Dichten ist wichtig für unser Verständnis der Frühphase des Universums, der Dynamik von Schwerionenkollisionen, sowie des Inneren kompakter stellarer Objekte. Im ersten Teil der Vorlesung werden nichtwechselwirkende Systeme von Bosonen und Fermionen im Rahmen des Imaginärzeitformalismus behandelt. Im zweiten Teil werden wechselwirkende Systeme, zunächst im Rahmen der Störungstheorie und dann im Rahmen von vielteilchentheoretischen Resummations- und Näherungsverfahren behandelt. Ein zentraler Aspekt spielen dabei Übergänge von Phasen, in denen kontinuierliche Symmetrien spontan gebrochen sind, zu solchen, in denen sie durch thermische Fluktuationen restauriert werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Höhere Quantenmechanik, Einführung in die Quantenfeldtheorie (Teil I und II)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rischke		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Statistische Feldtheorie (Statistical Field Theory)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VDRIDE</b>	<b>Physik von Driftdetektoren</b> (Physics of Drift Detectors)		<b>CP</b> <b>5</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 90 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Grundlagen von Ionisation durch geladene Teilchen in Gasen, Photo-Absorptions Ionisations Modell, Energieverlustfluktuationen, Elektronen- und Ionendrift in elektrischen und magnetischen Feldern, Gasverstärkung, Signaleinkopplung, Positionsmessung. Teilchenidentifizierung durch Messung des spezifischen mittleren Energieverlusts. Impulsbestimmung im Magnetfeld. Statistische und systematische Limitierungen in realen Detektoren. Methoden zur Kalibrierung von großen Driftdetektoren.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Detaillierte Kenntnis der relevanten physikalischen Phänomene versetzt Studierende in die Lage, eigenständig reale Driftdetektorsysteme zu entwerfen und im Rahmen von Monte-Carlo Studien zu optimieren. Die Studierenden erlangen ein Verständnis für die komplexen Kalibrierungsschritte großvolumiger Detektoren. Das Modul bereitet Studierende für die Arbeit an kernphysikalischen Großexperimenten vor. Simulation, Entwicklung, Kalibrierung und Analyse von Driftdetektordaten sind typische Elemente von Bachelor-, Master-, und Doktorarbeiten auf diesem Gebiet.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Lehrveranstaltungen <i>Experimentalphysik 3</i> und <i>Experimentalphysik 4A</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Appelshäuser		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Physik von Driftdetektoren (Physics of Drift Detectors)	V+Ü	2.5+1.5	5	Pf	X		(X)	
Summe		4	5					

<b>VRENORM</b>	<b>Renormierung in der Quantenfeldtheorie</b> (Renormalization in Quantum Field Theory)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<p>Nach einer kurzen Rekapitulation der Formulierung relativistischer Quantenfeldtheorien im Pfadintegralformalismus und die Herleitung der Feynman-Diagrammregeln für die Störungstheorie wird in die grundlegenden Techniken der Renormierung divergenter "Schleifenintegrale" eingeführt. Es werden sowohl die dimensionale Regularisierung und die "minimal subtraction"-Renormierungsschemata als auch die BPHZ-Renormierung zunächst am Beispiel einer einfachen skalaren Feldtheorie besprochen. Diese Techniken werden dann auf Eichtheorien (QED und QCD) angewendet und deren Renormierbarkeit in der "Background-Field Gauge" bewiesen. Danach werden die Renormierungsgruppengleichungen und die asymptotische Freiheit nichtabelscher Eichtheorien (insbesondere der QCD) besprochen. Die Vorlesung schließt mit einer Behandlung von Anomalien, d.h. Symmetrien der klassischen Feldtheorie, die durch die Quantisierung explizit gebrochen werden.</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>In diesem Modul werden die grundlegenden Methoden zur Herleitung der Feynman-Regeln der Störungstheorie relativistischer Quantenfeldtheorien mit Pfadintegralmethoden vermittelt und zur Analyse von Symmetrien (insbesondere Eichsymmetrien und Anomalien) angewandt. Die Studierenden erlernen die grundlegenden Techniken zur Berechnung von Beiträgen höherer Ordnung (Schleifendiagramme) der störungstheoretischen Entwicklung von Green- und Vertexfunktionen sowie Methoden zur Regularisierung und Renormierung der dabei auftretenden divergenten Integrale sowie das Verständnis der physikalischen Bedeutung mittels der Renormierungsgruppe.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 4, Quantenfeldtheorie 1</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Greiner		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Renormierung in der Quantenfeldtheorie (Renormalization in Quantum Field Theory)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VFRG</b>	<b>Die Funktionale Renormierungsgruppe und ihre Anwendung auf QCD und Gravitation</b> (The Functional Renormalization Group and its Application to QCD and Gravity)		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Fermionen im Pfadintegral, Eichfelder im Pfadintegral, Faddeev-Popov Quantisierung, Hintergrundfeldmethode, Funktionale Renormierungsgruppengleichung, Trunkierungsschemen, Nambu-Jona-Lasinio Modell, chirale Symmetriebrechung, perturbative Nichtrenormierbarkeit der Gravitation, Asymptotic Safety Szenario			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In diesem Modul wird die Methode der Funktionalen Renormierungsgruppe (FRG) eingeführt, auf Probleme der Quantenchromodynamik (QCD) angewendet und ein kurzer Einblick in eine mögliche Definition einer Quantentheorie der Gravitation gegeben. Der erste Teil des Kurses beginnt mit einer Wiederholung einiger Aspekte der Quantenfeldtheorie im Pfadintegralformalismus bevor die Idee der FRG vorgestellt wird. Nach der Herleitung der Funktionalen Renormierungsgruppengleichung als dem zentralen Werkzeug der Methode werden dessen Stärken und Schwächen ausführlich diskutiert. Im zweiten Teil wird die erlernte Methode auf Aspekte der QCD angewendet. Nachdem die wesentlichen Eigenschaften der QCD rekapituliert wurden wird das Nambu-Jona-Lasinio Modell im FRG Formalismus behandelt um die chirale Symmetriebrechung zu untersuchen. Für die Behandlung der Gluonen wird zunächst die Faddeev-Popov Quantisierung diskutiert. Die anschließende Diskussion der Hintergrundfeldmethode wird dann auch im dritten Teil benötigt. Dieser beginnt mit einer kurzen Erläuterung der perturbativen Nichtrenormierbarkeit der allgemeinen Relativitätstheorie. Als mögliche Lösung dieses Problems wird Weinbergs Asymptotic Safety Szenario vorgestellt. Den Abschluss bildet die Umsetzung dieser Idee im FRG Formalismus.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundlagen der Allgemeine Relativitätstheorie, Grundlagen der Quantenfeldtheorie, Pfadintegral, perturbative Renormierung			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Rischke		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Die Funktionale Renormierungsgruppe und ihre Anwendung auf QCD und Gravitation (The Functional Renormalization Group and its Application to QCD and Gravity)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VKMFI</b>	<b>Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie</b> (Nuclear physics methods in research and industry)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 40 h	Selbststudium: 80 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung und Kernphysikalische Grundlagen: Grundbegriffe, Kernreaktionen, Radioaktiver Zerfall</li> <li>• Industrielle Anwendungen in Materialentwicklung und Analyse: Historische Anwendungen, Materialforschung, Sterilisation und Mutations Anwendungen, Tiefbohrungsanalyse</li> <li>• Kernenergie und erneuerbare Energien: Fusion und Spaltung, Reaktoren, Reaktorgefahren und Speicher, Fusionsreaktoren, Erneuerbare Energien;</li> <li>• Medizinische Anwendungen in Diagnostik and Behandlung: Radiographie, Bildgebende Verfahren, Bestrahlungsmethoden und Techniken;</li> <li>• Isotopenanalyse und Iso-scapes: Isotopenverteilung und Fraktionierungsprozesse, Iso-Scapes, Klimaanalyse mit <math>^{18}\text{O}</math>, Forensische und biologische Anwendungen</li> <li>• Anwendung in Kunst und Archäologie: Radiologie, XRF und PIXE, Raman Spektroskopie, Radiokarbon Methode, Thermolumineszenz</li> <li>• Der Bombenpeak: Ursprung des Bombenpeaks, Anwendungen des Bombenpeaks</li> <li>• Gesellschaftliche Ängste: Zukunftshoffnungen mit und Zukunftsängste vor neuen Techniken</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Verständnis der Grundlagen der Kernphysik und der wichtigsten Anwendungen in ihrer gesamten Breite. Die Studierenden sind nach der Vorlesung in der Lage, Potenzial und Gefahren der Kernphysik in der modernen Gesellschaft kompetent zu diskutieren.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
keine			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Reifarth		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbefriedigend		



