

Modulhandbuch
zum Studiengang
Physik, Bachelor of Science
der Technischen Universität Dortmund
Version: 15. April 2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Erläuterungen	2
Inhaltsübersicht	4
Module Semester 1-4.....	10
Module Semester 5 und 6.....	44

Erläuterungen

Die Module des Fachs Physik sind hier mit einer Nummer der Form **PHYklmn** versehen. Dabei ist

- ⤴ **k** die Nummer des Semesters in dem dieses Modul normalerweise begonnen werden kann. Die Semester des Bachelor- und Masterstudiengangs sind dabei fortlaufend nummeriert, also $k=1, \dots, 6$ für den Bachelorstudiengang und $k=7, \dots, 10$ für den Masterstudiengang,
- ⤴ **l** die Art der Veranstaltung:
l=1: Theoretische und experimentelle Physik, z.B. integrierter Kurs;
l=2: Experimentalphysik;
l=3: Theoretische Physik;
l=4 Experimentelle Übung (Praktikum),
- ⤴ **mn** eine Ordnungsnummer.

Die im Bachelorstudiengang verwendeten Importmodule aus der Mathematik, Chemie und Informatik sind in der von den anbietenden Fakultäten veröffentlichten Form aufgeführt. Sie sind daher auch nicht nach dem oben beschriebenen Schema nummeriert und die Beschreibungen sind unterschiedlich gestaltet.

Die Module des Wahlbereichs bzw. des allgemeinen Vertiefungsgebiets im Bachelorstudiengang und im Masterstudiengang sind den Modulkatalogen der anbietenden Fakultäten zu entnehmen. Diese sind durch die jeweiligen Prüfungsordnungen näher bestimmt. Die Auswahl der möglichen Module geschieht in Abstimmung zwischen den beteiligten Fächern bzw. Fakultäten. Ein starrer Katalog ist im Interesse der Flexibilität und der Anpassung an neue Entwicklungen in der Wissenschaft und im Berufsfeld nicht sinnvoll. Als Anhaltspunkt für mögliche Kombinationen von Modulen in diesen Bereichen werden Beispiele für bewährte Kombinationen von Veranstaltungen im Internet publiziert.

Auch die Liste der Wahlmodule für den Wahlbereich bzw. das physikalische Vertiefungsgebiet ist nicht als exklusiv oder starr anzusehen. Auch hier müssen neue Entwicklungen berücksichtigt werden können; weiterhin sollen auch Lehrveranstaltungen von Gastdozentinnen und Gastdozenten sowie die Lehrveranstaltungen der an der Fakultät habilitierten externen (ISAS, DESY etc.) Lehrenden sowie weitere nicht regelmäßig stattfindende Lehrveranstaltungen in diesen Bereichen Verwendung finden können.

Für den Wahlbereich bzw. das physikalische Vertiefungsgebiet sind keine festen Module oder Modulkombinationen vorgeschrieben worden, um den Studierenden eine individuelle Schwerpunktsetzung, insbesondere im Masterstudiengang, zu ermöglichen. Diese Schwerpunktsetzung erfolgt in Abstimmung mit den Lehrenden, der Studienberatung und dem Prüfungsausschuss. Es hat sich gezeigt, dass sich ein Kanon von sinnvollen Standardkombinationen herausbildet, an dem sich die Studierenden orientieren.

Viele der Wahlmodule sind daher bewusst klein (3 LP) gehalten, um den Studierenden in Abstimmung mit den Lehrenden eine optimale Anpassung an individuelle Vertiefungswünsche zu ermöglichen. Beispielsweise könnte das Modul 825 (Grundlagen der Detektorphysik, 3LP) zusammen mit 823 (Astroteilchenphysik, 6LP) und 7210 (Seminar: Teilchen- und Astroteilchenphysik, 3LP) ein sinnvolles physikalisches Vertiefungsgebiet im Hinblick auf eine Masterarbeit in der Astroteilchenphysik sein. Dasselbe Modul 825 kann aber auch mit 622 (Einführung Medizinphysik, 8 LP) und Strahlentherapie und Dosimetrie (aus dem Studiengang Medizinphysik) für eine Spezialisierung in der Medizinphysik eingesetzt werden, oder, noch anders kombiniert, in der traditionellen Teilchenphysik an Beschleunigern. Eine erschöpfende Auflistung *aller* möglichen Kombinationen erscheint im Interesse der Übersichtlichkeit nicht

sinnvoll.

Das Modul „Physikalisches Hauptseminar“ nach §10 der Master-Prüfungsordnung ist fachlich nicht näher spezifiziert, da alle Arbeitsgruppen der Fakultät regelmäßig Seminare auf dem entsprechenden Niveau anbieten. Einige davon sind im Modulkatalog explizit beschrieben, um darauf hinzuweisen, dass sie sich in Kombination mit anderen Modulen gut für ein Vertiefungsgebiet eignen; ein Beispiel dafür ist etwa PHY726. Selbstverständlich kann ein für ein Vertiefungsgebiet verwendetes Seminar nicht nochmals als Physikalisches Hauptseminar verwendet werden. Leistungspunkte für Seminare werden nur bei regelmäßiger aktiver Teilnahme an den Seminardiskussionen vergeben; außerdem muss ein eigener Beitrag vorgetragen werden.

Wie an den meisten Physikfakultäten und -Fachbereichen üblich, rotieren die Pflichtveranstaltungen und die größeren Wahlveranstaltungen unter den Lehrenden; daher wird in den Modulbeschreibungen auf Namensangaben der Lehrenden verzichtet.

Für die Mehrzahl der Module im Fach Physik ist die verwendete Literatur in den Modulbeschreibungen angegeben. Weitere Literatur wird jeweils zu Beginn eines Moduls von den aktuellen Lehrenden bekanntgegeben, auf Anfrage auch im Voraus.

Viele Module aus dem Bachelor- oder Master-Studiengang Medizinphysik können auch in den Bachelor- und Master-Studiengängen Physik verwendet werden, beispielsweise die Module Medizinphysik I und II und andere Module, deren Inhalte nicht weitgehend durch Pflicht-Wahlpflicht- oder Wahlmodule der Bachelor- und Master-Studiengänge Physik abgedeckt werden. Diese Module sind im entsprechenden Modulhandbuch des Master-Studienganges Medizinphysik beschrieben.

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht				
Modul		Name	Studien- gang	CP
	Mathematik 1	Höhere Mathematik I für P/ET-IT/AI	P,B	9
	Mathematik 2	Höhere Mathematik II für P/ET-IT/AI	P,B	9
	Mathematik 3	Höhere Mathematik III für P/ET-IT/AI	P,B	9
	Mathematik 4a	Höhere Mathematik IV für P	P,B	6
	Mathematik 4b	Numerische Mathematik für Physik und Ingenieurwissenschaften	P,B	6
	Chemie	Allgemeine und anorganische Chemie für Physik (Vorlesung)	WP,B	6
	Chemie	Allgemeine und anorganische Chemie für Physik (Praktikum)	WP,B	4
	Informatik	Einführung in die Programmierung (Varianten mit/ohne Praktikum)	WP,B	12/ 9
		Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1 (DAP 1)	WP,B	
PHY111	Physik 1	Physik I	P,B	15
PHY211	Physik 2	Physik II	P,B	15
PHY212	Wahlmodul	Grundlagen wissenschaftlicher Datenverarbeitung am Computer	W,B	3
PHY311	Physik 3	Physik III	P,B	15
PHY 341/441	Praktikum	Experimentelle Übungen I und II	P,B	12
PHY411	Physik 4	Physik IV	P,B	15
PHY412	Wahlmodul	Grundbegriffe der Physik (Varianten a und b)	W,BM	6 / 5
PHY421	Wahlmodul	Instrumente der modernen Physik	W,BM	5
PHY422	Wahlmodul	Introduction to particle accelerator physics	W,B	3
PHY513	Wahlmodul	Seminar: Die Physik und Technik bei Star Trek	W,B	3
PHY515	Wahlmodul	Seminar: Physik des Segelns	W,BM	3
PHY521	Physik 5	Einführung in die Festkörperphysik	P,B	9
PHY522	Physik 6	Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik	P,B	9
PHY523a	Wahlmodul	Statistische Methoden der Datenanalyse / SMD A	W,BM	5
PHY523b	Wahlmodul	Statistische Methoden der Datenanalyse / SMD B	W,BM	5

Inhaltsübersicht				
Modul		Name	Studien- gang	CP
PHY524	Wahlmodul	Physik und Technik der Verifikation von Rüstungsbegrenzungsverträgen	W,BM	3
PHY525	Wahlmodul	Statistische Methoden der Datenanalyse 2	W,BM	3
PHY526a	Wahlmodul	Laserphysik	W,BM	5
PHY526b	Wahlmodul	Laserphysik	W,BM	3
PHY528	Wahlmodul	Seminar: Kernenergie und andere Energiefragen	W,BM	3
PHY529	Wahlmodul	Teilchenphysik 1	W,B	3
PHY5210V	Wahlmodul	Vorlesung Magnetismus	W,BM	6
PHY5210S	Wahlmodul	Seminar Magnetismus	W,BM	3
PHY5211	Wahlmodul	Materials for Nanoelectronics and High-Speed Quantum Electronic Devices	W,BM	5
PHY5214	Wahlmodul	Literaturseminar Ultrakurzzeitphysik	W,BM	3
PHY5216	Wahlmodul	Seminar: Photovoltaik	W,BM	3
PHY5217	Wahlmodul	Streuethoden in der Festkörperphysik	W,BM	5
PHY5218	Wahlmodul	Einführung in die Quantentechnologien	W,BM	3
PHY531	Physik 7	Thermodynamik und Statistik	P,B	9
PHY533	Wahlmodul	Gruppentheorie in der Physik I	W,BM	6
PHY534	Wahlmodul	Einführung in die Quantenfeldtheorie der Elementarteilchen	W,BM	3
PHY535	Wahlmodul	Kosmologie, Quantenkosmologie, Gravitationswellen	W,BM	9
PHY536	Wahlmodul	Seminar: Physik und Philosophie der Zeit	W,BM	3
PHY537	Wahlmodul	Gruppentheorie in der Physik II	W,BM	5
PHY538	Wahlmodul	Gruppentheorie in der Festkörperphysik	W,BM	6
PHY539	Wahlmodul	Seminar: Condensed Matter Meets Particle Physics	W,BM	3
PHY541	Wahlmodul	Modern Methods in Experimental Quantum Physics	W,B	3
PHY611	Bachelor- arbeit	Bachelorarbeit mit Vortrag	P,B	10
PHY621	Wahlmodul	Elektronik	W,BM	8
PHY622	Wahlmodul	Einführung in die Medizinphysik / Medizinphysik I	W,BM	8
PHY623	Wahlmodul	Magnetische Resonanz	W,BM	5

Inhaltsübersicht				
Modul		Name	Studien- gang	CP
PHY624	Wahlmodul	Seminar: Spezielle Themen der experimentellen Teilchenphysik	W,BM	3
PHY625	Wahlmodul	Physik und Technologie von Halbleiternanostrukturen	W,BM	3
PHY626	Wahlmodul	Maschinelles Lernen für Physiker*innen	W,BM	4
PHY627	Wahlmodul	Seminar: Aktuelle Themen und Techniken aus der Oberflächenphysik	W,BM	3
PHY628	Wahlmodul	Fortgeschrittene nichtlineare spektroskopische Methoden in der Festkörperphysik	W,BM	3
PHY629	Wahlmodul	Seminar: Angewandte Dosimetrie	W,BM	3
PHY6210	Wahlmodul	Methoden der klinischen Forschung	W,BM	5
PHY6211	Wahlmodul	Anwendungen des maschinellen Lernens in der Medizinphysik	W,BM	3
PHY6212	Wahlmodul	Superconductivity	W,(B)M	3
PHY6213	Wahlmodul	Halbleiterphysik	W,BM	5
PHY6214	Wahlmodul	Cold atoms and molecules	W,BM	6
PHY6215	Wahlmodul	Quantum Technologies with Atoms and Photons	W,BM	3
BP12	Wahlmodul	Physik des Lebens	W,BM	6
PHY631	Wahlmodul	Höhere Quantenmechanik	W,BM	6
PHY632	Wahlmodul	Computational Physics	W,BM	9
PHY633	Wahlmodul	Theorie weicher und biologischer Materie	W,BM	6
PHY634	Wahlmodul	Allgemeine Relativitätstheorie	W,BM	6
PHY635	Wahlmodul	Advanced Solid State Physics I: Semiconductors and Light-Matter Interaction	W,BM	6
PHY641	Praktikum 3	Fortgeschrittenenpraktikum (Bachelor)	P,B	6
PHY712	Wahlmodul	Beschleunigerphysik I	W,BM	6
	Wahlmodul	Ethik der Naturwissenschaften	W,BM	3
PHY713	Wahlmodul	Seminar: Soft Matter und Biophysik: Experiment und Theorie	W,(B)M	3
PHY724	Wahlmodul	Messmethoden in der Oberflächenphysik	W,BM	6
PHY725	Wahlmodul	Introduction to Optical Properties of Solids	W,BM	3
PHY726	Wahlmodul	Seminar: Beschleunigerphysik und Synchrotronstrahlung - Anwendungen in der Festkörperphysik	W,BM	3

Inhaltsübersicht				
Modul		Name	Studien- gang	CP
PHY727	Wahlmodul	Atomar aufgelöste Oberflächen- und Grenzflächenanalyse	W,BM	3
PHY728	Wahlmodul	Seminar: Festkörperspektroskopie	W,BM	3
PHY729	Wahlmodul	Seminar: Laser – Arten und Anwendungen	W,BM	3
PHY7210	Wahlmodul	Seminar: Teilchen- und Astroteilchenphysik	W,BM	3
PHY7211	Wahlmodul	Seminar: Neutrino- und Gammaastronomie	W,BM	3
PHY7212	Wahlmodul	Seminar: Teilchenphysikalische Aspekte Kosmischer Strahlung	W,BM	3
PHY7213	Wahlmodul	Seminar: Moderne Optik	W,BM	3
PHY7215	Wahlmodul	Seminar: Lesekurs zur Teilchenphysik	W,BM	3
PHY7217	Wahlmodul	Seminar: Radioastronomie	W,BM	3
PHY7218	Wahlmodul	Seminar: Kosmische Strahlung	W,BM	3
PHY7219a	Wahlmodul	Physikalisch-Chemische Analytik 1a, Angewandte Spektrometrie	W,BM	3
PHY7220a	Wahlmodul	Physikalisch-Chemische Analytik 2a, Angewandte Plasmaphysik	W,BM	3
PHY7221a	Wahlmodul	Physikalisch-Chemische Analytik 3a, Angewandte Laserspektrometrie	W,BM	3
PHY7219b	Wahlmodul	Physikalisch-Chemische Analytik 1b, Angewandte Spektrometrie (mit Praktikum)	W,BM	5
PHY7220b	Wahlmodul	Physikalisch-Chemische Analytik 2b, Angewandte Plasmaphysik (mit Praktikum)	W,BM	5
PHY7224	Wahlmodul	Seminar: Informationstechnologie der Zukunft	W,BM	3
PHY7225	Wahlmodul	Tandem-Projekte in der Teilchenphysik	W,BM	6
PHY7235	Wahlmodul	Advanced Solid State Physics II: Magnetism and Superconductivity	W, BM	6
PHY7236	Wahlmodul	Quantum Simulation with cold atoms and molecules	W,BM	3
PHY734	Wahlmodul	Seminar: Theorie stark korrelierter Systeme in der Festkörperphysik	W,BM	3
PHY736	Wahlmodul	Seminar: Physik jenseits des Standardmodells (BSM-Seminar)	W,BM	3
PHY737	Wahlmodul	Seminar: Theoretische Probleme der kondensierten Materie	W,BM	3
PHY823	Wahlmodul	Astroteilchenphysik	W,BM	6

Inhaltsübersicht				
Modul		Name	Studien- gang	CP
PHY823.2	Wahlmodul	Astroteilchenphysik II	W,BM	3
PHY825	Wahlmodul	Grundlagen der Detektorphysik	W,M	3
PHY827	Wahlmodul	Seminar: Falsche Entdeckungen in der Teilchenphysik	W,BM	3
PHY8212	Wahlmodul	Licht-Materie-Wechselwirkung	W,BM	6
PHY8213	Wahlmodul	Seminar: Licht-Materie-Wechselwirkung	W,BM	3
PHY8214	Wahlmodul	Introduction to the clinical application of magnetic resonance imaging	W,BM	6
PHY8215	Wahlmodul	Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild	W,BM	6
PHY8216	Wahlmodul	Ultrafast spintronics and light driven magnetisation dynamics	W,BM	3
PHY832	Wahlmodul	Kosmologie	W,BM	3
PHY838	Wahlmodul	Theory of soft and biological matters II	W,BM	5
PHY839	Wahlmodul	Advanced Methods in Theoretical High-Energy Physics	W, BM	2/3
	Wahlmodul	Thin film growth: From low-dimensional physics to industrial applications	W,BM	
PHY847	Wahlmodul	Seminar: Präsentationstechniken	W, BM	3

W=Wahlmodul, WP=Wahlpflicht, P=Pflicht

B=Bachelor, M=Master

Modul: Höhere Mathematik I für Physik, Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik (P/ET-IT/AI)				
Bachelor-Studiengänge: Physik, Medizinhypothese, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik				
Turnus Jährlich zum WS	Dauer 1 Semester	Studienabschnitt 1. Semester	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Höhere Mathematik I für P/ET-IT/AI	V	6	4
	2	Übungen zu Höhere Mathematik I für P/ET-IT/AI	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache Deutsch				
3	Lehrinhalte Dieses Modul vermittelt die grundlegenden mathematischen Begriffe der Analysis und der Linearen Algebra. Die Vorlesung (Element 1) beginnt mit der Einführung der reellen und komplexen Zahlen. Es folgen aus der Analysis die Themen 'Folgen und Reihen' sowie 'Stetigkeit, Differenzierbarkeit und Integration von Funktionen einer Veränderlichen'. Im Teil für Lineare Algebra werden 'Vektorräume und Lineare Abbildungen' sowie 'Determinanten und Eigenwerte' diskutiert. Die Übungen (Element 2) dienen der Vertiefung der Lehrinhalte, der Einübung wichtiger Rechentechniken und der Anwendung auf konkrete Probleme der Physik und Ingenieurwissenschaften. Sie sind zweistündig und bestehen in der Regel aus der Diskussion der bearbeiteten Hausaufgaben und weiteren Übungsaufgaben.				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen die grundlegenden mathematischen Methoden sowie einige Standardanwendungen erlernen.				
5	Prüfungen Physik: Unbenotete Modulprüfung. Als Zulassungsvoraussetzung ist eine Studienleistung zu erbringen. Die Details werden durch die jeweilige Dozentin / den jeweiligen Dozenten in der Veranstaltungsankündigung bekannt gemacht.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Empfohlen wird die Beherrschung des Schulstoffs Mathematik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul in den Bachelorstudiengängen Physik, Medizinhypothese, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik				
9	Modulbeauftragte/r Studiendekan/in der Fakultät für Mathematik		Zuständige Fakultät Fakultät für Mathematik		

Modul: Höhere Mathematik II für Physik, Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik (P/ET-IT/AI)				
Bachelor-Studiengänge: Physik, Medizintechnik, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik				
Turnus Jährlich zum SS	Dauer 1 Semester	Studienabschnitt 2. Semester	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Höhere Mathematik II für P/ET-IT/AI	V	6	4
	2	Übungen zu Höhere Mathematik II für P/ET-IT/AI	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache Deutsch				
3	Lehrinhalte Dieses Modul setzt das Modul <i>Höhere Mathematik I für P/ET-IT/AI</i> fort. Die Vorlesung (Element 1) besteht aus den Themenkomplexen 'eindimensionale Integralrechnung', 'mehrdimensionale Differentialrechnung', 'mehrdimensionale Integralrechnung' und 'Gewöhnliche Differentialgleichungen'. Die Übungen (Element 2) dienen der Vertiefung der Lehrinhalte, der Einübung wichtiger Rechentechniken und der Anwendung auf konkrete Probleme der Physik und Ingenieurwissenschaften. Sie sind zweistündig und bestehen in der Regel aus der Diskussion der bearbeiteten Hausaufgaben und weiteren Übungsaufgaben.				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen die grundlegenden mathematischen Methoden sowie einige Standardanwendungen erlernen bzw. weiter vertiefen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung. Als Zulassungsvoraussetzung ist eine Studienleistung zu erbringen. Die Details werden durch die jeweilige Dozentin / den jeweiligen Dozenten in der Veranstaltungsankündigung bekannt gemacht.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Solide Kenntnisse aus Höhere Mathematik I für P/ET-IT/AI				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul in den Bachelorstudiengängen Physik, Medizintechnik, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik				
9	Modulbeauftragte/r Studiendekan/in der Fakultät für Mathematik		Zuständige Fakultät Fakultät für Mathematik		

Modul: Höhere Mathematik III

für Physik, Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik (P/ET-IT/AI)

Bachelor-Studiengänge: Physik, Medizinphysik, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik

Turnus Jährlich zum WS	Dauer 1 Semester	Studienabschnitt 3. Semester	Credits 9	Aufwand 270 h
----------------------------------	----------------------------	--	---------------------	-------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Höhere Mathematik III für P/ET-IT/AI	V	6	4
	2	Übungen zu Höhere Mathematik III für P/ET-IT/AI	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache Deutsch				
3	Lehrinhalte Dieses Modul setzt das Modul <i>Höhere Mathematik II für P/ET/IT/AI</i> (Modul S-P200) fort. Die Vorlesung (Element 1) führt die Themenkomplexe der Höheren Mathematik II fort. Dann folgen die Themen 'Funktionentheorie', 'Fourieranalysis' und 'Integraltransformationen' sowie eine Einführung in die Partiellen Differentialgleichungen. Die Übungen (Element 2) dienen der Vertiefung der Lehrinhalte, der Einübung wichtiger Rechentechniken und der Anwendung auf konkrete Probleme der Physik und Ingenieurwissenschaften. Sie sind zweistündig und bestehen in der Regel aus der Diskussion der bearbeiteten Hausaufgaben und weiteren Übungsaufgaben.				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen die grundlegenden mathematischen Methoden sowie einige Standardanwendungen erlernen bzw. weiter vertiefen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung. Als Zulassungsvoraussetzung ist eine Studienleistung zu erbringen. Die Details werden durch die jeweilige Dozentin / den jeweiligen Dozenten in der Veranstaltungsankündigung bekannt gemacht.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Solide Kenntnisse aus Höhere Mathematik I und II für P/ET/IT/AI				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul in den Bachelorstudiengängen Physik, Medizinphysik, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik				
9	Modulbeauftragte/r Studiendekan/in der Fakultät für Mathematik		Zuständige Fakultät Fakultät für Mathematik		

Modul: Höhere Mathematik IV
für Physik

Bachelor-Studiengänge: Physik

Turnus: Jährlich zum SS	Dauer 1 Semester	Studienabschnitt 4. Semester	Credits 6	Aufwand 180 h
-----------------------------------	----------------------------	--	---------------------	-------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Höhere Mathematik IV für Physik	V + Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache Deutsch				
3	Lehrinhalte Dieses Modul setzt das Modul <i>Höhere Mathematik III für P/ET-IT/AI</i> fort. In der Veranstaltung werden einige fortgeschrittene und für physikalische Anwendungen besonders relevante Themenkomplexe der Analysis erarbeitet. Als solche eignen sich in besonderer Weise die Themen 'Hilberträume', 'Variationsrechnung', 'Differentialformen und Distributionen' und 'Dynamische Systeme'. Die Übungen dienen der Vertiefung der jeweiligen Lehrinhalte, der Einübung wichtiger Rechentechniken und ihrer Anwendung auf konkrete Probleme. Sie bestehen in der Regel aus der Diskussion der bearbeiteten Hausaufgaben und weiteren Übungsaufgaben.				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen fortgeschrittene mathematische Methoden sowie einige Standardanwendungen erlernen bzw. weiter vertiefen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung in Form einer Klausurarbeit (90min). Als Zulassungsvoraussetzung ist eine Studienleistung zu erbringen. Die Details werden durch die jeweilige Dozentin / den jeweiligen Dozenten in der Veranstaltungsankündigung bekannt gemacht.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung:				
7	Teilnahmevoraussetzungen Solide Kenntnisse in Höhere Mathematik I - III für P/ET-IT/AI				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflicht-Teilmodul im Bachelorstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Studiendekan/in der Fakultät für Mathematik		Zuständige Fakultät Fakultät für Mathematik		

Modul: Numerische Mathematik für Physik und Ingenieurwissenschaften				
Bachelor-Studiengänge: Physik, Chemieingenieurwesen, Bioingenieurwesen, Bauingenieurwesen				
Turnus Jährlich zum SS	Dauer 1 Semester	Studienabschnitt 4. oder 6. Semester	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Numerische Mathematik für Physik und Ingenieurwissenschaften	V + Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Dieses Modul setzt das Modul <i>Höhere Mathematik III für P/ET-IT/AI</i> fort. In der Veranstaltung werden Methoden der Numerischen Mathematik zur praktischen Lösung numerischer Standardaufgaben (Interpolation, Integration, Gleichungssysteme, Differentialgleichungen, ...) behandelt. Die Übungen dienen der Vertiefung der jeweiligen Lehrinhalte, der Einübung wichtiger Rechentechniken und ihrer Anwendung auf konkrete Probleme. Sie sind zweistündig und bestehen in der Regel aus der Diskussion der bearbeiteten Hausaufgaben und weiteren Übungsaufgaben. Die Veranstaltung vermittelt Grundlagen der numerischen Behandlung von Problemen, die in den Ingenieurwissenschaften und in der Physik vielfach auftreten: 1. Numerische Lineare Algebra (Lösung großer linearer Gleichungssysteme, Konditionierung, iterative Löser, Eigenwertberechnung) 2. Lösung nichtlinearer Gleichungssysteme (Newton-Verfahren und Varianten) 3. Optimierung (lineare Programmierung, nichtlineare Probleme) 4. Numerische Behandlung gewöhnlicher Differentialgleichungen (Ein- und Mehrschrittverfahren, Steifheit von Differentialgleichungen, Randwertprobleme)				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen fortgeschrittene mathematischen Methoden sowie einige Standardanwendungen erlernen bzw. weiter vertiefen. Die Studierenden kennen wesentliche mathematische Grundlagen zur numerischen Lösung von Anwendungsproblemen und gewinnen in den praktischen Übungen am Computer eigene Erfahrungen bei der Realisierung numerischer Algorithmen und bei der Anwendung geläufiger Verfahren auf Beispielprobleme. Sie können auf dieser Grundlage die Möglichkeiten und Grenzen der numerischen Lösungsverfahren einschätzen und passende Methoden für praktische Probleme auswählen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung in Form einer Klausurarbeit (90min). Als Zulassungsvoraussetzung ist eine Studienleistung zu erbringen. Die Details werden durch die jeweilige Dozentin / den jeweiligen Dozenten in der Veranstaltungsankündigung bekannt gemacht.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung:				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in Höhere Mathematik I - III für P/ET/IT/AI bzw. Höhere Mathematik I-IIIa für MB/BCI/BW; ggf. weitere Veranstaltungen des Studienfachs				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflicht-(Teil-)Modul im Bachelorstudiengang Physik				

9	Modulbeauftragte/r Studiendekan/in der Fakultät für Mathematik	Zuständige Fakultät Fakultät für Mathematik
---	---	---

Modul: Einführung in die Programmierung

für Physik, Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik (P/ET-IT/AI)

Bachelor-Studiengänge: Physik, Elektro- und Informationstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Angewandte Informatik

Turnus	Dauer	Studienabschnitt	Credits	Aufwand
Jährlich im WS	1 Semester	1. Semester	12 (V,Ü,P) oder 9 (V,Ü)	360 oder 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Einführung in die Programmierung	V	6	4
	2	Übungen zu Einführung in die Programmierung	Ü	3	2
	3	Optional: Praktikum zu Einführung in die Programmierung	P	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Elemente 1 und 2</u> 1. Begriffsklärungen: Informatik allgemein, Teilgebiete der Informatik, Algorithmus; Abgrenzung zu anderen Wissenschaften; Überblick: Rechnerarchitektur und Programmiersprachen; Darstellung von Information 2. Programmierung in C++: grundlegende Datentypen und -strukturen, Kontrollstrukturen, Zeiger, Funktionen, Klassenkonzept, Vererbung, Polymorphie, Ausnahmebehandlung, Schablonen, Überblick STL 3. Abstrakte Datentypen: Keller, Schlange, Listen, Binärbaum, Graphen, Komplexe Zahlen 4. Algorithmen: Suchen, Sortieren, Hashing, Rekursionsprinzip, einfache Graphalgorithmen 5. Einführung in die GUI-Programmierung (mit Qt) <u>Element 3</u> Die in der Vorlesung behandelten Inhalte werden anhand vorgegebener Aufgaben (im wesentlichen Programmieraufgaben) vertieft. Die Aufgaben sind mittels bereitgestellter Rechner praktisch zu bearbeiten und zu lösen. <u>Lehrbücher</u> • Lippmann; Lajoie; Moo: C++ Primer, 4. Auflage (dt. Ausgabe) • May: Grundkurs Software-Entwicklung mit C++; • Stroustrup: Die C++ Programmiersprache, 4. Auflage				
4	Kompetenzen Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, Algorithmen aus unterschiedlichen Bereichen strukturiert zu entwerfen und in der objektorientierten Programmiersprache C++ umzusetzen. Dabei wählen sie jeweils geeignete Datentypen aus. Sie kennen die Sprachkonstrukte von C++ und beherrschen die Grundkonzepte von objektorientierten Programmiersprachen. Sie können verschiedene Softwarewerkzeuge zur Unterstützung der Programmierung und der Fehlersuche einsetzen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung: Klausur (180min) Studienleistungen: (1) Erwerben eines Übungsscheines zu Element 2 (2) Erwerben eines Übungsscheines zu Element 3 Die Studienleistungen (1) und (2) sind Voraussetzung für die Teilnahme an der Modulprüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen -keine-				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls siehe Prüfungsordnungen der jeweiligen Studiengänge				