<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie (Nuclear physics methods in research and industry) (Blockveranstaltung, 8 Tage V4 + 2 Tage Ü4)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VMCMCS</b>	<b>Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis</b>		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Statistical mechanics reminder (equilibrium, fluctuations, correlations, responses, critical phenomena); Monte Carlo integration techniques, Markov chain Monte Carlo simulations techniques; the Metropolis algorithm; application of Markov Chain Monte Carlo to the Ising model; measurements in Monte Carlo simulations (magnetisation, entropy and energy density); statistical analysis of Monte Carlo results (autocorrelation, resampling methods for secondary observables and their error); statistical vs. systematic errors; critical slowing down; alternative algorithms (Wolff, multigrid method); the single/multi histogram reweighing technique for data interpolation; finite size scaling analysis techniques for identification of phase transitions.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
This module complement the existing one on Numerical Methods in Physics and prepares the ground for more advanced ones like Lattice gauge theory. The course addresses the fundamental physics question of the location/identification of phase transitions in statistical mechanics models and the relevant computational techniques to answer this question. Students will be provided with a complete toolbox of numerical techniques ranging from simulations all the way to the statistical analysis of results. The tutorials are meant for letting the students implement such techniques and build brick by brick their own set of simulation and analysis software. The module prepares students for pursuing bachelor's or master's projects in lattice gauge theories and numerical condensed matter physics.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Basic understanding of (a) statistical mechanics; (b) statistics, error analysis and fitting techniques.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physics, MSc Physics, BSc Biophysics, MSc biophysics		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Cuteri		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

## 4.4 Festkörperphysik

<b>VEXGMAG</b>	<b>Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien</b> (Magnetism — Foundations, Methods, Materials)	<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
Magnetostatik, Magnetismus lokalisierter Elektronen, Ferromagnetismus und Austauschwechselwirkung, Antiferromagnetismus, moderne Messmethoden, magnetische Materialien aus der Anwendung und aktuellen Forschung.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
In diesem Modul werden, ausgehend von Grundlagen der Atom- und Festkörperphysik (wie Elektronen, Schalenmodell des Atoms, Pauli-Prinzip, Kristallgitter), Grundbegriffe des Magnetismus (wie u. A. magnetische Eigenschaften isolierter Atome/Ionen und elektrostatische Wechselwirkungen als Ursache magnetischer Ordnung) entwickelt. Es werden wichtige Konzepte zur Beschreibung grundlegender magnetischer Phänomene vorgestellt und an einigen Beispielen konkretisiert. Die Vorlesung gibt einen Überblick über relevante Experimentiertechniken zur Bestimmung magnetischer Eigenschaften und stellt Bezüge zur aktuellen Grundlagenforschung her. Das Modul ist als Basisveranstaltung gedacht und richtet sich an ein breites Publikum.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4, Anfängerpraktikum 1-2</i>		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Lang	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien (Magnetism — Foundations, Methods, Materials)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VTHSUP</b>	<b>Theorie der Supraleitung</b> (Theory of Superconductivity)			<b>CP</b> <b>3</b>					
Kontaktstudium: 30 h		Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>									
Grundlegende Experimente der Supraleitung, supraleitende Materialien, Thermodynamik und London-Gleichung, Ginsburg-Landau-Theorie, Supraleiter 1. und 2. Art, magnetische Eigenschaften, Fröhlich-Hamiltonian, BCS-Modell, Cooper-Paare, Grundzustand und Thermodynamik von BCS-Supraleitern, Meißner-Effekt, Josephson-Effekt.									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Das Modul vermittelt einen Überblick über die phänomenologische und mikroskopische theoretische Beschreibung von BCS-Supraleitern.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i>									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		unregelmäßig							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Kopietz							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Theorie der Supraleitung (Theory of Superconductivity)		V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe			2	3					

<b>VTSM</b>	<b>Topological States of Matter</b> (Topologische Zustände der Materie)		<b>CP</b> <b>4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>This module gives an overview over the field of topological phenomena in condensed matter systems.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometry and topology of band structures and their physical implications (e.g., modern versions of the semiclassical equations of motion or the electric polarization).</li> <li>• Discussion of a variety of topological phases, including topological insulators in 2d and 3d, topological superconductors and Majorana states, topological metals (e.g., Weyl semimetals), quantum Hall systems and spin liquids.</li> <li>• Topological protection: effects of disorder and interactions.</li> <li>• Special emphasis on experimental observations such as the detection of topological edge modes as well as novel applications.</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>The module prepares students for a thesis on topological states of matter.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Students will have the ability to understand state-of-the-art research on topological phases and work on theoretical research projects in this field.</li> <li>• Students will learn about physical manifestations of topology in condensed matter systems and how to detect them in experiments.</li> <li>• Students will become familiar with different theoretical techniques for characterizing topological states of matter: Berry curvature, energy band crossings, twisted boundary conditions, scattering theory, semiclassical equations of motion.</li> <li>• Students will be able to understand the power and limitations of simplified model Hamiltonians for understanding and predicting experimental observations.</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Elementary quantum mechanics and some basic knowledge in solid-state physics (Bloch theorem, band structures). The course will not require very technical calculations but focus on general concepts and simple theoretical approaches.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Pientka		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch oder Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			

<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Topological States of Matter	V+Ü	2+1	4	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		3	4					



<b>VDFT</b>	<b>Density Functional Theory</b>		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Hohenberg-Kohn theorem, interacting $v$ -representability, spin/current-density functional theory, Kohn-Sham equations, noninteracting $v$ -representability, exact exchange, virial theorems, adiabatic connection, local density approximation (LDA), (meta) generalized gradient approximation, LDA+ $U$ , orbital-dependent functionals, relativistic density functional theory (optionally: time-dependent density functional theory)			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
In this module students are trained for doing research in the field of computational electronic structure theory. Both the complete theoretical background of one of the standard methods in this field, density functional theory, and more practical aspects are covered. In particular, students learn to distinguish the various aspects of electron correlation. Prototype results from a variety of fields illustrate the merits and limitations of density functional theory. As a result of this course, students understand the significance and implications of various approximations and are able to operate standard density functional codes. Students are ready for pursuing a bachelor's or master's project in this field.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
required knowledge: basic elements of many-particle quantum mechanics (wavefunctions, operators, Schrödinger equation, Coulomb interaction, Hartree-Fock approximation, 2nd quantization, field operators); recommended knowledge: basic elements of Green's function approach to many-particle systems (1-particle propagator, response functions, Dyson equation, irreducible functions, Feynman diagrams); (semi)relativistic quantum mechanics (Pauli equation, Dirac equation) recommended for preparation: course <i>Introduction to Quantum Many-Particle Theory</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Engel		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Density Functional Theory	V	3	5	Pf		X		(X)
Summe		3	5					