9	Modulbeauftragte/r Prof. Dr. Günter Rudolph	Zuständige Fakultät Informatik
---	---	--

Modul: Allgemeine und anorganische Chemie (Vorlesung) für Physik				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jährlich zum WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1. Semester	Credits 6	Aufwand: 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Allgemeine und anorganische Chemie / Zachwieja	V	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte In der Vorlesung „Allgemeine und Anorganische Chemie“ werden die wesentlichen Grundlagen folgender Themen behandelt: 1. Grundlagen der Stofftrennung, 2. Einführung in der Atomtheorie, 3. Stöchiometrie, 4. Chemische Reaktionsgleichungen, 5. Energieumsatz und chemische Reaktionen, 6. Elektronenstruktur der Atome, 7. Ionenbindung, 8. Kovalente Bindung, 9. Molekülgeometrie, 10. Flüssigkeiten und Feststoffe, 11. Lösungen, 12. Reaktionen in wässriger Lösung, 13. Reaktionskinetik, 14. Das chemische Gleichgewicht, 15. Säuren und Basen, 16. Säure-Base-Gleichgewichte, 17. Das Löslichkeitsprodukt, 18. Thermodynamik, 19. Elektrochemie, 20. Verwendung, Eigenschaften und Gewinnung der Elemente, 21. Verfahren und technische Geräte				
4	Kompetenzen Durch die erfolgreiche Beendigung dieses Moduls sollte der/die Studierende in der Lage sein, • Modellvorstellungen und grundlegende Konzepte der Anorganischen Chemie zu unterscheiden, gegeneinander abzuwägen und zu reflektieren; • Konzepte der Chemie zu verallgemeinern, auf neue Problemstellungen anzuwenden und die erhaltenen Ergebnisse durch Vergleich mit experimentellen Beobachtungen kritisch zu hinterfragen; • durch die Kenntnis der Eigenschaften von ausgewählten chemischen Elementen und ausgesuchter Verbindungen deren Bedeutung für Mensch und Umwelt einordnen zu können; • Erkenntnisprozesse und Anwendungen der Chemie hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen und historischen Bedeutung einzuordnen und Verbindungslinien zu anderen Wissenschaften aufzuzeigen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung: Klausur.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen keine				

	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls	
8	Wahlpflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
	Modulbeauftragte/r	Zuständige Fakultät
9	PD Uwe Zachwieja	Chemie

Modul: Allgemeine und anorganische Chemie (Praktikum) für Physik				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jährlich zum SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 2. Semester	Credits 4	Aufwand: 120 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Anorganisch-chemisches Praktikum / Zachwieja	P	4	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Im Anorganisch-chemischen Praktikum werden die Grundtypen anorganisch-chemischer Reaktionen (Säure-Base, Fällung, Redox und Komplexbildung) im Rahmen der Qualitativen und Quantitativen Analytik durchgeführt.				
4	Kompetenzen Durch die erfolgreiche Beendigung dieses Moduls sollte der/die Studierende in der Lage sein, • Modellvorstellungen und grundlegende Konzepte der Anorganischen Chemie zu unterscheiden, gegeneinander abzuwägen und zu reflektieren; • Konzepte der Chemie zu verallgemeinern, auf neue Problemstellungen anzuwenden und die erhaltenen Ergebnisse durch Vergleich mit experimentellen Beobachtungen kritisch zu hinterfragen; • durch die Kenntnis der Eigenschaften von ausgewählten chemischen Elementen und ausgesuchter Verbindungen deren Bedeutung für Mensch und Umwelt einordnen zu können; • geeignete chemisch-analytische Methoden problemorientiert auszuwählen, Experimente unter Beachtung von Umwelt- und Sicherheitsvorschriften zu planen, durchzuführen, auszuwerten und schriftlich zu dokumentieren; • Erkenntnisprozesse und Anwendungen der Chemie hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen und historischen Bedeutung einzuordnen und Verbindungslinien zu anderen Wissenschaften aufzuzeigen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: testierte Versuche (unbenotet) Alle Informationen zur Modulprüfung werden im Praktikumsskript bekannt gegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: testierte Versuche ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Das Modul „Allgemeine und anorganische Chemie (Vorlesung) für Physik“ muss bestanden sein.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r PD Uwe Zachwieja		Zuständige Fakultät Chemie		

Modul INF-BSc-102: Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1 (DAP 1)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus	Dauer:	Studienabschnitt:	Credits:	Aufwand:
Jedes Semester	1 Semester	1. Semester	12	360 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1	V	6	4
	2	Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1	Ü	3	2
	3	Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1	P	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Programmiersprachen:</u> Einführung in die Sprache Java mit Konzepten für die strukturierte und objektorientierte Programmierung; informelle, exemplarische Diskussion von Syntax und Semantik einer Programmiersprache <u>Algorithmen:</u> Sortieren auf Feldern, Verwalten von Listen, Verwalten und Traversieren von Bäumen mit verschiedenen Strategien, Suchen und Sortieren mit Bäumen; elementare Algorithmen auf Graphen <u>Datenstrukturen:</u> Felder, Listen, Bäume, Graphen, implizite Datenstrukturen <u>Objektorientierte Software:</u> Geheimnisprinzip und Kapselung bei der Konstruktion von Klassen, Nachrichtenaustausch zwischen Objekten, Vererbung, Aufbau von Spezialisierungshierarchien und Abbildung auf Vererbungshierarchien, Einsatz von Ausnahmebehandlung, Anwendung von Generizität, einfache Entwurfsmuster und objektorientierter Entwurf Programmierung: Realisierung von Java-Programmen Die begleitenden <u>Übungen</u> zu DAP 1 dienen zur Vertiefung des in der Vorlesung behandelten Stoffes. Dies geschieht durch regelmäßig ausgegebene Übungsaufgaben, die die Studierenden selbstständig bearbeiten. In den Präsenzzeiten der Übung werden die Lösungen der Aufgaben in kleineren Übungsgruppen besprochen. Im begleitenden <u>Praktikum</u> zu DAP 1 werden die behandelten Themen durch Arbeiten am Computer praktisch eingeübt.				
4	Kompetenzen Nach erfolgreichem Abschluss sollen die Studierenden die informellen Grundlagen für die Beschreibung von Programmiersprachen und exemplarisch deren Umsetzung im Rahmen der Programmiersprache Java können. Die Studierenden sollen die Grundlagen der objektorientierten Programmgestaltung beherrschen und für gegebene Problemstellungen selbstständig Lösungsalgorithmen formulieren und diese als Java-Programme realisieren können. Sie beherrschen ausgewählte Entwurfsmuster für die objektorientierte Softwarekonstruktion und können ihre Verwendbarkeit einschätzen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Klausur Studienleistung: Praktikumsschein in Element 3 Die Studienleistung ist Voraussetzung für die Teilnahme an der Modulprüfung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung ☐ Teilleistung				

7	Teilnahmevoraussetzungen Keine-		
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik		
9	<table border="1"> <tr> <td>Modulbeauftragte/r Studiendekan der Fakultät Informatik; Dr. S. Dißmann</td><td>Zuständige Fakultät Informatik</td></tr> </table>	Modulbeauftragte/r Studiendekan der Fakultät Informatik; Dr. S. Dißmann	Zuständige Fakultät Informatik
Modulbeauftragte/r Studiendekan der Fakultät Informatik; Dr. S. Dißmann	Zuständige Fakultät Informatik		

Modul: Physik I (PHY111)

(Mechanik, Grundlagen Thermodynamik und Hydrodynamik, Spez. Relativitätstheorie)

B.Sc.-Studiengang: Physik

Turnus	Dauer:	Studienabschnitt:	Credits	Aufwand:
Jährlich zum WS	1 Semester	1. Semester	15	450 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Physik I: Integrierter Kurs; je ein/e Dozent/in aus der theoretischen und experimentellen Physik.	V	9	6
	2	Übungen zur Physik I	Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Experimentelle und theoretische Grundlagen der Mechanik, der Thermodynamik und der speziellen Relativitätstheorie. <u>Mechanik:</u> Struktur des Raumes (Vektorrechnung, Koordinatensysteme), Kinematik (Beschreibung der Bewegung im dreidimensionalen Raum); Newton'sche Gesetze und einfache Anwendungen (Kräfte, Kraftfelder, Statik); allgemeine Bezugssysteme (Galilei-Transformationen, Scheinkräfte), allgemeine Integration der eindimensionalen Bewegungsgleichung; konservative Kräfte und Energieerhaltung; Erhaltungssätze in 2-Teilchen-Systemen; allgemeine Lösung des Zentralkraftproblems, Lösung des Keplerproblems; Rutherfordstreuung; freie und gedämpfte harmonische Schwingungen; erzwungene Schwingungen; gekoppelte Schwingungen; Wellen in einer Dimension (einschließlich Phasen- und Gruppengeschwindigkeit, Dopplereffekt, Wasserwellen); Mehrteilchensysteme: allgemeine Erhaltungssätze, Übergang zum starren Körper; Trägheitsmoment und Volumenintegration; Anwendungen des Trägheitsmoments; Drehimpuls des starren Körpers; Euler-Gleichungen und einfache Lösungen (eingehendere Behandlung des Kreisels einschließlich Trägheitstensor, Eigenwerte und Stabilität vgl. Physik III); <u>Grundlagen der Thermodynamik:</u> Kinetische Theorie des Gase; thermodynamische Verteilungsfunktionen; phänomenologische Thermodynamik; <u>Elemente der Hydrodynamik; spezielle Relativitätstheorie:</u> experimentelle Grundlagen, Lorentz-Transformationen, Minkowski-Diagramme, Energie und Impuls, Metrik und kovariante Schreibweise. <u>Literatur:</u> M. Alonso, E. J. Finn, Fundamental University Physics I: Mechanics; Berkeley-Kurs Bd. 1: Mechanik				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen mit der Mechanik exemplarisch ein erstes konsistentes physikalisches Gedankengebäude und dessen historische Entwicklung kennen. Sie lernen, wie man komplexe Systeme wie gekoppelte Schwingungen, das Planetensystem oder den starren Körper durch geeignete Reduktion analysieren und analytisch erfassen kann. In der Thermodynamik lernen sie physikalische Systeme mit sehr vielen Freiheitsgraden kennen und statistische Konzepte darauf anzuwenden. Mit der Relativitätstheorie bekommen sie einen Einblick in eine Erweiterung der klassischen Mechanik und in das Konzept der Raum-Zeit. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren				

	Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.	
5	Prüfungen Studienleistungen als Zulassungsvoraussetzung: Regelmäßige erfolgreiche Bearbeitung der Hausaufgaben und aktive Teilnahme an den Übungen sowie erfolgreiche Teilnahme an der Klausur zur Mitte der Vorlesungszeit. Die Details werden durch die Lehrenden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben. Modulprüfung (Klausur 180min); die Note geht nicht in die Bachelor-Gesamtnote ein.	
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung	
7	Teilnahmevoraussetzungen -keine-	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Physik II (PHY211)
(Klassische Elektrodynamik)

B.Sc.-Studiengang: Physik

Turnus	Dauer:	Studienabschnitt:	Credits	Aufwand
Jährlich zum SS	1 Semester	2. Semester	15	450 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Physik II: Integrierter Kurs; je ein/e Dozent/in aus der theoretischen und experimentellen Physik.	V	9	6
	2	Übungen zur Physik II	Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Klassische Elektrodynamik; Elektrostatik:</u> Coulomb'sches Gesetz, Divergenz, Gauß'scher Satz und Gaußsches Gesetz, Poisson-Gleichung, Multipolentwicklung, Punktladung und Delta-Funktion, elektrostatische Energie; elektrische Felder mit Randbedingungen, Kondensator und Kapazität, Dielektrika; <u>der elektrische Strom:</u> Ohm'sches Gesetz, Kirchhoff'sche Regeln, Schaltungen mit Kondensatoren und Widerständen, Entladung; <u>Magnetostatik:</u> allgemeiner Überblick über die magnetischen Erscheinungen; Biot-Savart'sches Gesetz; differentielle Eigenschaften des Magnetfeldes, Rotation, Ampere'sches Gesetz; Vektorpotential, Eichinvarianz; Multipol-Entwicklung, magnetischer Dipol; Kräfte auf magnetische Dipole, Magnetfeld in Materie; <u>zeitlich veränderliche Felder:</u> Induktionserscheinungen, Faraday'sches Gesetz, Generator, Elektromotor, induktive Messung von Magnetfeldern, Betatron, Selbstinduktion, RL-Schaltungen, Transformator, magn. Energiedichte; <u>Wechselstromkreise:</u> komplexe Widerstände und Amplituden, Kirchhoff'sche Regeln für Wechselstromkreise, Hoch- und Tiefpass, Schwingkreis, gekoppelte Schwingkreise, belasteter Transformator; <u>elektromagnetische Wellen:</u> Verschiebungsstrom, vollständige Maxwell-Gleichungen; skalares und Vektorpotential, elektromagnetische Wellen, freie ebene Wellen, Kugelwellen, Hertz'scher Dipol; Strahlungscharakteristik, Synchrotronstrahlung; <u>relativistische Formulierung der Maxwell-Gleichungen; elektrische und magnetische Felder in Materie:</u> makroskopische Beschreibung, Randbedingungen an Materialgrenzen; mikroskopische Modelle, Clausius-Mosotti, Ferromagnetika, spontane Magnetisierung, Weiß' sche Bereiche, Hysterese. <u>Literatur:</u> J. D. Jackson, Klassische Elektrodynamik; M. Alonso, E. J. Finn, Fundamental University Physics II : Fields and Waves; Berkeley-Kurs Band 2: Elektrizität und Magnetismus				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen mit der Elektrodynamik ein physikalisches System kennen, das durch raum-zeit-abhängige Funktionen, also Felder beschrieben wird. Sie lernen, wie man Felder mathematisch beschreibt und eigenständig berechnet. Anhand der historischen Entwicklung lernen sie mit der durch Maxwell abgeschlossenen Synthese von elektrischen und magnetischen Erscheinungen eine erste „vereinheitlichte Feldtheorie“ kennen, so wie sie heute als umfassende Theorie aller physikalischen Erscheinungen gesucht wird. Die Studenten lernen eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere von Apparaten und Maschinen kennen und verstehen, die unsere technische Umwelt entscheidend prägen und im Laufe der 19. und 20. Jahrhunderts verändert haben. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren				

	Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.	
5	Prüfungen Studienleistungen als Zulassungsvoraussetzung: Regelmäßige erfolgreiche Bearbeitung der Hausaufgaben und aktive Teilnahme an den Übungen. Eine Klausur zur Mitte der Vorlesungszeit sowie deren erfolgreiche Teilnahme sind optional. . Die Details werden durch die Lehrenden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben. Schriftliche benotete Modulprüfung (Klausur 180min).	
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung	
7	Teilnahmevoraussetzungen -keine-	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Grundlagen wissenschaftlicher Datenverarbeitung am Computer (PHY212)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jährlich zum SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 2. Semester	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte • <u>Umgang mit Daten</u>: Erzeugung, Speicherung, Analyse und Darstellung. • <u>Gemischte Form</u>: Vorlesungen/hands-on-Kurs am Computer. • <u>Datenerzeugung</u> durch Simulation physikalischer Beispielsysteme, z.B. aus klassischer Mechanik (Pendel, Planetenbewegung, klassische Vielteilchensysteme). • <u>Grundlagen wissenschaftlicher Programmierung</u>, effiziente und parallele Programmierung mit imperativen und funktionalen Ansätzen. • <u>Anwendungen von Zufallszahlen</u> in der wissenschaftlichen Praxis. • <u>Speicherung</u> als strukturierte Daten, unstrukturierte Daten, awkward arrays, Datenbanken. Interoperabilität und Austausch zwischen verschiedenen Datenverarbeitungssystemen. • <u>Datenkompression</u>, Notwendigkeit (data irreversibility) und Techniken (Ansätze). Signalverarbeitung. Rauschen. • <u>Grundlagen der statistischen Unsicherheitsabschätzung</u> und Fehlerfortpflanzung, Kovarianz und Korrelation, statistische und systematische Fehler, Grundlagen statistischer Modellierung, computergestützte Parameteranpassung, Chi-Quadrat und goodness-of-fit in Theorie und Praxis. Visualisierung und Interpretation von Daten. • <u>Gängige Programmiersprachen und Bibliotheken</u> zur Verarbeitung und Visualisierung von Daten. • <u>Übliche Dateiformate</u>. Der Kurs ergänzt die Vorbereitung zum Praktikum und vermittelt nützliche Fähigkeiten für Projekt-, Bachelor-, und Masterarbeiten. Die Übungsaufgaben werden unter Einbeziehung von gängiger Software (auch) am Computer gelöst. Dazu wird ein eigener Computer (Laptop) benötigt.				
4	Die Studierenden sind in der Lage, Daten nach den Kriterien guter wissenschaftlichen Praxis zu erzeugen, zu speichern, zu verarbeiten und auszuwerten, indem sie • Daten erzeugen und in adäquaten Formaten speichern • vorgegebene experimentelle Daten aufbereiten und hierbei die Data Irreversibility berücksichtigen (fachliche und fachmethodische Kompetenz), • Daten begründet, nachvollziehbar und reproduzierbar auswerten und dokumentieren (fachliche und fachmethodische Kompetenz), • Zur Datenauswertung adäquate Software, Programmiersprachen und Bibliotheken wie z.B. Excel, Python (Numpy, Scipy, Matplotlib), Julia auszuwählen und diese zu nutzen (fachliche und fachmethodische Kompetenz), • Selbst zu ausgewählten Fragestellungen Simulationsdaten erzeugen und diese einer Plausibilitätsprüfung unterziehen und hiermit den Auswertungsprozess validieren.				
5	Prüfungen unbenotete Modulprüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☐ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				

7	Teilnahmevoraussetzungen -keine-		
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik		
9	<table border="1"> <tr> <td>Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik</td><td>Zuständige Fakultät Physik</td></tr> </table>	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik
Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physik III (PHY311) (Wellenphänomene, Ausgleichsphänomene und Analytische Mechanik)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jährlich zum WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Semester	Credits 15	Aufwand 450 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Physik III: Integrierter Kurs; je ein/e Dozent/in aus der theoretischen und experimentellen Physik.	V	9	6
	2	Übungen zur Physik III	Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungs-sprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Gekoppelte Schwingungen, Normalmoden, Eigenwertproblem. <u>Wellengleichung in mehreren Dimensionen und ihre Lösungen.</u> Fourier-Techniken. Membranen und Resonatoren. Besselfunktionen. Greenfunktionen. Interferenz und Beugung. Stehende Wellen, Schwebungen, Wellenpakete. <u>Elektromagnetische Wellen, geometrische Optik und Wellenoptik:</u> Maxwellgleichungen in Dielektrika, Reflexion, Brechung, Fresnelformeln. Fermats Prinzip. Matrizenoptik, optische Geräte, Abbildungsfehler. Kirchhoffsche Beugungstheorie, Fraunhofer- und Fresnelbeugung. Beugung an vielen identischen Objekten. Strukturfaktor und Formfaktor. Kohärenz und Interferenz. Polarisierung. Wellenleiter und Hohlraumresonatoren. <u>Ausgleichsphänomene:</u> Diffusionsvorgänge. Wärmeleitung. <u>Analytische Mechanik:</u> D'Alembert-Prinzip. Lagrange-Funktion und Lagrange-Gleichungen. Variationsrechnung, Euler-Lagrange-Gleichungen. Hamiltons Prinzip. Symmetrien und Erhaltungssätze. Hamilton-Formalismus, Phasenraum. Hamilton-Jacobi-Theorie. Nichtlineare Dynamik und Chaos. Lagrange-Formalismus für Kontinuumsphänomene, Lagrange-Dichte. Der starre Körper; Drehimpuls und Trägheitstensor, Hauptträgheitsachsen und Stabilität, Theorie des Kreisel, Euler-Gleichungen und einfache Lösungen. <u>Literatur:</u> Demtröder: Experimentalphysik 2, Sommerfeld: Optik, Born-Wolf: Principles of Optics, Jackson: Klassische Elektrodynamik, Goldstein: Klassische Mechanik, Kuypers: Klassische Mechanik, Marion: Classical Dynamics of Particles and Systems				
4	Kompetenzen Die Studierenden erkennen die Analogien und die Unterschiede zwischen Wellenphänomenen in verschiedenen Bereichen der Physik und beherrschen deren einheitliche theoretische Behandlung mit mathematischen Techniken, die auch für die Analyse diffusiver Prozesse benutzt werden. Sie können optische Phänomene im Rahmen der Strahlen- und der Wellenoptik analysieren und kennen die Grenzen beider Betrachtungsweisen. In der analytischen Mechanik überwinden sie die Einschränkungen des Kraftbegriffs und erkennen den Zusammenhang zwischen der Mechanik von Teilchen und der Dynamik von Feldern. Durch die Konzeption als integrierter Kurs beherrschen die Studierenden die unterschiedlichen Methoden der theoretischen und der experimentellen Physik und können diese in Anwendung auf konkrete Probleme miteinander kombinieren. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.				

5	Prüfungen Studienleistungen als Zulassungsvoraussetzung: Regelmäßige erfolgreiche Bearbeitung der Hausaufgaben und aktive Teilnahme an den Übungen sowie erfolgreiche Teilnahme an der Klausur zum Ende der Vorlesungszeit. Die Details werden durch die Lehrenden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben. Zwei mündliche benotete Modulprüfungen (je 30min) über Physik III und IV (exp./theor.) nach Physik IV	
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich	☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Eines der Module Physik I / II (PHY 111 / 211) muss bestanden sein. Eines der Module Höhere Mathematik I / II muss ebenfalls bestanden sein.	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Grundpraktikum für Physiker I /II (PHY341/441)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jährlich zum WS	Dauer: je 1 Semester	Studienabschnitt: 3. bzw. 4. Semester	Credits jeweils 6	Aufwand jeweils 180h, davon 60,5h Präsenz und Prüfungen
1	Modulstruktur 4 SWS, Praktikum und Einführungsvorlesung; die Versuche werden in Kleingruppen durchgeführt, und von erfahrenen Assistenten betreut.			
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch			
3	Lehrinhalte Grundlegende physikalische Experimente und Messmethoden. In der Vorlesung 'Einführung in die Messtechnik' werden grundlegende Kenntnisse der Messtechnik und der Datenanalyse gelernt. Es werden die notwendigen praktischen Kenntnisse und Erfahrungen zum experimentellen Arbeiten, zur Messtechnik und zur Datenanalyse an grundlegenden Experimenten erarbeitet, wobei methodische Gesichtspunkte im Vordergrund stehen. Das Praktikum orientiert sich an den grundlegenden Standardversuchen der Experimentalphysik aus den Bereichen: Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Schwingungen, Optik und speziellen Physik (z.B. Atomphysik, Radioaktivität). Die grundlegenden Versuche werden durch einfache, aktuelle Versuche ergänzt, um moderne Arbeitstechniken zu erlernen. Literatur: Es wird ein Skript zur Verfügung gestellt, das neben den eigentlichen Versuchsanleitungen auch Hinweise zur Versuchsvorbereitung und Auswertung gibt. Eichler, Kronfeld, Sahm, Das Neue Physikalische Grundpraktikum (Springer 2006) Geschke, Physikalisches Praktikum (Teubner 1998) Kohlrausch, Praktische Physik 1-3 (Teubner 1996) Walcher, Praktikum der Physik (Teubner 1994)			
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen physikalische Zusammenhänge zu verstehen und sind in der Lage, theoretische Konzepte im Experiment zu verifizieren. Sie haben gelernt grundlegende experimentelle Techniken und Messverfahren, sowie einfache Methoden der Datenanalyse und den Umgang mit Messunsicherheiten zu verstehen. Die Studierenden sind in der Lage einen wissenschaftlichen Arbeitsprozess sprachlich zu formulieren, zu dokumentieren und seine Ergebnisse kritisch zu diskutieren. Sie lernen, im Team zu arbeiten und miteinander wissenschaftlich zu kommunizieren.			
5	Prüfungen Studienleistungen: Vorbereitung, Versuchsdurchführung und testierte Versuchsprotokolle. Benotete mündliche Modulprüfung (30 min) über PHY341/441 am Ende von PHY441.			
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung			
7	Teilnahmevoraussetzungen Eines der Module Physik I / II (PHY 111 / 211) muss bestanden sein. Eines der Module Höhere Mathematik I / II muss ebenfalls bestanden. Im Falle der Wahl des Nebenfachs Mathematik entfällt die Voraussetzung, dass eines der Module Höhere Mathematik I / II bestanden werden muss.			
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik			

9	Modulbeauftragter Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik
	Lehrende Alle Lehrenden der Experimentalphysik	

Modul: Physik IV (PHY411)
(Quantenmechanik: Methoden und Phänomene)

B.Sc.-Studiengang: Physik

Turnus Jährlich zum SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. Semester	Credits 15	Aufwand 450 h
----------------------------------	-----------------------------	---	----------------------	-------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Physik IV: Integrierter Kurs; je ein/e Dozent/in aus der theoretischen und experimentellen Physik.	V	9	6
	2	Übungen zur Physik IV	Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundlegende Quantenphänomene und Methodik der Quantenmechanik, z.B.: Schlüsselexperimente zur Quantenphysik, mikroskopische Grenzen der klassischen Physik. Materiewellen, Wahrscheinlichkeiten und die Schrödingergleichung. Mittelwerte und Schwankungen, Operatoren und Eigenfunktionen, Orts- und Impulsdarstellung. Quantenmechanik in einer Dimension; stückweise konstante Potentiale und harmonischer Oszillator. Tunneleffekt. WKB-Näherung und andere approximative und numerische Verfahren. Messprozess. Symmetrien und Erhaltungssätze. Zentralpotentiale, Drehimpuls, Wasserstoff und Wasserstoffähnliche Systeme. Bewegung im elektromagnetischen Feld. Spin, Drehimpulsaddition. Störungsrechnung, stationär und zeitabhängig. Optische Übergänge. Variationsprinzip. Identische Teilchen. Zeemaneffekt, Starkeffekt, Feinstruktur, Hyperfeinstruktur. Atomaufbau, Hundsche Regeln. Moleküle, chemische Bindung, einfache Moleküle, sp ³ -Orbitale. <u>Literatur:</u> Cohen-Tannoudji et al: QM, Schwabl: QM, Demtröder: Experimentalphysik 3.				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die charakteristischen Phänomene der Quantenphysik erkennen, einordnen und deuten, sowie den formalen Apparat der Quantenmechanik sicher auf die für die gesamte moderne Physik essentiellen Quantenphänomene anwenden. Durch die Konzeption als integrierter Kurs beherrschen die Studierenden die unterschiedlichen Methoden der theoretischen und der experimentellen Physik und können diese in Anwendung auf quantenmechanische Probleme miteinander kombinieren. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.				
5	Prüfungen Studienleistungen als Zulassungsvoraussetzung: Regelmäßige erfolgreiche Bearbeitung der Hausaufgaben und aktive Teilnahme an den Übungen sowie erfolgreiche Teilnahme an der Klausur zum Ende der Vorlesungszeit. Die Details werden durch die Lehrenden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben. Zwei mündliche benotete Modulprüfungen (je 30min) über Physik III und IV (exp./theor.) nach Physik IV				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				