<b>VQMD</b>	<b>Quantum Molecular Dynamics</b>		<b>CP 5</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 105 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
<p>Born-Oppenheimer approximation; density functional theory (Hohenberg-Kohn theorem, Kohn-Sham equations, local density approximation, generalized gradient approximation, time-dependent density functional theory); Born- Oppenheimer versus Car-Parrinello dynamics; iterative diagonalization; optimization techniques (steepest descent, conjugate gradient dynamics, variable metric method); global energy minimization (Metropolis algorithm, Markov chains, dynamical simulated annealing); pseudopotentials; quantum molecular dynamics for periodic systems; Kleinman-Bylander transformation; supercell concept</p>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>This module provides a bridge between the electronic structure of atoms, familiar to students from the standard course(s) on quantum mechanics, and the electronic structure of molecules and solids. The course addresses both the fundamental physics involved as well as the theoretical concepts and computational techniques required for efficiently dealing with such systems. Students become familiar with the relevant lengths, time and energy scales, with the notion of hybridization and delocalization of states, and with the Born-Oppenheimer approximation. In addition, students make first contact with “counterintuitive” approaches, such as the pseudopotential approximation or the simulation of the Schrödinger equation by another differential equation. They learn about the interplay between the equations of motion and discretization. In this way students are trained to think more creatively about the representation of physics in terms of equations.</p> <p>The course is directly based on the mandatory theory courses <i>Theoretische Physik I-IV</i>. It is highly self-contained, preparation of students by attending additional courses e.g. in condensed matter theory is not required. The module prepares students for pursuing bachelor’s or master’s projects in computational electronic structure theory.</p>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
<p>basic understanding of (a) classical electrodynamics (Coulomb forces, multipole expansion); (b) quantum mechanics of many-electron systems (wavefunctions, Schrödinger equation, spin, Pauli principle, 2nd quantization); (c) atomic physics (electronic structure, energetics)</p>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Engel		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Quantum Molecular Dynamics	V	3	5	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		3	5					

<b>VQMPT</b>	<b>Vielteilchenphysik</b> (Many-body physics)			<b>CP</b> <b>8</b>				
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h		SWS: 6					
<b>Inhalte</b>								
Zweite Quantisierung, Vielteilchen-Modellsysteme, Greensche Funktionen, Diagrammatische Störungstheorie für $T = 0$ und $T > 0$ , Random-Phase Approximation, Leiter-Näherung								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Die Studierenden lernen die grundlegenden Methoden der Vielteilchen-Theorie, um eigenständig auf dem Gebiet der Vielteilchenphysik arbeiten zu können.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbemotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Vielteilchenphysik (Many-body physics)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VPFADQM</b>	<b>Pfadintegrale in der Quantenmechanik und in der Statistischen Physik</b> (Path Integrals in Quantum Mechanics and in Statistical Physics)		<b>CP 3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einordnung der Pfadintegraldarstellung der Quantenmechanik im Vergleich zu den Formulierungen der Quantenmechanik mit Wellenfunktionen und Matrizen, Vorteile dieser Formulierung</li> <li>• Definition des Pfadintegrals zur Berechnung der Übergangsamplitude (Zeitentwicklungsoperator, kanonisches Pfadintegral und Feynmans Formulierung, verschiedene Methoden der Berechnung der Fluktuationsamplitude für das freie Teilchen und den harmonischen Oszillator)</li> <li>• Zusammenhang zwischen Übergangsamplitude und Wellenfunktion, Ableitung der Schrödingergleichung und Bestimmung der Eigenwerte aus der Amplitude</li> <li>• die Übergangsamplitude als Greensche Funktion und der Zusammenhang zu den Greenschen Funktionen der Quantenstatistik</li> <li>• Pfadintegral und kanonische Zustandssumme (analytische Fortsetzung, klassischer Limes)</li> <li>• Näherungen bei der Berechnung von Pfadintegralen (WKB-Näherung, Sattelpunktsnäherung als semiklassischer Grenzfall, Störungstheorie und Korrelationsfunktionen, Variationsprinzip zur Lösung des Polaron-Problems)</li> <li>• Pfadintegral für Systeme mit topologischen Beschränkungen (Teilchen auf einem Kreis)</li> </ul>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Vorlesung behandelt eine alternative Formulierung der Quantenmechanik im Vergleich zu der in der Grundvorlesung gelehrt Schrödinger - Formulierung. Dies geschieht zumeist für wechselwirkungsfreie Systeme. Dabei werden einige Vorteile des Pfadintegral-Formulierung herausgearbeitet, insbesondere der Übergang von der Quantenmechanik zur klassischen Mechanik sowie der enge Zusammenhang bei der Berechnung quantenstatistischer Größen. Das wird sowohl anhand exakt lösbarer Modelle als auch an Beispielen nur näherungsweise lösbarer Systeme demonstriert. Damit liefert die Vorlesung eine andere Sicht auf die Quantenmechanik und stellt Grundlagen für die moderne Darstellung von Korrelationsfunktionen der Quantenfeldtheorie in Form von Funktionalintegralen bereit.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Kenntnisse der Quantenmechanik und der Statistischen Physik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			

<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Pfadintegrale in der Quantenmechanik und in der Statistischen Physik (Path Integrals in Quantum Mechanics and in Statistical Physics)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VFSTATP</b>	<b>Fortgeschrittene Statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe</b> (Advanced Statistical Physics: Non-equilibrium, Critical Phenomena, and Renormalization Group)		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Im ersten Teil der Vorlesung werden die grundlegenden Methoden und Gleichungen der statistischen Physik im Nicht-Gleichgewicht hergeleitet und diskutiert. Im zweiten Teil wird die Theorie der Renormierungsgruppe entwickelt und auf die Berechnung kritischer Phänomene angewandt.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die folgenden Themen der Nicht-Gleichgewichts Statistischen Physik werden behandelt: Langevin-Gleichungen, Fokker-Planck Gleichungen, Master-Gleichungen, Kinetik klassischer Gase, Boltzmann-Gleichung, Navier-Stokes Gleichung. Anschließend werden kritischen Phänomene am Beispiel der Ising-Universalitätsklasse eingeführt und das Skalenverhalten in der Nähe des kritischen Punktes erklärt. Es folgt eine Einführung in die Wilsonsche Renormierungsgruppen-Methode. Schließlich wird die Funktionale Renormierungsgruppe entwickelt. Mit den in diesem Modul erworbenen Kenntnissen können die Studierenden viele aktuelle Forschungsthemen im Bereich der statistischen Physik und der wechselwirkenden Vielteilchensysteme verstehen. Die Vorlesung kann begleitend zur Anfertigung einer Bachelor- oder Masterarbeit auf diesen Gebieten gehört werden.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Theoretische Physik 1–5</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Fortgeschrittene statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe (Advanced Statistical Physics: Non-equilibrium, Critical Phenomena, and Renormalization Group)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VMAFE</b>	<b>Theorie starker Magnetfelder in der Festkörperphysik</b> (Theory of Strong Magnetic Fields in Solid State Physics)	<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klassische Behandlung eines geladenen Teilchens im elektromagnetischen Feld im Hamilton- und Lagrange-Formalismus sowie die Lösung der Bewegungsgleichungen für ein konstantes Magnetfeld und im Fall eines gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldes</li> <li>• Formulierung des quantenmechanischen Ein-Teilchen-Problems und dessen Lösung (Erhaltungsgrößen, symmetrische und Landau-Eichung, Landau-Niveaus, Entartung, Füllfaktor)</li> <li>• Freies Teilchen im gitterperiodischen Potential ohne Magnetfeld (Bloch-Theorem) und das Bloch-Elektron im Magnetfeld, Näherung eines langsam veränderlichen Vektorpotentials und die Peierls-Substitution im Fall schwacher Felder</li> <li>• Beschreibung eines Teilchens mittels eines tight-binding-Modells und Peierls-Substitution für ein quadratisches Gitter im Magnetfeld, Ableitung der Harper-Gleichung für schwache und starke Magnetfelder, Eigenschaften des Spektrums (Hofstadter-Schmetterling)</li> <li>• Semiklassisches Modell (Gültigkeit, Ableitung der Bewegungsgleichungen) im homogenen Magnetfeld und im gitterperiodischen Potential, Bahnkurven und Fermiflächen</li> <li>• Magnetische Suszeptibilität freier Elektronen im schwachen Feld (Trennung von diamagnetischem und paramagnetischem Anteil) und im starken Feld mit temperaturunabhängigen Oszillationen, deren Periode invers zur Stärke des Magnetfeldes ist</li> <li>• Bohr-Sommerfeld-Quantisierung der semiklassischen Theorie im periodischen Potential und konstanten Magnetfeld und die Onsagersche Quantisierungsbedingung, experimenteller Nachweis und theoretische Erklärung des de Haas-van Alphen-Effekts, Aussagen über die Form der Fermi-Fläche eines Metalls</li> <li>• Transporterscheinungen im Magnetfeld (Hall-Effekt im Rahmen der Drude- und Boltzmann-Theorien, Schubnikow-de Haas-Effekt der Leitfähigkeit und die Quanten-Hall-Effekte bei ganzzahligem und gebrochenzahligem Füllfaktor)</li> <li>• Quanten-Hall-Effekt in Graphen</li> </ul>		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<p>Die Vorlesung behandelt mit Methoden der theoretischen Physik Eigenschaften von Festkörpern, die einem hinreichend starken magnetischen Feld ausgesetzt sind. Neben der grundsätzlichen quantenmechanischen Behandlung, die sich für das Ein-Teilchen-Problem als praktikabel erweist, sind bei der Behandlung von Metallen, die ein gitterperiodisches Potential aufweisen, geeignete Näherungen notwendig. Dazu gehören die Peierls-Substitution zum Verständnis der Energie-Eigenwerte oder eine semiklassische Näherung zur Erklärung der Oszillationen der magnetischen Suszeptibilität beim de Haas-van Alphen-Effekt.</p> <p>Das Modul vertieft und erweitert die Kenntnisse der Vorlesungsteilnehmer auf dem Gebiet der theoretischen Festkörperphysik sowohl in methodischer Hinsicht als auch in Bezug auf experimentelle Ergebnisse, die in den letzten Jahren erzielt wurden.</p> <p>Die Vorlesung macht deutlich, dass die experimentelle Nutzung von Magnetfeldern es einerseits erlaubt, wertvolle Informationen über mikroskopische Eigenschaften des Festkörper zu gewinnen, und andererseits die Entdeckung neuartiger Phänomene ermöglicht, die einer theoretischen Erklärung bedürfen.</p>		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		

keine												
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>												
Kenntnisse der Quantenmechanik, der Quantenstatistik und der Festkörperphysik												
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>					BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>					BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>					unregelmäßig							
<b>Dauer</b>					einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>					Kopietz							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>					Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>												
<b>Teilnahmenachweise</b>					keine							
<b>Leistungsnachweise</b>					Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>					Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>					Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>												
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)												
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>					<b>LV-Form</b>	<b>SWS</b>	<b>CP</b>	<b>Pf/WP</b>	<b>Semester</b>			
									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Theorie starker Magnetfelder in der Festkörperphysik (Theory of Strong Magnetic Fields in Solid State Physics)					V	2	3	Pf		X		(X)
Summe						2	3					

<b>VKITRA</b>	<b>Introduction to physical kinetics, transport theory, and disordered systems</b>		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Kinetic (Boltzmann) equation; Scattering by impurities and diffusion equation; Scattering of electrons by another electrons, viscosity, and Navier-Stokes equation; currents of charge and heat, kinetic coefficients, Onsager relations, Weidman-Franz law, and thermo-electric effect; Scattering by phonons and temperature dependence of the electric conductivity; Effect of magnetic field and classical Hall effect; Electron spin, scattering by magnetic impurities, spintronics, and spin-Seebeck effect (optionally: Kondo effect); Zero-temperature green functions, diagrammatic technique for disorder potential, Kubo formula, and current-current correlation function (optionally: weak localisation (interference) corrections to bulk conductivity).			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Introduction to the kinetics of physical systems, with many applications to electrons in a disordered potential, and transport theory of conductors. Scattering of electrons by phonons, magnetic impurities, and other electrons are considered in detail in this course, as well as thermoelectricity, spintronics, and the classical Hall effect induced by external magnetic field. The diffusion and the Navier-Stokes equations are derived starting from the kinetic equation in this course. This lecture extends the standard curriculum of the undergraduate physics towards research in the theoretical solid-state physics. It can also serve as a preparation for the bachelor- master-level research projects, or accompany doctoral and postdoctoral research.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
No special knowledge is required. Classical mechanics (VTH2: Klassische Mechanik) and a very basic knowledge of quantum mechanics (the beginning of VTH4: Quantenmechanik) are enough for this course.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Introduction to physical kinetics, transport theory, and disordered systems	V+Ü	2+1	4	Pf	X	X	(X)	(X)
Summe		3	4					

<b>VEFRG</b>	<b>Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe</b> (Introduction to the functional renormalization group)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
<p>In diesem Modul wird eine systematische Einführung in die Theorie der Funktionalen Renormierungsgruppe gegeben. Die folgenden Themen werden behandelt:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Das Konzept der Renormierungsgruppe</li> <li>2. Phasenübergänge und Skalenhypothese</li> <li>3. Molekularfeld-Theorie und Gauß'sche Näherung</li> <li>4. Die Wilsonsche Renormierungsgruppe</li> <li>5. Kritische Exponenten des Ising-Modells in der Nähe von 4 Dimensionen</li> <li>6. Funktional-Methoden</li> <li>7. Exakte Renormierungsgruppen Flussgleichungen</li> <li>8. Vertex-Entwicklung</li> <li>9. Gradienten-Entwicklung</li> <li>10. Anwendungen auf Vielteilchensysteme (Fermionen, Bosonen, Spinsysteme).</li> </ol>			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Die Studierenden erwerben in diesem Modul ein grundlegendes Verständnis der Idee der Renormierungsgruppe und ihrer modernen Formulierung durch formal exakte Flussgleichungen für erzeugende Funktionale. Die Studierenden sollen dabei die Fähigkeit erwerben, eigenständig Renormierungsgruppenmethoden zur Lösung physikalischer Probleme einzusetzen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Module: Quantenmechanik (VTH4) und Thermodynamik und Statistische Physik (VTH5)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Kopietz		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übung		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe (Introduction to the functional renormalization group)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

## 4.5 Laser-, Plasma- und Atomphysik sowie Quantenoptik

<b>VUKQG</b>	<b>Quanteninformation und Ultrakalte Atome</b> (Quantum Information and Ultracold Atoms)		<b>CP</b> <b>8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Suprafluidität und Bose-Kondensation, Theorie wechselwirkender Bosonen (Bogoliubov, Gross-Pitaevskii), Quantenstatistik und Hanbury-Brown-Twiss Experiment, optische Gitter, Mott-Übergang, Bloch-Oszillationen, fermionische Kondensate und BCS-Theorie, Grundlagen der Quanteninformationstheorie, Bell'sche Ungleichung und Quantenteleportation, Verschränkung und Entropie, Schumacher-Codierungstheorem, Quantencomputing			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Ziel ist es, die Studierenden mit zentralen Themen der modernen Quantenphysik und ihren Anwendungen vertraut zu machen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-5</i> , insbesondere zentrale Konzepte der Quantenmechanik (Schrödinger-Gleichung, Hilbertraum, Observablen) und der statistischen Physik (Dichteoperator, Ensembles, Temperatur, Entropie).			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Hofstetter		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Quanteninformation und Ultrakalte Atome (Quantum Information and Ultracold Atoms)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VTHQO</b>	<b>Theoretical Quantum Optics</b>		<b>CP 8</b>
Kontaktstudium: 90 h	Selbststudium: 150 h	SWS: 6	
<b>Inhalte</b>			
Quantisierung und Kohärenzeigenschaften des elektromagnetischen Feldes, squeezed States, Phasenraumdarstellungen, Wigner-Funktion, Quantenmechanik offener Systeme, Lindblad- und Fokker-Planck- Gleichung, Quantum Markov-Prozesse, Dekohärenz und Theorie der Messung, Quanteninformationsverarbeitung mit quantenoptischen Systemen, Cavity QED, Theorie des Lasers, Lichtkräfte, ultrakalte Quantengase			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Ziel ist es, die Studierenden mit diesen zentralen Themen der modernen Quantenphysik und ihren Anwendungen vertraut zu machen. Die Vorlesung ist daher auch interessant als Vorbereitung für eine spätere Master/Bachelor Arbeit auf diesem Gebiet.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-4</i> , <i>Theoretische Physik 1-5</i> , insbesondere zentrale Konzepte der Quantenmechanik (Schrödinger-Gleichung, Hilbertraum, Observablen) und der statistischen Physik (Dichteoperator, Ensembles, Temperatur, Entropie).			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Hofstetter		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Theoretische Quantenoptik (Theoretical Quantum Optics)	V+Ü	4+2	8	Pf		X		(X)
Summe		6	8					