7	Teilnahmevoraussetzungen Eines der Module Physik I / II (PHY 111 / 211) muss bestanden sein. Eines der Module Höhere Mathematik I / II muss ebenfalls bestanden sein.		
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik		
9	<table> <tr> <td>Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik</td><td>Zuständige Fakultät Physik</td></tr> </table>	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik
Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Grundbegriffe der Physik (PHY412a)				
Studiengang: Physik (B.Sc., M.Sc., B.Ed. M.Ed.)				
Turnus: regelmäßig im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. - 6. Sem. (B.Sc) 2. - 4. Sem (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	6	3
2	Lehrveranstaltungs-sprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Teil I: Von der Antike zur klassischen Feldtheorie:</u> Antike Astronomie, Symmetrien, Atomismus und Elementenlehre in der Antike, das aristotelische Weltbild, Mittelalterliche Aristoteles-Kritik, Astronomie bis Kopernikus, Galilei, Kepler und die kopernikanische Revolution, die Begründung der experimentellen Methode, Physik zwischen Technik und Metaphysik (Francis Bacon; Descartes), Newtons Optik: Experimentelle Phänomene und ihre Ursachen, Newtons Principia: Masse, Kraft und Gravitation; „Regeln des Philosophierens“, Raum und Zeit, Leibniz-Clarke-Debatte, die „lebendige Kraft“, Energiebegriff, Energieerhaltung, Elektromagnetismus, Feldbegriff (Oerstedt, Faraday, Maxwell), Relativitätstheorie (Einstein) . <u>Teil II: Von der probabilistischen Revolution zur Quantentheorie:</u> Laplace: Determinismus und Wahrscheinlichkeit. Probabilistische Revolution, Energie-Erhaltungssatz; Entropiebegriff und 2.Hauptsatz der Thermodynamik, Kinetische Theorie der Wärme, Maxwell und Boltzmann, Entropiesatz, Strahlungstheorie und Plancks „Akt der Verzweiflung“, Einsteins Lichtquantenhypothese, Rutherford-Streuung und Bohrsches Atommodell, Quantenmechanik von 1925/26: Heisenberg, Schrödinger, Born; Heisenbergs Unschärferelation und Bohrs „Kopenhagener“ Deutung; Bohr-Einstein-Debatte, EPR-Gedankenexperiment, Schrödingers Katze, Bohrs verborgene Parameter und Everetts „Viele Welten“, Dekohärenz, Quantenmechanik und Thermodynamik, Welle-Teilchen-Dualismus. <u>Einführende Literatur:</u> Koestler, Die Nachtwandler; Hund, Geschichte der physikalischen Begriffe; Laue, Geschichte der Physik; Mason Geschichte der Naturwissenschaft; Lasswitz, Geschichte der Atomistik; Lange, Geschichte des Materialismus; Hunger, Von Demokrit bis Heisenberg; Sambursky, Der Weg der Physik; Scheibe, Die Philosophie der Physiker; Weitere Angaben in der Vorlesung				
4	Kompetenzen Die Studierenden erkennen die historischen Bedingungen, unter denen unser gegenwärtiges physikalisches Weltbild entstanden ist. Die Entstehung der Grundbegriffe, in denen das physikalische Weltbild formuliert wird (Raum, Zeit, Materie, Kausalität, Felder, Wahrscheinlichkeit, Quanten u.a.) wird erlernt. Im interdisziplinären Grenzbereich zwischen der Physik und der Philosophie (Erkenntnistheorie, Wissenschaftstheorie) wird an diesem historischen Kontext gezeigt, wie physikalische Forschung begründet werden kann sowie wie physikalische Theorien aufgestellt und überprüft werden. Für einen etwaigen späteren Unterricht der Studierenden an Schulen oder Universitäten werden pädagogische Aspekte und Konnotationen vermittelt. Ziel der Veranstaltung ist, einen kompetenten und kritischen Umgang mit der Forschungsbegründung und -entwicklung zu vermitteln.				
5	Prüfungen Studienleistung: Schriftliche Arbeit. Benotete mündliche Modulprüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: keine				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik, Vertiefung Lehramt	
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Grundbegriffe der Physik (PHY412b)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: regelmäßig im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. - 6. Sem. (B.Sc) 2. - 4. Sem (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	5	3
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Teil I: Von der Antike zur klassischen Feldtheorie:</u> Antike Astronomie, Symmetrien, Atomismus und Elementenlehre in der Antike, das aristotelische Weltbild, Mittelalterliche Aristoteles-Kritik, Astronomie bis Kopernikus, Galilei, Kepler und die kopernikanische Revolution, die Begründung der experimentellen Methode, Physik zwischen Technik und Metaphysik (Francis Bacon; Descartes), Newtons Optik: Experimentelle Phänomene und ihre Ursachen, Newtons Principia: Masse, Kraft und Gravitation; „Regeln des Philosophierens“, Raum und Zeit, Leibniz-Clarke-Debatte, die „lebendige Kraft“, Energiebegriff, Energieerhaltung, Elektromagnetismus, Feldbegriff (Oerstedt, Faraday, Maxwell), Relativitätstheorie (Einstein) . <u>Teil II: Von der probabilistischen Revolution zur Quantentheorie:</u> Laplace: Determinismus und Wahrscheinlichkeit. Probabilistische Revolution, Energie-Erhaltungssatz; Entropiebegriff und 2.Hauptsatz der Thermodynamik, Kinetische Theorie der Wärme, Maxwell und Boltzmann, Entropiesatz, Strahlungstheorie und Plancks „Akt der Verzweiflung“, Einsteins Lichtquantenhypothese, Rutherford-Streuung und Bohrsches Atommodell, Quantenmechanik von 1925/26: Heisenberg, Schrödinger, Born; Heisenbergs Unschärferelation und Bohrs „Kopenhagener“ Deutung; Bohr-Einstein-Debatte, EPR-Gedankenexperiment, Schrödingers Katze, Bohrs verborgene Parameter und Everetts „Viele Welten“, Dekohärenz, Quantenmechanik und Thermodynamik, Welle-Teilchen-Dualismus. <u>Einführende Literatur:</u> Koestler, Die Nachtwandler; Hund, Geschichte der physikalischen Begriffe; Laue, Geschichte der Physik; Mason Geschichte der Naturwissenschaft; Lasswitz, Geschichte der Atomistik; Lange, Geschichte des Materialismus; Hunger, Von Demokrit bis Heisenberg; Sambursky, Der Weg der Physik; Scheibe, Die Philosophie der Physiker; Weitere Angaben in der Vorlesung				
4	Kompetenzen Die Studierenden erkennen die historischen Bedingungen, unter denen unser gegenwärtiges physikalisches Weltbild entstanden ist. Die Entstehung der Grundbegriffe, in denen das physikalische Weltbild formuliert wird (Raum, Zeit, Materie, Kausalität, Felder, Wahrscheinlichkeit, Quanten u.a.) wird erlernt. Im interdisziplinären Grenzbereich zwischen der Physik und der Philosophie (Erkenntnistheorie, Wissenschaftstheorie) wird an diesem historischen Kontext gezeigt, wie physikalische Forschung begründet werden kann sowie wie physikalische Theorien aufgestellt und überprüft werden. Für einen etwaigen späteren Unterricht der Studierenden an Schulen oder Universitäten werden pädagogische Aspekte und Konnotationen vermittelt. Ziel der Veranstaltung ist, einen kompetenten und kritischen Umgang mit der Forschungsbegründung und -entwicklung zu vermitteln.				
5	Prüfungen Benotete mündliche Modulprüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: keine				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Instrumente der modernen Physik (PHY421)				
Studiengang: Physik (B.Sc., Master), Medizinphysik (B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. oder 5. Semester B.Sc. 1./2. Semester Master	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Instrumente der moderenen Physik	V + Ü	5	3
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Einleitung: Wiederholung der Elektrodynamik und speziellen Relativitätstheorie, Licht- und Teilchenoptik, Signalverarbeitung, Einführung in das Programmieren (für einige Übungsaufgaben). Quellen elektromagnetischer Strahlung: Schwarzer Körper, Entladungslampen, Lasersysteme, Röntgenröhren, Synchrotronstrahlungsquellen, Freie-Elektronen-Laser, optische Laborausrüstung. Quellen von Teilchenstrahlung: Kosmische Strahlung, radioaktive Präparate, Beschleuniger und Speicherringe. Teilchendetektoren: Wechselwirkung von Strahlung mit Materie, Ionisationskammern, Halbleiterdetektoren, Photomultiplier, Szintillatoren, Cherenkow-Effekt und Übergangsstrahlung. Beispiele für Detektionstechniken und Anwendungen: Detektoren in der Teilchen- und Astroteilchenphysik, Gravitationswellendetektoren, Rastersondenmikroskope, Bildgebung in der Medizinphysik. Sonstige Instrumente: Elektrische Messinstrumente, Atomuhren, supraleitende Magnete, Vakuumtechnik, ...				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten einen Überblick über Instrumente und experimentelle Techniken, die Ihnen während des Studiums sowie in der beruflichen Praxis in einem physikalischen Labor begegnen können. Der Schwerpunkt liegt auf Strahlungsquellen und Detektoren, aber auch andere Instrumente sowie die digitale Verarbeitung elektrische Signale werden angesprochen. Die Übungsaufgaben beinhalten Verständnisfragen, einfache Rechnungen und Simulationen mit einer Skriptsprache (Matlab oder Python). Programmierkenntnisse sind keine Voraussetzung, sondern werden im Rahmen der Übungen durch die praktische Anwendung auf physikalische Fragestellungen erlernt.				
5	Prüfungen Benotete mündliche Modulprüfung (30 min). Studienleistung als Zulassungsvoraussetzung: Regelmäßige und aktive Teilnahme an den Übungen sowie erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben. Details werden zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse in Optik, klassischer Elektrodynamik und spezieller Relativitätstheorie.				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlbereich im Bachelorstudiengang	
9	Modulbeauftragte/r Prof. Shaukat Khan	Zuständige Fakultät Physik

Module: Seminar: Introduction to particle accelerator physics (PHY422)				
Degree program: Physics (B.Sc.) and Medical Physics (B.Sc.)				
Frequency summer semester	Duration 1 semester	Semester fourth to sixth sem.	Credits 3	Work load 90 h

1	Module structure				
	No.	Element / course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	seminar	S	3	2
2	Language: English				
3	Content The students will get familiar with the basics of accelerator physics. For this purpose, face to face lectures will be taught. The students will complement the lectures with their own research on a related proposed topic to be presented by the end of the seminar. In order to prepare this presentation additional material such as scientific papers or presentations will be provided. The Students thus acquire the skills in the field of accelerator physics through the following topics: History and applications of the accelerators Medical applications of accelerators How do accelerators work? Components of an accelerator: magnets, beam diagnosis, injection systems. Introduction to accelerator physic concepts: Longitudinal beam dynamics, phase focusing, Linear, transverse beam dynamics, transport matrices, twiss parameters, beam properties, Periodic Systems and Beam Stability and Chromatic effects, synchrotron radiation and applications, radiation effects Excursion: visiting an accelerator				
4	Learning outcome The participants will carry out independent research on the suggested topic in order to complete the material taught during the seminar. This work will be presented to the other participants and actively discussed.				
5	Examination Module examination				
6	Coursework and examination requirements Course work: active participation in the discussions following the lectures. Module examination: graded own presentation.				
7	Prerequisites None				
8	Module type Elective module				
9	Responsible Prof. A. Velez		Organization Department of Physics		

Modul: Seminar: Die Physik und Technik bei Star Trek (PHY513)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Sem. B.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h
1	Modulstruktur 2 SWS Seminar. Selbststudium und eigene Vorträge. Das Seminar besteht aus Präsentationen der Studierenden zum Thema Physik und Star Trek			
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch			
3	Lehrinhalte Die Physik und Technik der Fernsehserie „Star Trek“ wird analysiert und mit der Realität verglichen. Dabei geht es einerseits um konkrete technische Entwicklungen wie etwa bei der Speichertechnologie und andererseits um physikalische Fragestellungen wie z.B. bei der Antriebstechnologie aus dem Bereich der Relativitätstheorie.			
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen die verschiedensten Gebiete der Physik wie etwa die Festkörperphysik, Teilchenphysik, Relativitätstheorie, Quantentheorie anhand des Themas „Star Trek“ kennen. In diesem Seminar werden aber auch ganz gezielt Präsentationstechniken erlernt, um die Vermittlungskompetenz der Studierenden zu stärken.			
5	Prüfungen Studienleistung: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (30min + Diskussion)			
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung			
7	Teilnahmevoraussetzungen keine			
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- und Masterstudiengang Physik			
9	Modulbeauftragter Capt. Tolan		Zuständige Fakultät Physik	

Modul: Seminar: Physik des Segelns (PHY515)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur 2 SWS Seminar. Selbststudium und eigene Vorträge. Das Seminar besteht aus Präsentationen der Studierenden zu Themen aus dem Bereich Physik des Segelns.
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch
3	Lehrinhalte: Experimentelle Methoden und theoretische Konzepte aus der Physik werden auf Themen rund um das Segeln, d.h. die Fortbewegung von Wasserfahrzeugen mit Windenergie, angewandt. Diese beinhalten u.a.: - Mechanik des Riggs - Aerodynamik - Stabilität von Yachten - Wetter- und Windsysteme - Wellen - Astronomische Navigation - Navigation der Polynesier - GPS - Funk - Radar - Regattasegeln - Seekrankheit
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen, wie die verschiedensten experimentellen Methoden und theoretische Konzepte der Physik in einem spezifischen, angewandten Problemkreis zum Einsatz kommen und sich ergänzen. Daneben eignen sich die Studierenden auch Präsentationstechniken zur Wissensvermittlung und Diskussionstechniken an.
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse der Physik I bis IV.
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik, Medizinphysik
9	Modulbeauftragte/r Zuständige Fakultät

	Prof. H. Päs	Physik
--	--------------	--------

Modul: Einführung in die Festkörperphysik (PHY521)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus: jährlich zum WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Semester	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Einführung in die Festkörperphysik	V	6	4
	2	Übungen zur Einführung in die Festkörperphysik	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundlagen der Festkörperphysik, mit Schwerpunkt auf kristallinen Systemen; Phänomenologie, theoretische Ansätze und experimentelle Techniken. Symmetrie und Struktur; Bindungen im Festkörper; Gitterschwingungen und Phononen; Freie Elektronen; Fast freie Elektronen: Bandstrukturen; Halbleiter; Magnetismus; Supraleitung. Synchrotronstrahlung und Anwendungen. <u>Literatur:</u> K. Kopitzki: Einführung in die Festkörperphysik; Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik; N. Ashcroft, N. Mermin: Solid state physics; Ibach-Lüth; Festkörperphysik.				
4	Kompetenzen Die Studierenden kennen die wichtigsten Stoffklassen, und können die wichtigsten mikroskopischen Modelle zur Diskussion der relevanten Phänomene verwenden. Hierzu zählen die Symmetrieklassen im Kristallbau, und deren Kenntnis als Ausgangspunkt für die folgenden elektronischen Eigenschaften, die sich an den Kristallsymmetrien orientieren. Der kompetente Umgang mit dem Kristallbau ermöglicht den Zugang zum qualitativen Verständnis der möglichen Gitterschwingungen. Darauf aufbauend werden vertiefte Kenntnisse zur elektronischen Struktur und moderne Verfahren zu deren Berechnung erworben. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Hausaufgaben Modulprüfung: Benotete Modulklausur (180 min). Die bessere Modulnote von PHY521 und PHY522 geht mit einem Gewicht von 8 Leistungspunkten in die Bachelor-Gesamtnote ein, die schlechtere mit einem Gewicht von einem Leistungspunkt.				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I-IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik				

9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik
---	---------------------------------------	-------------------------------

Modul: Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik (PHY522)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus: jährlich zum WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Semester B.Sc.	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Einführung in die Kern- und	V	6	4
	2	Übungen zur Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Wechselwirkung von Strahlung mit Materie, Detektoren in der Kern- und Teilchenphysik, Dosimetrie, Beschleuniger Kernphysik: Eigenschaften von Kernen, Kernmodelle (z.B. Tröpfchenmodell, Schalenmodell), Kernzerfälle, Kernfusion und -spaltung, Kernreaktoren Teilchenphysik: additive Quantenzahlen, Isospin, Quarkmodell, Diskrete Symmetrien (inkl. P-, CP-, und T-Verletzung), Eigenschaften von Leptonen, Quarks, Hadronen und Eichbosonen, CKM-Matrix, Schlüsselexperimente, Eigenschaften der fundamentalen Wechselwirkungen, Überblick über das Standardmodell der Teilchenphysik, aktuelles Forschungsprogramm der Teilchenphysik, Verbindung zur Kosmologie <u>Literatur:</u> T. Mayer-Kuckuck; „Kernphysik – Eine Einführung“, B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche; „Teilchen und Kerne – Eine Einführung in die physikalischen Konzepte“, W.S.C. Williams; „Nuclear and Particle Physics“, H. Frauenfelder, E.M. Henley; „Teilchen und Kerne, Subatomare Physik“, A. Das, T. Ferbel; „Kern- und Teilchenphysik“, D. Griffith; „Introduction to Elementary Particles“, D.H. Perkins, „Hochenergiephysik“, Ch. Berger; „Elementarteilchenphysik“				
4	Kompetenzen Die Studierenden kennen die Grundlagen der Kern- und Teilchenphysik und können die Quantenmechanik zur Beschreibung zahlreicher Phänomene anwenden. Sie sind mit den experimentellen Methoden zum Nachweis von Kern- und Teilchenreaktionen vertraut, haben einen Überblick über Kernphysik, Radioaktivität, Grundlagen der Kernenergie, das Standardmodell der Teilchenphysik und über den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Teilchenphysik. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Hausaufgaben. Modulprüfung: Benotete Modulklausur (180 min). Die bessere Modulnote von PHY521 und PHY522 geht mit einem Gewicht von 8 Leistungspunkten in die Bachelor-Gesamtnote ein, die schlechtere mit einem Gewicht von einem Leistungspunkt.				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I-IV, Experimentelle Übungen I/II				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Statistische Methoden der Datenanalyse / SMD A (PHY523a)				
Studiengang: Physik (B.Sc., M.Sc.)				
Turnus: regelmäßig im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. Sem. (B.Sc.)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	SMD A: Vorlesung mit Übung (im SS)	V+Ü	5	2 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte SMD A: Von Rohdaten zu einer Signal-Untergrund-Trennung: Numerische Methoden der Datenverarbeitung, Datenbehandlung und Programmierung, Algorithmen und Datenstrukturen, Methoden der linearen Algebra, Wahrscheinlichkeitsrechnung, ein- und mehrdimensionale Verteilungen, Zufallszahlen und Monte Carlo Methoden, Data-Mining Methoden: Diskriminanzanalyse, Hauptkomponenten-analyse, Feature Selection, Überwachtes Lernen (kNN, Decision Trees, Random Forests), MRMR, Unüberwachtes Lernen (Ensemble Lerner), Convolutional Neural Nets und andere.				
4	Kompetenzen Daten werden heute in der Regel auf elektronischem Weg erhoben. Die Studierenden erlernen orientiert an der zeitlichen Abfolge einer Datenanalyse den geeigneten Umgang mit statistischen Methoden zur Analyse von moderaten bis zu sehr großen Datenmengen. Die Übungsaufgaben werden unter Einbeziehung von gängiger Software (auch) am Computer gelöst. In der Veranstaltung wird praktische Kompetenz in der Datenanalyse für die Erstellung von Abschlussarbeiten und die spätere Berufsausübung erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Übungen von SMD A Modulprüfung: schriftlich oder mündlich. Die Prüfungsform wird zu Anfang des Semesters bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Günstig: Programmierkenntnisse in einer geeigneten Sprache, z.B. Python; Empfohlen: Teilnahme an dem Toolbox-Workshop Die Veranstaltung SMD A soll vor der Veranstaltung SMD B gehört werden.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Statistische Methoden der Datenanalyse / SMD B (PHY523b)				
Studiengang: Physik (B.Sc., M.Sc.)				
Turnus: regelmäßig im WS	Dauer: 2 Semester	Studienabschnitt: 5. Sem. (B.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	2	SMD B: Vorlesung mit Übung (im WS)	V+Ü	5	2 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte SMD B: Von Meßdaten zu physikalischen Meßpunkten und Aussagen. Parameterschätzung, Optimierungsprobleme, Methode der kleinsten Quadrate, Maximum Likelihood-Methode, numerische Fitverfahren, Goodness-of-Fit, Regularisierung, Konfidenzintervalle und Hypothesentests, Parametrisierung von Daten, Bayes'sche Verfahren, Verfahren zur Lösung inverser Probleme und deren Evaluation, Validierungstechniken, Behandlung systematischer Fehler, Akzeptanzberechnung.				
4	Kompetenzen Daten werden heute in der Regel auf elektronischem Weg erhoben. Die Studierenden erlernen orientiert an der zeitlichen Abfolge einer Datenanalyse den geeigneten Umgang mit statistischen Methoden zur Analyse von moderaten bis zu sehr großen Datenmengen. Die Übungsaufgaben werden unter Einbeziehung von gängiger Software (auch) am Computer gelöst. In der Veranstaltung wird praktische Kompetenz in der Datenanalyse für die Erstellung von Abschlussarbeiten und die spätere Berufsausübung erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Übungen von SMD B Modulprüfung: schriftlich oder mündlich. Die Prüfungsform wird zu Anfang des Semesters bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Günstig: Programmierkenntnisse in einer geeigneten Sprache, z.B. Python; Empfohlen: Teilnahme an dem Toolbox-Workshop Die Veranstaltung SMD A soll vor der Veranstaltung SMD B gehört werden.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physik und Technik der Verifikation von Rüstungsbegrenzungsverträgen (PHY524)				
Studiengang: Physik (B.Sc., M.Sc.)				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. B.Sc. 1.-4. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Nutzung der Physik für die Überprüfung der Einhaltung von Rüstungsbegrenzungsabkommen. Aktuelle/eigene Forschung für Verifikation und Sicherungsmaßnahmen der IAEO wird einbezogen. Mit Einführung in Rüstungsbegrenzung und die Bedeutung der Verifikation.				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen die physikalischen Grundlagen für die verschiedenen Überprüfungstechniken kennen, wobei elementare Formeln abgeleitet und Zahlenbeispiele aus der Praxis vorgerechnet werden. Bei den sog. nationalen technischen Mitteln der Verifikation sind dies: Bahnen von Satelliten, optische Abbildung mit Beugungsbegrenzung der Bildauflösung und Sensortechniken, Radar mit Radargleichung und Prinzip der Abbildung mit synthetischer Apertur. Bei den kooperativen Mitteln geht es um Kernstrahlungsnachweis, seismische und akustische (Infraschall, Unterwasserschall) Detektion von Kernexplosionen, Techniken zur Kontrolle von Raketenbehältern und zur Überwachung von Raketenstarts, Kennzeichen und Siegel, Bodensensoren. Aktuelle Forschung für neue Verifikationstechnik wird an Beispielen behandelt (akustisch-seismischer Land- und Luftfahrzeugnachweis, Überwachung eines unterirdischen Endlagers, Edelgasdetektion). Den Abschluss bilden aktuelle Verhandlungen und Vorschläge dafür sowie politische Fragen zur Verifikation. Mit der Diskussion der Bedeutung der Verifikation für Rüstungsbegrenzung allgemein, der Darstellung der Verifikationsregeln und -techniken verschiedener Begrenzungsverträge und der Behandlung geschichtlicher Aspekte bei ihrem Zustandekommen werden Bezüge zwischen Naturwissenschaft und Gesellschaft bzw. internationaler Politik thematisiert und interdisziplinäre Fähigkeiten gestärkt. Elementare Kenntnisse in Rüstungskontrolle und Abrüstung werden vermittelt. Die Studierenden erkennen die Bedeutung der Naturwissenschaft für Abrüstung und Frieden und erhalten einen Einblick in aktuelle naturwissenschaftliche Verifikationsforschung. Die Aufmerksamkeit für gesellschaftliche Aspekte der eigenen Wissenschaft und die Verantwortung der Naturwissenschaftler/innen wird erhöht.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (20 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse der Physik (Physik I-IV)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik und im Masterstudiengang Physik				

9	Modulbeauftragte(r) PD Dr. Jürgen Altmann	Zuständige Fakultät Physik
---	---	--------------------------------------

Modul: Statistische Methoden der Datenanalyse 2 (PHY525)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Woche Blockkurs	Studienabschnitt: 5. Sem. (B.Sc) 1. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	Blockkurs
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Aufbauend auf der Vorlesung "Statische Methoden der Datenanalyse" behandelt die Veranstaltung Coverage (frequentistische Vs. bayes'sche Konfidenzintervalle), Vertiefung der Methode der kleinsten Quadrate mit Schwerpunkt auf Anwendungen mit geringer Statistik und nicht a priori bekannten Varianzen, Anwendung multivariater Selektionsverfahren, Entfaltung mittels Density-Mixture Modellen und als Parametrisierungsproblem, Markov Chain Monte Carlo, Separation von Signal und Untergrund mittels sWeights, Event-by-event Effizienzen, harmonische Analyse und Lomb-Periodogramm, robuste Statistik.				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten weiterführende Einblicke in statistische Analyse von Daten, die auf der Vorlesung PHY523, „Statistische Methoden der Datenanalyse“ aufbauen.				
5	Prüfungen Prüfungsleistung: Schriftliche Modulprüfung (90min) oder mündliche Modulprüfung je nach Teilnehmerzahl				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Erwünscht: Programmierkenntnisse in einer geeigneten Sprache (FORTRAN, C, JAVA, C++, o.ä.)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Laserphysik (PHY526a)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	5	3
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung: Eigenschaften von Laserstrahlung, klassische und quantenmechanische Beschreibung der Licht-Materie-Wechselwirkung, Raten Gleichungen für optische Absorption und Emission. Laserphysik: Lichtverstärkung und Schwellenbedingung, Lasermedien und Pumpmechanismen, Laser-Resonatoren, Erzeugung kurzer und ultrakurzer Lichtimpulse Nichtlineare Optik: theoretische Grundlagen, optische Summen- und Differenzfrequenzerzeugung, optisch parametrische Prozesse, Nichtlinearitäten dritter Ordnung: Zweiphotonen-Absorption, Selbstfokussierung				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen Grundlagen der Erzeugung von Laserstrahlung und der linearen und nichtlinearen Wechselwirkungsprozesse von Licht mit Materie.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Quantenphysik und Elektrodynamik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Betz		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Laserphysik (PHY526b)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung: Eigenschaften von Laserstrahlung, klassische und quantenmechanische Beschreibung der Licht-Materie-Wechselwirkung, Raten Gleichungen für optische Absorption und Emission. Laserphysik: Lichtverstärkung und Schwellenbedingung, Lasermedien und Pumpmechanismen, Laser-Resonatoren, Erzeugung kurzer und ultrakurzer Lichtimpulse Nichtlineare Optik: theoretische Grundlagen, optische Summen- und Differenzfrequenzerzeugung, optisch parametrische Prozesse, Nichtlinearitäten dritter Ordnung: Zweiphotonen-Absorption, Selbstfokussierung				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen Grundlagen der Erzeugung von Laserstrahlung und der linearen und nichtlinearen Wechselwirkungsprozesse von Licht mit Materie.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Quantenphysik und Elektrodynamik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Betz		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Kernenergie und andere Energiefragen (PHY528)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.), Medizinphysik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: Bei Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur: 2 SWS Seminar, Selbststudium und eigener Vortrag.		
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch		
3	Lehrinhalte Grundlagen der Kern- und Reaktorphysik, Bautypen von Reaktoren, Aspekte der Reaktorsicherheit und Unfälle, Brennstoffkreislauf, Endlagerung und Reaktorrückbau, Energiespeicher, Aspekte anderer Energieformen, Energieversorgung.		
4	Kompetenzen Das Seminar stellt eine Einführung in das Thema Kernenergie im Kontext der Energieversorgung dar. Es werden insbesondere verschiedene Aspekte der Reaktorphysik beleuchtet und miteinander in Verbindung gebracht. Die Einbettung des Themas in aktuelle Fragen stellt die Veranstaltungen auch in einen gesellschaftlichen Kontext. Es werden außerdem die selbstständige Recherche sowie Präsentationstechniken geschult.		
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Seminarthema		
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung		
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik I – IV		
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach		
9	<table> <tr> <td>Modulbeauftragte/r Prof. C. Gößling</td> <td>Zuständige Fakultät Physik</td> </tr> </table>	Modulbeauftragte/r Prof. C. Gößling	Zuständige Fakultät Physik
Modulbeauftragte/r Prof. C. Gößling	Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Teilchenphysik 1 (PHY529)				
Studiengang: Physik (B.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Grundlagen der Teilchenphysik, Feynmangraphen, Starke und elektroschwache Wechselwirkung, Quark-Parton-Modell, CKM-Matrix und PMNS-Matrix, Detektoren, Schlüsselexperimente und -konzepte der Teilchenphysik, aktuelle Themen der experimentellen Teilchenphysik, Physik des LHC, z.B.: Physik mit Bottom- und Top-Quarks und Higgsbosonen, CP-Verletzung, seltene Zerfälle, Suchen nach neuer Physik, Dunkle Materie				
4	Kompetenzen Die Vorlesung gibt eine ergänzende Einführung in die Konzepte und Grundlagen der Teilchenphysik, welche sich an dem parallel dazu stattfindenden Modul „Einführung in die Kern- und Teilchenphysik“ (PHY522) orientiert. Die dort vermittelten Grundlagen werden hier vertieft, um damit ein besseres Verständnis der modernen Teilchenphysik zu erzielen. Die Teilnehmer lernen anhand von konkreten Beispielen aktuelle Forschungsarbeiten in diesem Bereich der Physik kennen.				
5	Prüfungen Studienleistungen: keine Benotete Modulprüfung: schriftlich (2h) oder mündlich je nach Teilnehmerzahl				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik I – IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach				
9	Modulbeauftragte/r Dekan(in) der Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Vorlesung Magnetismus (PHY5210V)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	6	4
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundbegriffe und Grundbausteine des Magnetismus: magnetische Momente, magnetische Felder, magnetische Suszeptibilität, Einteilung der magnetischen Stoffe. Magnetismus von Atomen/Ionen und lokalisierte magnetische Momente: atomarer Diamagnetismus, atomarer Paramagnetismus, Einfluss vom Kristallfeld in Festkörpern. Magnetismus der Leitungselektronen: Landau Diamagnetismus, Pauli Paramagnetismus, Band Ferromagnetismus. Austauschwechselwirkung: direkter und indirekter Austausch, Superaustausch, Doppelaustausch, RKKY-Wechselwirkung. Heisenberg Modell und Hubbard Modell für die Beschreibung von magnetisch geordneten Materialien, magnetischen Ordnungsstrukturen und Phasenübergängen. Kollektiver Magnetismus: Ferromagnetismus, Antiferromagnetismus, Ferrimagnetismus, magnetische Anisotropie, magnetische Domäne, Spinwellen und Stoner Anregungen.				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen Grundlagen der Beschreibung magnetischer Materialien, und in die wichtigsten magnetischen Phänomene. Sie können diese Konzepte auf konkrete physikalische Situationen anwenden; zum Beispiel können Sie die Funktionsweise vieler Anwendungen im Bereich der Informations- und Kommunikations-technologie verstehen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Festkörperphysik und Quantenmechanik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. Mirko Cinchetti		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar Magnetismus (PHY5210S)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 60 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar beinhaltet Vorträge zu verschiedenen Themen, die für die aktuelle Forschung im Bereich Magnetismus relevant sind. Unter anderem: Messmethoden, Materialien und technologisch-relevante Effekte.				
4	Kompetenzen Das Seminar versteht sich als Ergänzung zur Vorlesung Magnetismus. Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen Grundlagen der Beschreibung magnetischer Materialien und in die wichtigsten magnetischen Phänomene. Sie können diese Konzepte auf konkrete physikalische Situationen anwenden, vor allem auf Gebieten, die aktuell im Schwerpunkt der Forschung im Bereich Magnetismus stehen. Zum Beispiel können sie die Funktionsweise vieler Anwendungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie verstehen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: eigener Vortrag				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Festkörperphysik und Quantenmechanik, Teilnahme an der Vorlesung Magnetismus PHY5210V.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. Mirko Cinchetti		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Materials for Nanoelectronics and High-Speed Quantum Electronic Devices (PHY5211)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung. Selbststudium und eigener Vortrag.	V S	3 2	2 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Englisch oder Deutsch				
3	Lehrinhalte In der Vorlesung „ <i>Materialien für die Nanoelektronik und Hochgeschwindigkeits-Quantenelektronikbauelemente</i> “ werden die wesentlichen Grundlagen folgender Themen behandelt: 1.Überblick über die wichtigsten Materialsysteme und deren Anwendung in nanoelektronischen Bauelementen; 2.Transportmechanismen in Quantenelektronischen Bauelementen, wie resonanten Tunnelstrukturen; 3.Grundlagen und Anwendungen der Rauschspektroskopie; 4.Eigenschaften von Festkörperstrukturen in verschiedenen Dimensionen und Informationstechnologien; 5. Fortschrittliche Nanostrukturen auf Basis biokompatibler Materialien für Hochgeschwindigkeits-Biosensoren				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die Grundlagen der Nanotechnologie: Nanostrukturen, Mikro- und Nanoherstellung von Strukturen und deren Anwendungen. Die Studierenden lernen den Stand der Forschung in den Gebieten Anwendung von Rauschspektroskopie zur Erforschung der Transporteigenschaften von elektronischen Nanobauelementen. Die relevanten Konzepte des Forschungsgebiets werden dargestellt, methodisch untermauert und an Beispielen illustriert.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Einführung in die Quanten- und Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor-oder Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. S.Vitusevich		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Literaturseminar Ultrakurzzeitphysik (PHY5214)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: nach Bedarf im WS oder SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.–6. Sem. (B.Sc) 1.–4. Sem. (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Wir besprechen zusammen jede Woche eine grundlegende oder aktuelle Veröffentlichung eines bekannten wissenschaftlichen Journals wie <i>Science</i> und <i>Nature</i> aus dem Gebiet der Attosekunden- oder Röntgenphysik. Auch wenn diese Artikel durchweg interessant sind, sind sie doch auch typischerweise sehr kompakt gehalten und dadurch oft nicht leicht zu verstehen. Unsere gemeinsame Diskussion im Journal-Club verspricht einen angenehmeren (ersten?) Zugang zur Fachliteratur als das einsame Studium daheim.				
4	Kompetenzen Ein Student stellt am Anfang des Seminars den jeweiligen Artikel kurz vor (mit Folien, an der Tafel, mit Tischvorlage), anschließend wird darüber in der gesamten Runde diskutiert. Ziel ist die Entwicklung eines tiefergehenden Verständnisses der beschriebenen Zusammenhänge und das Herausbilden einer selbständigen Herangehensweise ans Fachliteraturstudium. Auch wissenschaftliche Fragen, die nicht in direkten Zusammenhang mit dem Artikel stehen, können jederzeit behandelt werden. Für eine ergiebige Diskussion sollten auch die nicht vortragenden Teilnehmer den Artikel schon vor dem Seminar studiert haben.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag bei der Vorstellung der Veröffentlichung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse in Optik und Laserphysik.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik, Medizinphysik oder im Masterstudiengang Physik, Medizinphysik				
9	Modulbeauftragte/r Jun.-Prof. W. Helml/Prof. S. Khan		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar Photovoltaik (PHY5216)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc., M. Sc.), Studierende anderer Fachbereiche im Rahmen des Zertifikats Nachhaltigkeit (studium oecologicum)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Sem. (B.Sc) 1. Sem. (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar behandelt die physikalischen Grundlagen der Photovoltaik. Neben diesen Grundlagen werden Methoden der Analytik und Optimierung photovoltaischer Systeme sowie der technischen Umsetzung diskutiert. Insbesondere für fachfremde Studierende werden auch Vorträge zu aktuellen, politisch diskutierten Themen wie intelligente Stromnetze angeboten. Konkret ist eine Behandlung folgender Themen angedacht: - optische Eigenschaften konventioneller Halbleiter - Dotierung, p-n- und p-i-n-Übergänge - solare Strahlung, Schottky-Queisser-Limit - Design realer Solarzellen, Optimierung des Füllfaktors - Multi-Junction-Solarzellen - Beschichtungen und Nanostrukturierung: Optimierung des Wirkungsgrads - Solarzellen aus organischen Halbleitern - neuartige Solarzellen: Dünnschichtsolarzellen, Perovskite - kommerzielle Aspekte der Photovoltaik - Herausforderungen und Chancen der Integration von Solarstrom in die bestehende Strom netzinfrastruktur				
4	Kompetenzen Die Studierenden wenden die Konzepte der modernen Halbleiterphysik an, um die Wirkungsweise moderner Solarzellen und deren Optimierung zu verstehen. Diese Themen werden in den Kontext nachhaltiger Technologien und erneuerbarer Energieformen eingebettet.				
5	Prüfungen Modulprüfung: benoteter Seminarvortrag				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Für eine Reihe von Themen sind Grundkenntnisse in der Festkörperphysik (Einführung in die Festkörperphysik bzw. Struktur der Materie) erforderlich.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul in den Studiengängen der Fakultät Physik; Wahlmodul im Zertifikat Nachhaltigkeit				
9	Modulbeauftragte/r Dekan(in) der Fakultät Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Streumethoden in der Festkörperphysik (PHY5217)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc., M. Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Sem. (B.Sc) 1. Sem. (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	5	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Die Vorlesung deckt die wichtigsten Aspekte der Physik kristalliner Halbleiter ab. Zudem werden einige zentrale Halbleiterbauelemente diskutiert. Konkret werden die folgenden Themen behandelt: 1. Streuung: Wiederholung 2. Erzeugung von Synchrotronstrahlung 3. Röntgenstreuung: Grundlagen 4. Röntgenstreuung an Oberflächen und Grenzflächen 5. Röntgenreflektivität 6. Röntgenabsorptionsspektroskopie 7. Freie Elektronenlaser 8. Erzeugung von Neutronen 9. Besonderheiten der Neutronen- und Vergleich mit Röntgenstreuung 10. Kleinwinkelstreuung mit Neutronen und Röntgenstrahlung 11. Inelastische Neutronen- und Röntgenstreuung Die Vorlesung orientiert sich hierbei an den Büchern: Elements of modern X-ray physics, J Als-Nielsen, D McMorrow Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering, G. L. Squires X-ray and neutron reflectivity: principles and applications: J Daillant, A Gibaud X-ray scattering from soft-matter thin films: M Tolan X-Ray Diffraction Modern Experimental Techniques: Oliver Seeck, Bridget Murphy				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die Konzepte der modernen Streumethoden anwenden, um die Wirkungsweise moderner Röntgen und Neutron Streumethoden um die Physik von Festkörper zu verstehen. Zudem lernen die Studierenden Konzepte, um die Eigenschaften von Streumethoden zu beschreiben und einzusetzen Probleme aus der Festkörperphysik zu lösen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse in der Festkörperphysik (Einführung in die Festkörperphysik bzw. Struktur der Materie)				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul	
9	Modulbeauftragte/r Dekan der Fakultät Physik	Zuständige Fakultät Physik