<b>VTHPLAS</b>	<b>Theoretische Plasmaphysik</b> (Theoretical Plasma Physics)		<b>CP</b> <b>6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Grundlagen, Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern, Wellen in Plasmen, Zweistrom-Instabilität, Fokker-Planck-Gleichung; Magnetohydrodynamik: Feldkonfigurationen, Wellen, Instabilitäten; stochastische Prozesse, Wechselwirkung von Teilchen mit Wellen; numerische Methoden.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul gibt einen elementaren Überblick über das theoretische Verständnis der Plasmen, ausgehend von der Bewegung von Teilchen in elektromagnetischen Feldern über kollektive Effekte bis hin zu Instabilitäten. Es hilft beim Zugang zu theoretischen und experimentellen Arbeiten im Bereich der Labor- und astrophysikalischen Plasmen. Die Studenten erwerben ein grundlegendes Wissen über Vielteilcheneffekte in hochgradig nichtlinearen Situationen. Sie lernen, numerische Verfahren zu beurteilen und die Möglichkeit ihrer Anwendung in anderen Bereichen kritisch zu beurteilen.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundlagen der Theorie der Mechanik der Punktteilchen, der elementaren Hydrodynamik, und der elektromagnetischen Felder und Wellen.			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Jacoby		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Theoretische Plasmaphysik (Theoretical Plasma Physics)	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

## 4.6 Angewandte Physik

<b>VE/TRT</b>	<b>Experimentelle Tests der Relativitätstheorie</b> (Experiments tests of special and general relativity)				<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h			SWS: 2					
<b>Inhalte</b>									
Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie, Experimente zur speziellen Relativitätstheorie, Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, Experimente zur allgemeinen Relativitätstheorie									
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>									
Die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie haben das physikalische Weltbild entscheidend verändert. In diesem Modul wird die empirische Basis beider Theorien kritisch behandelt, um den Studierenden eine kompetente Beurteilung und überzeugende Vertretung dieser Theorien gegenüber Nichtphysikern zu ermöglichen.									
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>									
keine									
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>									
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1a</i> , <i>Theoretische Physik 1-2</i>									
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>		BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>		BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>		unregelmäßig							
<b>Dauer</b>		einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>		Reifarth							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>		Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>									
<b>Teilnahmenachweise</b>		keine							
<b>Leistungsnachweise</b>		Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>		Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>		Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>									
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)									
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>		LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
						1	2	3	4
Experimentelle Tests der Relativitätstheorie (Experimental tests of special and general relativity)		V	2	3	Pf		X		(X)
Summe			2	3					

<b>VMALE</b>	<b>Maschinenlern-Verfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Suchmaschinen-Technik</b> (Machine Learning and its Applications to Pattern Recognition, Artificial Intelligence and Search Engines)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Grundbegriffe der Informationstheorie und der Wahrscheinlichkeitstheorie, Bayes-Methoden und statistisches Schließen, Einführung in die grundlegenden Fragestellungen beim Maschinenlernen, Modellwahl, -anpassung und -validierung, lineare Klassifikationsmethoden, nicht-parametrische Techniken (k-nächste Nachbarn), naive Bayes-Klassifikation und Erweiterungen, Bayes-Netze, Entscheidungsbäume, Ensemble-Lerner (Bagging und Boosting), (randomisierte) Entscheidungswälder, Support-Vektor-Maschinen, neuronale Netze.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Im Mittelpunkt der Veranstaltung werden trainierte Maschinenlern-Verfahren (supervised learning) stehen und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis, samt der sich hierbei ergebenden praktischen Probleme. Die Anwendungsbeispiele werden in Absprache mit den Teilnehmer aus den Bereichen Mustererkennung, künstliche Intelligenz/Software-Agenten, Textklassifikation und Suchmaschinen-Technik gewählt.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Differential- und Integralrechnung, Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung/Statistik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	zweijährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Roskos		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Maschinenlern-Verfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Suchmaschinen-Technik (Machine Learning and its Applications to Pattern Recognition, Artificial Intelligence and Search Engines)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					



<b>VMALE2</b>	<b>Maschinenlernverfahren II und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung</b> (Machine Learning II and its Application to Data Analysis and Signal-/Speech-Processing)		<b>CP 4</b>
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h	SWS: 3	
<b>Inhalte</b>			
Reinforcement-Learning, logisches und (statistisches) relationales Lernen, Cluster-Verfahren, Dimensionsreduktion, Independent-Component-Analysis und blinde Signaltrennung; Flankierende Grundlagenthemen: Heuristische Optimierungs- und Suchverfahren, Bayes-Methoden und statistisches Schließen, (algorithmische) Informationstheorie, Ähnlichkeitsmetriken			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Im Mittelpunkt der Veranstaltung werden ausgewählte Maschinenlern-Verfahren stehen und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der künstlichen Intelligenz und insbesondere der Robotik. Im Rahmen der Übungen wird neben praktischen Beispielen der behandelten ML-Verfahren unter anderem das Robot-Operating-System (ROS) behandelt (in Simulation und anhand von Lehrrobotern).			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Differential- und Integralrechnung, Matrizen- und Vektorrechnung, Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung/Statistik (d.h. Standard-Mathematik-Vorlesung BSc Physik)			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	zweijährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Roskos		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbentet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung		
<b>Modulprüfung</b>			

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Maschinenlernverfahren II und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung (Machine Learning II and its Application to Data Analysis and Signal-/Speech-Processing)	V+Ü	2+1	4	Pf	X		(X)	
Summe		3	4					

<b>VENTE</b>	<b>Energietechnik</b> (Physics of Energy Management)			<b>CP</b> <b>4</b>				
Kontaktstudium: 45 h	Selbststudium: 75 h		SWS: 3					
<b>Inhalte</b>								
Stationäre/instationäre Systeme, Euler-Lagrange-Transformation, Primär- und Sekundärenergieträger, Bilanzräume, techn. und chemische Thermodynamik, technische Kreisprozesse, Wärmepumpen und Kältemaschinen, Tieftemperaturprozesse, Elektrolyse und Brennstoffzellen, Transportvorgänge, Extremalprinzipien, Überschallströmungen, Energiespeicher, Brennstoffe, Pi - Theorem und Ähnlichkeit, Optimierung technischer Systeme.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Studierende werden mit Berechnungsmethoden und Konzepten zur Auslegung von thermodynamischen Prozessführungen und Anlagen vertraut gemacht.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Module VEX1A/B, VEX2, VEX3, VEX4A/B, VTH1, VTH2, VTH3								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Podlech							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen							
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbemotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Energietechnik (Physics of Energy Management)	V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe		3	4					

<b>VSPRACH</b>	<b>Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung</b> (Speech acoustics and speech signal processing)			<b>CP</b> <b>3</b>				
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h		SWS: 2					
<b>Inhalte</b>								
Akustische und artikulatorische Grundlagen der Sprachproduktion; phonetische Konzepte; Modellbeschreibungen der Spracherzeugung; Anwendungen der Sprachverarbeitung: Sprachsynthese, Spracherkennung, Sprachkodierung und Störgeräuschsunterdrückung; anwendungsbezogene Konzepte und Verfahren der Systemtheorie und statistischen Signalverarbeitung: Wellendigitalfilter, Lineare Prädiktion, MFCCs, DTW, Hidden Markov Modelle, Dynamische Programmierung, Unit Selection usw.; praxisrelevante Herausforderungen der Sprachtechnologien.								
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>								
Die Grundlagen der akustischen und artikulatorischen Sprachproduktion sollen den Studierenden im ersten Abschnitt der Vorlesung vermittelt werden. Darauf aufbauend sollen in einem zweiten Abschnitt modellbasierte und algorithmische Beschreibungen für Sprachtechnologien erarbeitet werden.								
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>								
keine								
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>								
Inhalt der Veranstaltungen <i>Experimentalphysik 1-2, Theoretische Physik 1-2</i>								
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik							
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik							
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	unregelmäßig							
<b>Dauer</b>	einsemestrig							
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Ratzinger							
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch							
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>								
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine							
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung (Speech acoustics and speech signal processing)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

## 5 Zusätzliche Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Physik der Informationstechnologie*

Alle Module des MSc Informatik sowie das Modul *Theoretische Informatik 1* (Modul B-GL1 des BSc Informatik) können als Wahlpflichtmodule gewählt werden. Für die Teilnahme an diesen Importmodulen gelten die Regelungen des jeweiligen Herkunftsstudiengangs.

## 6 Zusätzliche Wahlpflichtmodule des Masterstudiengangs mit Schwerpunkt *Computational Physics*

### 6.1 Jährlich angebotene Module

VTHNEU	Theoretical Neuroscience		CP 6
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
basic models of neurons and neural networks, network dynamics, introduction to neural coding and decoding, synaptic plasticity and Hebbian learning, associative memory			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<p>Das Modul vermittelt die grundlegenden Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Es erlaubt insbesondere auch Studierenden ohne umfangreiche Vorkenntnisse den Einstieg in das Vertiefungsfach. Es führt dabei insbesondere in Methoden zur Modellierung von Neuronen und neuronalen Netzen und deren kollektiver Dynamik ein. Das Modul gibt gleichzeitig einen Überblick über das breite Angebot an Wahlpflichtveranstaltungen im Bereich Neuroscience, um den Studierenden die weitere Orientierung im Vertiefungsfach zu erleichtern. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, einfache Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden kennen grundlegende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.</li> <li>• Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.</li> <li>• Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der mathematischen Grundvorlesungen, elementare Kenntnisse von Matlab			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i>		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Triesch		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		

<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet							
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Theoretical Neuroscience	V+Ü	3+1	6	Pf	X		(X)	
Summe		4	6					

<b>VTHNEU2</b>	<b>Theoretical Neuroscience 2</b>		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
advanced models of neurons and neural networks, network dynamics, information theory and coding, neuronal and synaptic plasticity, self-organization in neural networks, theories of learning, analysis of neural data			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Das Modul vermittelt fortgeschrittene Konzepte des Vertiefungsfachs Neuroscience. Dabei werden fortgeschrittene Methoden zur Beschreibung von Nervenzellen und Netzwerken und zur Analyse biologischer Daten vermittelt. Das Modul führt die Studierenden an die aktuelle Forschung heran und bereitet sie auf das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten in diesem Bereich vor. Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, fortgeschrittene Modelle von Nervenzellen und Netzwerken mit mathematischen und computergestützten Methoden zu analysieren:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden kennen grundlegende und weiterführende Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.</li> <li>• Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.</li> <li>• Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.</li> <li>• Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.</li> <li>• Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Methoden zu lösen.</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der mathematischen Grundvorlesungen, elementare Kenntnisse von Matlab und/oder Python, Inhalt der Lehrveranstaltung <i>Theoretical Neuroscience</i> .			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i>		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Triesch		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		



<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Theoretical Neuroscience 2	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

## 6.2 Zweijährlich oder unregelmäßig angebotene Module

<b>VCOMSYS</b>	<b>Methods for the Study of Complex Systems</b>				<b>CP 4</b>						
Kontaktstudium: 45 h		Selbststudium: 75 h		SWS: 3							
<b>Inhalte</b>											
Iterative Maps, Chaos and Fractals, Nonlinear Stability Analysis, Synchronization, Cellular Automata, Markov Processes, Stochastic Resonance, Information theory, Network theory											
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>											
Das Modul vertieft die Kenntnisse zur theoretischen Beschreibung und Modellierung von Nervensystemen.											
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>											
keine											
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>											
Kenntnisse in Analysis, Linearer Algebra, Statistik											
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>			MSc Physik / FB Physik								
<b>Verwendbarkeit</b>			MSc Physik mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i>								
<b>Häufigkeit des Angebots</b>			unregelmäßig								
<b>Dauer</b>			einsemestrig								
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>			Triesch								
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>			Englisch								
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>											
<b>Teilnahmenachweise</b>			regelmäßige Teilnahme an den Übungen								
<b>Leistungsnachweise</b>			erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet								
<b>Prüfungsvorleistungen</b>			Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht								
<b>Lehr- / Lernformen</b>			Vorlesung, Übung								
<b>Modulprüfung</b>											
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)											
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>				LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
								1	2	3	4
Methods for the Study of Complex Systems				V+Ü	2+1	4	Pf		X		(X)
Summe					3	4					

<b>VRLEARN</b>	<b>Reinforcement Learning</b>		<b>CP 6</b>
Kontaktstudium: 60 h	Selbststudium: 120 h	SWS: 4	
<b>Inhalte</b>			
Markov Decision Processes, Dynamic Programming, Monte Carlo Methods, Temporal Difference Learning, Value Functions, Bellman Equations, Function Approximation, Policy Gradient Methods, Deep Reinforcement Learning, Connection to Psychology and Neuroscience, Applications			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
Dieses Modul bietet eine Einführung in die Theorie und Praxis des Gebiets Reinforcement Learning (Verstärkungslernen). Nach Absolvieren des Moduls sind die Studierenden in der Lage, selbstständig gegebene Probleme durch Anwendung geeigneter Lernalgorithmen zu lösen:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden kennen alle wesentlichen Konzepte und Fachbegriffe und verstehen deren inhaltliche Zusammenhänge.</li> <li>• Die Studierenden können Problemstellungen thematisch einordnen und mit den vermittelten Methoden analysieren.</li> <li>• Die Studierenden können weiterführende Informationen zu einer gegebenen Fragestellung in Fachliteratur und Internet recherchieren.</li> <li>• Die Studierenden können aktuelle wissenschaftliche Publikationen verstehen und wiedergeben.</li> <li>• Die Studierenden besitzen das theoretische und praktische Rüstzeug, um ein gegebenes Problem selbstständig zu untersuchen und durch Anwendung geeigneter Algorithmen zu lösen.</li> </ul>			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Grundkenntnisse in Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	MSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	MSc Physik mit Schwerpunkt <i>Computational Physics</i>		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	zweijährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Triesch		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Englisch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	regelmäßige Teilnahme an den Übungen		
<b>Leistungsnachweise</b>	erfolgreiche Teilnahme an den Übungen; Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		

<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht							
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung, Übung							
<b>Modulprüfung</b>								
grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)								
<b>Lehrveranstaltungen des Moduls</b>	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Reinforcement Learning	V+Ü	3+1	6	Pf		X		(X)
Summe		4	6					

Darüber hinaus können die folgenden Module als Wahlpflichtmodule eingebracht werden (für Details siehe Modulhandbücher BSc/MSc Meteorologie, BSc/MSc Geowissenschaften):

- EMETA: Allgemeine Meteorologie
- EMETA: Allgemeine Klimatologie
- EMETB: Atmospheric Dynamics 1
- EMETB: Atmospheric Dynamics 2
- METTHA: Atmosphärendynamik 3
- METV: Numerical Weather Prediction
- MT: Fortgeschrittene Theorie der Atmosphärischen Dynamik und des Klimas 1
- MT: Fortgeschrittene Theorie der Atmosphärischen Dynamik und des Klimas 2
- SpV2: Internal Gravity Waves
- MK: Globale Klimaprozesse
- MK: Regionale Klimaprozesse
- MWp Gph4: Numerische Methoden der Geodynamik
- BWp 6: Kristallstrukturbestimmung
- BWp 6: Kristallchemie
- BWp 6: Mineralphysik
- BWp 6: Kristallographisches Seminar
- MWp Gph1: Geodynamik: Plattentektonik und Rheologie
- MWp Gph1: Geodynamik: Fluidodynamik und Wärmetransport
- MWp Gph2: Einführung in die Seismologie
- MWp Min5: Computational Mineralogy with Empirical Models
- MWp Min5: Computational Mineralogy with Quantum Mechanical Models

Für die Teilnahme an diesen Importmodulen gelten die Regelungen des jeweiligen Herkunftsstudiengangs.