Module: Einführung in die Quantentechnologien (PHY5218)				
Degree Program: Physik (B.Sc.)				
Frequency: Winter term	Duration: 1 semester	Semester: 5th B.Sc.	Credits 3	Work load 90 h

1	Module Structure:				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture	L	3	2
2	Language: German				
3	Content Introduction to modern quantum technologies 1. Basic concepts: entanglement, qubits, quantized light fields, squeezing 2. overview of quantum technology pillars: quantum computing, quantum simulation, quantum communication, quantum sensing and metrology 3. overview of quantum technology platforms: atoms, molecules, ions, photons, polaritons, superconducting circuits, quantum dots 4. detailed discussion of a few examples				
4	Learning outcome Students obtain an overview of quantum technologies and the connection to current research at TU Dortmund as a basis for more in-depth lectures.				
5	Examination Module exam: graded examination (written or oral depending on number of participants)				
6	Participation Requirements Physics IV				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Dean of the Department of Physics		Faculty in charge Department of Physics		

Modul: Thermodynamik und Statistik (PHY531)

B.Sc.-Studiengang: Physik

Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Semester	Credits 9	Aufwand 270 h
---------------------------	----------------------	----------------------------------	--------------	------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Thermodynamik und Statistik	V	6	4
	2	Übungen zur Thermodynamik und Statistik	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch, teilweise Englisch				
3	Lehrinhalte Der bewusst von der Statistik abgetrennte Thermodynamik-Teil dient als Beispiel für eine phänomenologische Theorie; der statistische Teil enthält Grundlagen der klassischen und der Quantenstatistik. Zu beiden Teilen gibt es Anwendungen. Thermodynamische Systeme; extensive und intensive Größen; die Hauptsätze, ideales Gas, Carnot-Prozess, Wirkungsgrad, Wärmekraftmaschinen. Thermodynamische Potentiale und Relationen, Thermodynamik bei veränderlicher Teilchenzahl. Phasendiagramme, Phasengleichgewicht. Van-der-Waals-Gas. Mehrstoffsysteme. Massenwirkungsgesetz. Osmotischer Druck. Optional: Thermodynamik in äußeren Feldern.				

	Makroskopische Systeme, Wahrscheinlichkeitsbegriffe, Argumente für eine statistische Beschreibung. Dichteoperatoren für Gleichgewichtsgesamtheiten. Definition der Entropie in der Statistik, Relation zur Thermodynamik. Mikrokanonische, kanonische, großkanonische Gesamtheiten und ihre Äquivalenz. Fluktuationen. Besetzungszahldarstellung mit Anwendung auf die idealen Fermi- und Bose-Gase, Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren, Pseudobosonen, Planck'sches Strahlungsgesetz. Optional: Übergang von der Quantenstatistik zur klassischen. Anwendungen: Klassische Virialentwicklung. Magnetische Momente, Magnetismus. Molekularfeld und Variationsprinzip. Ising-Modell. Landau-Theorie der Phasenübergänge. Kritische Exponenten und Skaleninvarianz. Ginzburg-Landau-Theorie. Renormierungsgruppe. Störungsrechnung in der Quantenstatistik. Lineare Antwort, Dissipations-Fluktuationstheorem. <u>Literatur:</u> Landau-Lifschitz Bd.V; K. Huang: Statistical Mechanics. Vorlesungsskripte Dortmunder Dozenten.	
4	Kompetenzen Die Studierenden können die charakteristischen Phänomene der Thermodynamik erkennen, einordnen und deuten, sowie deren formalen Apparat beherrschen und anwenden. Gleiches gilt für die statistische Untermauerung der Thermodynamik. Die Studierenden verstehen insbesondere, dass erst durch die Quantenstatistik die Paradoxa und Unzulänglichkeiten der Thermodynamik und der klassischen Statistik überwunden werden konnten. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.	
5	Prüfungen Studienleistungen: Hausaufgaben; Modulprüfung: Benotete Klausur (180min)	
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung	
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I bis IV	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Dekan Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Gruppentheorie in der Physik I (PHY533)				
B.Sc.-Studiengang: Physik, M.Sc.-Studiengang Physik				
Turnus: zweijährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. (B.Sc) 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	6	2 + 2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Grundlagen der Gruppentheorie und Lie-Gruppen, mit Anwendungen insbesondere in der Elementarteilchenphysik: Symmetrien in der Quantenmechanik; Grundbegriffe der Gruppentheorie (Definition, diskrete Gruppen, die Permutationsgruppe S_n , Nebenklassen, Faktorgruppe, Untergruppen); Darstellungen von Gruppen (reduzible und irreduzible Darstellungen, Schur'sches Lemma); die Drehgruppe, $SO(3)$ und $SU(2)$ (Drehimpulsalgebra, irreduzible Darstellungen, Tensoroperatoren, Wigner-Eckart-Theorem); allgemeine Struktur der Lie-Algebren (Cartan-Algebra, Wurzeln und Gewichte); die Gruppe $SU(3)$ (Darstellungen, Quark-Modell); Tensormethoden und Young-Tableaux; Dynkin-Diagramme und Klassifikation der halb-einfachen Liegruppen, Bezug zu vereinheitlichten Feldtheorien ($SU(5)$), und zum Quarkmodell ($SU(6)$). <u>Literatur:</u> H Georgi: Lie Algebras in Particle Physics, Reading, Mass. 1982; Wu-Ki Tung, Group Theory in Physics, Singapore 1985; D. B. Lichtenberg, Unitary Symmetry and Elementary Particles, New York 1970.				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen, wie man das grundlegende Konzept einer Symmetrie der Natur mathematisch erfaßt. Sie lernen, die bereits in der Quantenmechanik und in den experimentellen und theoretischen Einführungen in die Elementarteilchenphysik heuristisch benutzten Symmetriekonzepte und die entsprechenden algebraischen Konstrukte in ein mathematisches Gebäude einzuordnen. Sie lernen neue Formen möglicher Symmetrien kennen. Sie lernen, wie man daraus allgemeinere Hypothesen oder Theorien konstruieren kann, so wie sie in der modernen Elementarteilchenphysik eine zentrale Rolle spielen.				
5	Prüfungen Klausur (120 min) oder mündliche Modulprüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik IV empfohlen				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik.				
9	Modulbeauftragte(r) Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Einführung in die Quantenfeldtheorie der Elementarteilchen (PHY534)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: Blockkurs	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 60 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	22 h Block
2	Lehrveranstaltungssprache: English				
3	Lehrinhalte Classical Field Theory : Hamilton-Jacobi theory of fields in the Minkowski space, Lagrange formalism, Poissonbrackets, energy-momentum tensor, Noether theorem in CFT, internal charges, equations of motion, all classical fields of the Standard Model with and without spin Canonical Quantization of Scalar Fields: commutation relations, creation and annihilation operator representations, quantized Hamiltonian, normal ordering, charged scalar fields, charge and number density operators Greens Functions: general time ordering and T* ordering, scalar propagators in Minkowski space Path Integral Quantization: quantum mechanical path integral and examples, QFT path integrals, perturbative treatment by functional derivative, interacting scalar fields, derivation of Feynman rules Fermion Fields: functional quantization of the Dirac field, anti-commutators, gauge-phase transformation, properties of Grassmann variables, fermionic path integral for free Dirac fields, derivation of Green's functions Yang-Mills Fields: derivation of gauge invariance for general non-Abelian groups, Faddeev-Popov formalism WT-identities and BRS Formalism: path-integral derivation of Ward-Takahashi identities, the BRS-formalism of Yang-Mills QFTs and the implementation of gauge-phase invariance in the quantized case				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten erste Einblicke in grundlegende Aspekte der relativistischen Quantenfeldtheorie der verschiedenen Teile des Standard Modells der Elementarteilchen von der Problemstellung bis hin zu den Bausteinen für konkrete Berechnungen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Quantenmechanik, 50% der Punkte bei den Übungsaufgaben				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach				