## 7 Module zu Schlüsselqualifikationen

<b>VPFEI1</b>	<b>Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I</b> (Patent Law – Research – Development – Innovation I)	<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2
<b>Inhalte</b>		
Handhabung geistigen Eigentums am Beispiel der gewerblichen Schutzrechte, insbesondere des Patents. Erhalten, Verteidigen und Durchsetzen von Patenten. Staatliche Innovationspolitik, unternehmerische Forschung und Entwicklung, Technologiemanagement.		
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>		
<b>Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen.</b> In ihm werden grundlegende Kenntnisse über das Patentwesen erworben und die Kompetenz vermittelt, wissenschaftliche Forschung und Entwicklung in ein Unternehmensumfeld einzuordnen.		
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>		
keine		
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>		
keine		
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik	
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Biophysik	
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich	
<b>Dauer</b>	einsemestrig	
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Engel	
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch	
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>		
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine	
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet	
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht	
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung	
<b>Modulprüfung</b>		

grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I (Patent Law – Research – Development – Innovation I)	V	2	3	Pf	X		(X)	
Summe		2	3					

<b>VPFEI2</b>	<b>Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation II</b> (Patent Law – Research – Development – Innovation II)		<b>CP</b> <b>3</b>
Kontaktstudium: 30 h	Selbststudium: 60 h	SWS: 2	
<b>Inhalte</b>			
Bewertung der Patentierbarkeit einer Entwicklung und des Schutzbereichs eines Patents. Innovationsmanagement, Hochtechnologie-Unternehmensgründungen, Kooperation Hochschule – Wirtschaft.			
<b>Lernergebnisse/Kompetenzziele</b>			
<b>Dieses Modul dient dem Erwerb von Schlüsselqualifikationen.</b> In ihm werden Leitsätze wegweisender Entscheidungen zu Patentierbarkeit und des betrieblichen Innovationsmanagements vermittelt. Die Studierenden erwerben die Kompetenz zu entscheiden, welche Forschungsergebnisse patentierbar sind und wie man Patentschutz erlangt und durchsetzt. Außerdem erhalten sie einen Überblick darüber, wie der Übergang von der universitären Forschung zur kommerziellen Anwendung gestaltet werden kann.			
<b>Teilnahmevoraussetzungen für Modul bzw. einzelne Veranstaltungen des Moduls</b>			
keine			
<b>Empfohlene Vorkenntnisse</b>			
Inhalt der Lehrveranstaltung <i>Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I</i>			
<b>Zuordnung (Studiengang/Fachbereich)</b>	BSc Physik / FB Physik		
<b>Verwendbarkeit</b>	BSc Physik, MSc Physik, BSc Biophysik, MSc Bio- physik		
<b>Häufigkeit des Angebots</b>	jährlich		
<b>Dauer</b>	einsemestrig		
<b>Modulbeauftragte / Modulbeauftragter</b>	Engel		
<b>Unterrichts- / Prüfungssprache</b>	Deutsch		
<b>Studiennachweise / Prüfungsvorleistungen</b>			
<b>Teilnahmenachweise</b>	keine		
<b>Leistungsnachweise</b>	Studienleistungen gemäß Studienordnung Physik, unbenotet		
<b>Prüfungsvorleistungen</b>	Erbringen aller Leistungsnachweise, falls Prüfung gewünscht		
<b>Lehr- / Lernformen</b>	Vorlesung		
<b>Modulprüfung</b>			



grundsätzlich keine; auf Wunsch des oder der Studierenden benotete Modulabschlussprüfung in Form einer mündlichen Prüfung (20–40 Min.) oder einer Klausur (45–120 Min.) (Form nach Wahl des Lehrveranstaltungsleiters)

Lehrveranstaltungen des Moduls	LV-Form	SWS	CP	Pf/WP	Semester			
					1	2	3	4
Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation II (Patent Law – Research – Development – Innovation II)	V	2	3	Pf		X		(X)
Summe		2	3					

**Index 1: Modulkürzel**

EP, 8  
FS, 7  
IMPRO, 142  
LEMIKRO, 139  
MA, 9  
PEXFL, 4  
SAG, 6  
SPRO, 5  
VAGN, 35  
VAGR, 28  
VANAHEP, 57  
VANAHEP2, 58  
VANION, 125  
VART, 24  
VARTC, 30  
VASTBIO, 190  
VASTROKZK, 193  
VASTROTEIL, 32  
VATOM1, 82  
VATOM2, 84  
VATOM3, 85  
VATOMB, 86  
VBCMETH, 135  
VBEP, 97  
VBIOMOLDYN, 133  
VBISD, 129  
VBRAIN, 158  
VCADS, 152  
VCOMPSIG, 121  
VCOMSYS, 266  
VCPMML, 172  
VCPSM, 150  
VDAPA, 199  
VDFT, 233  
VDIGEL, 101  
VDIST, 191  
VDP, 55  
VDRIDE, 218  
VEBP, 144  
VEFRG, 246  
VEHLF1, 164  
VEHLF2, 166  
VELSEN, 99  
VENERGNET, 177  
VENGW, 113  
VENTE, 259  
VETRT, 254  
VEXFP1, 60  
VEXFP2, 62  
VEXGMAG, 228  
VEXMETH, 80  
VEXNUAS, 112  
VEXPO, 92  
VEXSUP, 64  
VEXTIP, 66  
VEXTRA, 184  
VFKOS, 197  
VFRG, 222  
VFSTATP, 240  
VGALAX, 185  
VGWAV, 201  
VHABAU, 72  
VHEX, 18  
VHIACC, 131  
VHQM, 12  
VHSPANN, 119  
VHSTATP, 148  
VHYDRO, 208  
VHYMAG, 188  
VIQMPT, 154  
VISM, 37  
VKITRA, 244  
VKMFI, 224  
VKMTP, 174  
VKOED, 180  
VKOSMO, 26  
VKPLT, 88  
VKRISZ, 74  
VKT1, 48  
VKT2, 49  
VKT3, 51  
VKT4, 53  
VLASAC, 127  
VLASOPT, 70  
VLGT, 204  
VLINAC, 102  
VMAFE, 242  
VMALE, 255  
VMALE2, 257  
VMCM, 156  
VMCMCS, 226  
VMDLEARN, 22  
VMSDA, 182  
VMUKLA, 123  
VNANOEL, 68  
VNGTD, 170  
VNNASTRO, 27  
VNONDIS, 14  
VNUMP, 146

VPFADQM, 238  
VPFEI1, 270  
VPFEI2, 272  
VPLAHER1, 115  
VPLAHER2, 117  
VPLANSYS, 195  
VPLASMA, 90  
VPSOC, 20  
VQFT1, 43  
VQFT2, 45  
VQFTCS, 203  
VQI, 175  
VQMD, 235  
VQMPT, 237  
VQTLAT, 47  
VQTNON, 15  
VRENORM, 220  
VRLEARN, 267  
VSELFORG, 168  
VSKTG1, 210  
VSKTG2, 212  
VSPRACH, 260  
VSRT, 162  
VSTAFOR, 34  
VSTAFT, 216  
VSTATP, 206  
VSTERN, 186  
VSTRAMA, 196  
VSTUMBPH, 137  
VSUPAC, 106  
VSYNCR, 104  
VTHASTRO, 187  
VThERA, 179  
VTHFP1, 76  
VTHFP2, 78  
VTHKP1, 39  
VTHKP2, 41  
VTHNEU, 262  
VTHNEU2, 264  
VTHPLAS, 252  
VTHQO, 250  
VTHSUP, 230  
VTHZSPEC, 95  
VTQFT, 214  
VTRANS, 16  
VTSM, 231  
VUKQG, 248  
VVAKP1, 108  
VVAKP2, 110  
VVISY, 160

## Index 2: Modultitel

- Abbildungsmethoden der modernen Atomphysik, 86  
 Advanced General Relativity, 28  
 Advanced Introduction to C++, Scientific Computing and Machine Learning, 172  
 AGN Physik, 35  
 Allgemeine Relativitätstheorie, 24  
 Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer, 30  
 Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik, 57  
 Arbeitsgruppenseminar, 6  
 Astrobiologie, 190  
 Astrophysikalische Beschreibung von Strahlung und Materie, 196  
 Astrophysikalische Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Kalenderrechnung, 193  
 Astroteilchenphysik, 32  
 Atomphysik 1, 82  
 Atomphysik 2, 84  
 Atomphysik 3, 85  
 Ausgewählte Methoden der experimentellen Festkörperphysik, 80  
  
 Beschleuniger Strahlinstrumentierung und Diagnose, 129  
 Bildverarbeitung, 142  
 Biochemische Methoden in der Biophysik, 135  
 Biomolekulare Dynamik — Messmethoden und Anwendungen von Femtosekunden bis Sekunden, 133  
 Brain Dynamics: From Neuron to Cortex, 158  
  
 Complex Adaptive Dynamical Systems, 152  
 Complex Renewable Energy Networks, 177  
 Computational Physics and Simulations in Matlab, 150  
  
 Datenanalyse in Physik und Astronomie, 199  
 Density Functional Theory, 233  
 Die Funktionale Renormierungsgruppe und ihre Anwendung auf QCD und Gravitation, 222  
 Digitale Elektronik, 101  
 Dynamik des Planetensystems, 195  
  
 Einführung in die Beschleunigerphysik, 97  
 Einführung in die Biophysik, 144  
 Einführung in die Funktionale Renormierungsgruppe, 246  
 Einführung in die Quantenfeldtheorie und das Standardmodell der Teilchenphysik, 43  
 Einführung in die Supraleitung, 64  
  
 Einführung in die Terahertz-Spektroskopie, 95  
 Einführung in die Theoretische Festkörperphysik, 76  
 Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik I, 39  
 Einführung in die Theoretische Kern- und Elementarteilchenphysik II, 41  
 Elektronik und Sensorik, 99  
 Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen, 68  
 Energietechnik, 259  
 Erarbeiten eines Projekts, 8  
 Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 1, 164  
 Erweiterter Hamilton-Lagrange Formalismus in Punktmechanik und Feldtheorie 2, 166  
 Experimente zur nuklearen Astrophysik, 112  
 Experimentelle Festkörperphysik 1, 60  
 Experimentelle Festkörperphysik 2, 62  
 Experimentelle Tests der Relativitätstheorie, 254  
 Experimentelle Tieftemperaturphysik, 66  
  
 Fachliche Spezialisierung, 7  
 Forschungs- und Laborpraktikum, 4  
 Fortgeschrittene Analysemethoden der Experimentellen Hochenergiephysik, 58  
 Fortgeschrittene Kosmologie, 197  
 Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie und Quantenchromodynamik, 45  
 Fortgeschrittene Statistische Physik: Nichtgleichgewicht, kritische Phänomene und Renormierungsgruppe, 240  
  
 Gittereichtheorie, 204  
 Gravitationswellen, 201  
 Grundlagen der Analytik und Oberflächenmodifizierung mit Ionenstrahlen, 125  
 Grundlagen der computergestützten Signalverarbeitung, 121  
 Grundlagen der Kristallzüchtung, 74  
  
 Höhere Quantenmechanik, 12  
 Höhere Statistische Physik: Vielteilchensysteme im Nicht-Gleichgewicht, 148  
 Höhere Experimentalphysik, 18  
 Halbleiter- und Bauelementephysik, 72  
 Hochintensitätsbeschleuniger und ihre Anwendungen, 131  
 Hydrodynamics and Magnetohydrodynamics, 188  
 Hydrodynamik und Transporttheorie, 208  
  
 Innere Struktur und Dynamik der Sterne, 186

- Introduction to Machine and Deep Learning and applications in physics and beyond, 22
- Introduction to physical kinetics, transport theory, and disordered systems, 244
- Introduction to Quantum Many-Particle Theory, 154
- Is Quantum Theory Intrinsically Nonlinear?, 15
- Kern- und Teilchenphysik 4, 53
- Kernphysikalische Methoden in Forschung und Industrie, 224
- Konzepte der modernen theoretischen Physik, 174
- Kosmologie, 26
- Kovariante Elektrodynamik und spezielle Relativitätstheorie, 180
- Kurzpulslasertechnologie und Starkfeldionisation von Atomen und Molekülen, 88
- Laser- und Optoelektronik, 70
- Lasieranwendungen in der Beschleunigerphysik, 127
- Licht- und Elektronenmikroskopie mit Bildverarbeitung, 139
- Linearbeschleuniger, 102
- Magnetismus — Grundlagen, Methoden, Materialien, 228
- Markov chain Monte Carlo simulations and their statistical analysis, 226
- Maschinenlern-Verfahren und ihre Anwendung in Mustererkennung, KI und Suchmaschinen-Tech nik, 255
- Maschinenlernverfahren II und ihr Einsatz in Datenanalyse und Signal-/Sprachverarbeitung, 257
- Masterarbeit, 9
- Methods for the Study of Complex Systems, 266
- Modern Statistical Data Analysis for Practitioners, 182
- Monte Carlo Methoden in der Statistischen Physik und Feldtheorie, 156
- Musterklassifikation und Signalschätzung, 123
- Nano-Optik und Kohärente Optik (früher: Moderne Experimentelle Optik), 92
- Nichtgleichgewichtsthermodynamik, 170
- Nonlinearities and Dissipation in Classical and Quantum Physics, 14
- Nuclear and Neutrino Astrophysics, 27
- Numerische Methoden der Physik, 146
- Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation I, 270
- Patentrecht – Forschung – Entwicklung – Innovation II, 272
- Pfadintegrale in der Quantenmechanik und in der Statistischen Physik, 238
- Physik der Energiegewinnung, 113
- Physik der Teilchendetektoren, 55
- Physik sozio-ökonomischer Systeme mit dem Computer, 20
- Physik und Anwendungen der Hochspannungstechnik, 119
- Physik und Chemie des Interstellaren Mediums, 37
- Physik von Driftdetektoren, 218
- Plasmaphysik, 90
- Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor I, 115
- Plasmen hoher Energiedichte und Röntgenstrahlung im Universum und Labor II, 117
- Proseminar, 5
- Quantenfeldtheorie in gekrümmter Raumzeit, 203
- Quanteninformation und Ultrakalte Atome, 248
- Quantenwahrscheinlichkeit und Informationsverarbeitung, 175
- Quantum Molecular Dynamics, 235
- Quantum Theory on the Lattice, 47
- Quarkstruktur der Materie, 48
- Reinforcement Learning, 267
- Renormierung in der Quantenfeldtheorie, 220
- Ringbeschleuniger und Speicherringe, 104
- Schwache Wechselwirkung und fundamentale Symmetrien, 49
- Self-Organization: Theory and Simulations, 168
- Spezielle Relativitätstheorie, 162
- Sprachakustik und Sprachsignalverarbeitung, 260
- Starke Kernkraft und Kernmodelle, 51
- Statistische Feldtheorie, 216
- Statistische Physik und kritische Phänomene, 206
- Stern- und Planetenentstehung, 34
- Strahlen- und Umweltbiophysik, 137
- Struktur und Dynamik der Galaxis, 185
- Struktur und Dynamik Extragalaktischer Systeme, 184
- Supraleitung in der Beschleuniger- und Fusions-technologie, 106
- Theoretical Neuroscience, 262
- Theoretical Neuroscience 2, 264
- Theoretical Quantum Optics, 250
- Theoretische Astrophysik, 187
- Theoretische Plasmaphysik, 252
- Theorie der Supraleitung, 230
- Theorie des Magnetismus, der Supraleitung und der elektronischen Korrelationen, 78
- Theorie starker Magnetfelder in der Festkörperphysik, 242
- Thermische Quantenfeldtheorie, 214
- Thermodynamik im Alltag, 179

- Topological States of Matter, 231
- Transporttheorie, 16
  
- Vakuumphysik I, 108
- Vakuumphysik II, 110
- Verteilungsfunktionen in der Astrophysik, 191
- Vielteilchenphysik, 237
- Visual System – Neural Structure, Dynamics, and  
Function, 160
- Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Trans-  
portgleichungen I: Vielteilchensysteme im  
thermischen Gleichgewicht, 210
- Von der Quantenfeldtheorie zu semiklassischen Trans-  
portgleichungen II: Vielteilchensysteme im  
Nichtgleichgewicht, 212