9	Modulbeauftragte/r Prof. J. Blümlein	Zuständige Fakultät Physik
---	--	--------------------------------------

Modul: Kosmologie, Quantenkosmologie, Gravitationswellen (PHY535)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V + Ü	9	4+2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Gravitation und Robertson-Walker-Metrik, Thermische Entwicklung im Universum , Primordiale Nukleosynthese, Rekombination, Strukturentstehung, Baryogenese, Dunkle Materie, Dunkle Energie, Inflation, Gravitationswellen, Quantenkosmologie				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die Grundlagen der Kosmologie und erlernen Grundkenntnisse, wie wichtige Prozesse im frühen Universum beschrieben und Vorhersagen berechnet werden und, Prozesse wie Erzeugung der Dunklen Materie, der Baryonasymmetrie oder die Inflation beschreiben und analysieren zu können.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Quantenphysik, Thermodynamik und Statistik, KET, Allgemeine Relativitätstheorie				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. H. Päs		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Physik und Philosophie der Zeit (PHY536)				
Studiengang: Physik und Medizinphysik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Philosophie der Zeit: Zeit als kulturelles Phänomen, Platon, Aristoteles, Augustinus, Leibniz, Newton, Kant Zeit in der modernen Physik: Thermodynamik, Relativitätstheorie, Quantenmechanik, Quantenkosmologie, Neurologie und Psychologie der Zeitwahrnehmung				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die Problematik ein fundamentales Konzept wie die Zeit zu definieren und lernen im Dialog mit der Philosophie, physikalische Zeitbegriffe zu hinterfragen, reflektieren und besser zu verstehen sowie offene Fragen zu identifizieren.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Physik 1+2				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. H. Päs		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Gruppentheorie in der Physik II (PHY537)				
B.Sc.-Studiengang: Physik, M.Sc.-Studiengang Physik				
Turnus: zweijährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. (B.Sc) 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	5	2 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Unendlichdimensionale Lie-Gruppen, konforme Abbildungen in $d=2$ und $d=4$. Die Virasoroalgebra, zentrale Erweiterung von Algebren. Die Rolle des Energie -Impulstensors, Conformal Towers. Berechnung der Korrelationen im Rahmen von konformen Feldtheorien. Kritische Exponenten. Minimale Modelle. Literatur: Di Francesco, Pierre Mathieu, David Sénéchal Conformal Field Theory, Springer Fradkin, Palchik. Conformal Quantum Field Theory in D-dimensions, Springer				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen, wie das grundlegende Konzept der konformen Abbildungen in verschiedenen Bereichen der theoretischen Physik Anwendung findet. Sie lernen, den Zusammenhang zu den bereits aus der Thermodynamik bekannten Skalengesetzen und den Umgang mit unendlichdimensionalen Liegruppen und deren Erweiterungen. Sie lernen neue Formen möglicher Symmetrien kennen, die sowohl in der Theorie der Elementarteilchen als auch in der Thermodynamik von Bedeutung sind.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus der Gruppentheorie in der Physik I, aus der Elementarteilchentheorie und aus der Thermodynamik und Statistik.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik.				
9	Modulbeauftragte(r) Ute Löw		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Gruppentheorie in der Festkörperphysik (PHY538)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. (B.Sc) 1.-3. Sem. (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V+Ü	6	3+1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Gruppentheoretische Grundlagen; Darstellungen und Charaktere; Orthogonalitätstheoreme; Beziehung zwischen Quantenmechanik und Gruppentheorie; die 32 Punktgruppen in Festkörpern; Irreduzible Darstellungen der Punktgruppen; Doppelpunktgruppen; Gruppentheorie in der zeitunabhängigen Störungstheorie: Aufspaltung atomarer Orbitale in Festkörpern; Gruppentheoretische Auswertung von Matrixelementen: Wigner-Eckart Theorem; Raumgruppen und ihre irreduziblen Darstellungen; Teilchen in periodischen Potentialen. Literatur: H.-W. Streitwolf, Gruppentheorie in der Festkörperphysik; M. Böhm, Symmetrien in Festkörpern; M.S. Dresselhaus et al., Group Theory.				
4	Kompetenzen Die Studierenden erlernen die mathematischen Grundlagen der Gruppentheorie und hierbei insbesondere das Konzept der irreduziblen Darstellungen von Gruppen. Ausgehend von diesen Grundlagen wird ihnen die fundamentale Beziehung zwischen der Gruppentheorie und den Eigenschaften quantenmechanischer Systeme vermittelt. In der Vorlesung und in den Übungen beschäftigen sich die Studierenden dann im Detail mit den in Festkörpern besonders wichtigen Gruppen, den Punktgruppen, den Doppelpunktgruppen und den Raumgruppen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik IV erforderlich; Kenntnisse aus Einführung in die Festkörperphysik empfohlen (kann auch parallel gehört werden)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Jöeg Bünemann		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Condensed Matter Meets Particle Physics (PHY539)				
Studiengang: Physik (M.Sc) und (BsC)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: ab 4. Sem. (B.Sc)	Credits 3	Aufwand 90

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch/Englisch				
3	Lehrinhalte In dem Seminar sollen gemeinsame Ansatzpunkte aus der Physik der kondensierten Materie, der statistischen Physik sowie der Elementarteilchentheorie herausgearbeitet werden. Insbesondere soll untersucht werden, inwieweit sich die beiden Themengebiete im Bereich der Quantenfeldtheorie überschneiden und ergänzen. Konkrete Themen beinhalten konforme Feldtheorie, die Renormierungsgruppengleichung und das Informationsparadox in der Thermodynamik singulärer Lösungen der Einsteingleichungen.				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die modernen Methoden der theoretischen Physik (aus den Bereichen statistische Physik, Physik der kondensierten Materie und der Elementarteilchentheorie) anwenden. Die Studierenden lernen Probleme fachgebietsübergreifend zu diskutieren.				
5	Prüfungen Vortrag von 90 Minuten				
6	Prüfungsformen und –leistungen □ Modulprüfung: Vortrag □ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Physik I-IV, Thermodynamik und Statistik (Theorie), Grundkenntnisse in der Quantenfeldtheorie				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor und Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r E.Stamou, U.Loew		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Modern methods in experimental quantum physics (PHY541) (From winter term 2025/26)				
Degree Program: Physics (B.Sc.)				
Frequency: Winter term	Duration: 1 semester	Semester: 5th sem.	Credits 3	Work load 90 h

1	Module Structure:				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Laboratory course with lecture and seminar	P	3	2
2	Language: English				
3	Content The course teaches a basic skill-set relevant to experimental physics (lasers, Gaussian optics, beam profiling, cavities, spectroscopy, lock electronics). The course combines lab work in small groups with lectures for the background knowledge. The experimental tasks include 1) Operating a diode laser and mode matching the laser beam 2) Coupling an optical cavity and interpreting the transmission spectra 3) Operating electrooptical modulation to imprint sidebands on laser beams 4) Implementing a Pound-Drever-Hall frequency stabilization of the laser				
4	Learning outcome The students learn a basic experimental skill set for performing laboratory work, which will enable them later to understand and operate complex experimental setups due to hands-on experience with all relevant components as well as background knowledge on them. This includes alignment as well as quantitative evaluations. The students also learn to discuss about experimental setups and about the related physics.				
5	Examination Course work: performing experimental tasks in small groups Module exam: graded oral examination				
6	Participation Requirements Physics I - IV				
7	Module type Elective module				
8	Responsible E. Narevicius and C. Weitenberg		Faculty in charge Department of Physics		

Modul: Bachelorarbeit (PHY611)				
B.Sc.-Studiengang Physik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem	Credits 10	Aufwand 300 h
1	Modulstruktur Betreute wissenschaftliche Arbeit			
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch			
3	Lehrinhalte Bearbeitung einer aktuellen wissenschaftlichen Problemstellung der experimentellen oder theoretischen Physik in einem internationalen Forschungsumfeld und unter Beachtung der Regeln Guter Wissenschaftlicher Praxis. Literatur: Monographien, Übersichtsartikel und Originalveröffentlichungen zur jeweiligen wissenschaftlichen Problemstellung.			
4	Kompetenzen Die Studierenden können sich in ein aktuelles wissenschaftliches Thema einarbeiten, ein Teilprojekt unter Anleitung bearbeiten, die Ergebnisse schriftlich dokumentieren, in einem Seminarvortrag darüber referieren und eine anschließende wissenschaftliche Diskussion darüberführen. Sie lernen so die Techniken des wissenschaftlichen Arbeitens kennen und entwickeln neben der Fachkompetenz auch ihre Methodenkompetenz bei der Literaturrecherche, dem Medieneinsatz, der Umsetzung von Fachwissen und dem wissenschaftlichen Schreiben sowie ihre Präsentationstechniken und die Fähigkeit zur Diskussionsführung weiter. Durch die Teilnahme an einer Online-Unterweisung in Guter Wissenschaftlicher Praxis erhalten die Studierenden Einblick in die Themen Forschungsdatenmanagement, das Verfassen wissenschaftlicher Arbeiten, die Autorenschaft, evtl. Interessenskonflikte, wissenschaftliche Kooperation und Aspekte wissenschaftlichen Fehlverhaltens.			
5	Prüfungen Bachelorarbeit mit Präsentation: Die Bachelorarbeit soll einen Umfang von 25 Seiten nicht überschreiten. Die Bearbeitungszeit der Bachelorarbeit beträgt drei Monate. Der Inhalt der Bachelorarbeit ist in einem halbstündigen hochschulöffentlichen Vortrag mit anschließender wissenschaftlicher Diskussion (etwa 15 Minuten) zu präsentieren. 2 benotete Teilleistungen: Begutachtung der Bachelorarbeit und des Vortrags hinsichtlich Inhalt und Form. Der Online-Kurs zu Guter Wissenschaftlicher Praxis wird mit einem unbenoteten Online-Quiz abgeschlossen.			
6	Prüfungsformen und –leistungen ☐ Modulprüfung: ☒ Teilleistungen: Bachelorarbeit und Vortrag			
7	Teilnahmevoraussetzungen Mindestens 135 erworbene Credit Points im Bachelorstudiengang, darunter die Module Physik I-IV, Höhere Mathematik I-III und Experimentelle Übungen I			
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik.			
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik	

Modul: Elektronik (PHY621)				
B.Sc.-Studiengang: Physik, M.Sc.-Studiengang Physik				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: 6. Sem. M.Sc.: 2. Sem.	Credits 8	Aufwand 240 h

1	Modulstruktur 3 SWS Vorlesung, 2 SWS Übung. Vorlesung und Selbststudium, die Übung besteht aus einem theoretischen und praktischen Teil.
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch
3	Lehrinhalte Grundlegende Eigenschaften von elektrischen und elektronischen Bauelementen, Methoden zur Messaufnahme Verhalten und Kennlinie einer Diode, Kleinsignalverhalten und Grenzdaten des Betriebs, Statisches und dynamisches Verhalten im Modell, Anwendungen mit speziellen Dioden; Kennlinien, Arbeitspunkt und Kleinsignalverhalten von Bipolartransistoren, Grundsaltungen mit Dioden und Bipolartransistoren, Kennlinien, Grenzdaten und Arbeitspunkt von Feldeffekttransistoren, Source-, Gate- und Drainschaltungen; Verstärker: Stromquellen, Stromspiegel, Differenzverstärker, Arbeitspunkt, Operationsverstärker, Prinzip der Gegenkopplung, typische Anwendungen von Operationsverstärkern; Kippschaltungen, Einsatz von Gattern, Komparatoren, Schmitt-Trigger, Digitaltechnik Grundlagen: logische Grundfunktionen, abgeleitete Grundfunktionen; Schaltnetze: Zahlendarstellung, Addierer. Anwendungen: Impedanzkonverter, Filter, Stromversorgungen, Messschaltungen, Sensorik Literatur: Tietze/Schenk, <i>Halbleiterschaltungstechnik</i> , K.H. Rohe: <i>Elektronik für Physiker</i> , P.Horowitz /W.Hill: <i>The Art of Electronics</i> , R. Heinemann: <i>PSpice, Einführung in die Elektroniksimulation</i>
4	Kompetenzen Die Studierenden ordnen die typischen Bausteine, Bauelemente und Methoden der Elektronik ein. An Hand von Standard-Beispielen identifizieren und charakterisieren sie Bauelemente in Schaltungen. In den Übungen vertiefen die Studierenden die theoretischen Kenntnisse als Ergänzung zur Vorlesung anhand von Beispielaufgaben. Des Weiteren übertragen sie ihre Kenntnisse auf reale Schaltungen, begleitend zur Vorlesung. In den Übungen bauen die Studenten ihre Sozialkompetenzen in Zweiergruppen aus. Hierzu realisieren Sie Schaltungen und Standardmessaufbauten in teilweiser gruppenübergreifender Kleingruppenarbeit im Team.
5	Prüfungen Studienleistungen: Hausaufgaben und praktische Realisierung in den Übungen Modulprüfung: Benotete Klausur (180min)
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I-IV, Experimentelle Übungen I/II, Festkörperphysik
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik Zuständige Fakultät Physik

Modul: Einführung in die Medizinphysik (PHY622)

(ab SS 2012 ersetzt durch Medizinphysik I aus dem Studiengang Medizinphysik, (8 LP))

B.Sc.-Studiengang: Physik, M.Sc.-Studiengang: Physik

Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: 6. Sem. M.Sc.: 2. Sem.	Credits 8	Aufwand 240 h
----------------------------------	-----------------------------	--	---------------------	-------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	8	3 + 2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Physikalische Grundlagen und Techniken für die Medizin Das Modul umfasst 3 Bereiche: - Physik des Lebens Grundlagen für das Verständnis von medizinisch relevanten Vorgängen wie z.B. Blutkreislauf, Atmung, Biomechanik, Ohr, Auge - Physikalische Techniken für die Diagnostik Schwergewicht bildgebende Techniken wie Röntgenbildgebung, Kernspintomographie, Ultraschall, Positron-Emissionstomographie, Magnetische und elektrische Quellen - Physikalische Methoden für die Therapie Ionisierende Strahlung, Strahlenschutz, Laser in der Medizin Literatur: Medizinische Physik, Band 1-3: J. Bille, W. Schlegel (Hrsg.). Biophysics: R. Glaser. Biophysik: W. Hoppe, W. Lohmann, H. Markl, H. Ziegler (Hrsg.). Bildgebende Verfahren in der Medizin: O. Dössel.				
4	Kompetenzen Die Studierenden kennen die physikalischen Phänomene, welche bei medizinischen Untersuchungen und Methoden von besonderer Relevanz sind. Sie lernen die wichtigsten Untersuchungstechniken und therapeutischen Methoden für die medizinische Praxis kennen.				
5	Prüfunen Studienleistungen: Hausaufgaben. Modulprüfung: Benotete Klausur (180min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I-IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragter Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Magnetische Resonanz (PHY623)				
B.Sc.-Studiengang: Physik, Medizinphysik; M.Sc.-Studiengang: Physik, Medizinphysik				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: 6. Sem. M.Sc.: 2. Sem.	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur 3 SWS Vorlesung, fakultativ Übung. Möglichkeit der praktischen Ergänzung durch Laborexperimente
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch
3	Lehrinhalte Grundlagen und Anwendungen der magnetischen Resonanz, d.h.: Klassische und quantenmechanische Beschreibung der wichtigsten Wechselwirkungen; Manipulation und zeitliche Entwicklung von Spinsystemen; bildgebende Verfahren; experimentelle Implementierung: Spektrometer, Messtechnik; Anwendungen mit Bezug zur Untersuchung von Struktur und Dynamik harter sowie weicher Materie; insbesondere die Anwendungen aus dem materialwissenschaftlichen und medizinphysikalischen Bereich sollen an die Zuhörer angepasst werden. Literatur: Slichter: Principles of magnetic resonance, Levitt: Spin dynamics, Schweiger, Jeschke: Principles of Pulse Electron Paramagnetic Resonance
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über verschiedene Gebiete der Magnetresonanz und kennen die wichtigsten Methoden und die Bandbreite der grundlegenden Anwendungen. Weiterhin sind die Studierenden in der Lage, die Originalliteratur mit Gewinn zu lesen und sie können einfache Rechnungen zur Spindynamik selbstständig durchführen.
5	Prüfungen Studienleistungen: fakultativ Hausaufgaben. Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik I-IV
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder Masterstudiengang Physik
9	Modulbeauftragter Dekan/in Physik
	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Seminar: Spezielle Themen der experimentellen Teilchenphysik (PHY624)				
Studiengang: Physik (B.Sc.)				
Turnus: jährlich	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem (B.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Spezielle Themen der experimentellen Teilchenphysik mit wechselnden Schwerpunkten. Diese können z.B. Aspekte der Hadron-Collider-Physik, der Physik jenseits des Standardmodells oder der Flavorphysik sein.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Fachgebiet der Teilchenphysik durch ein Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Fachvortrag				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus der Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Studiengang Bachelor Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in der Fakultät Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physik und Technologie von Halbleiter-Nanostrukturen (PHY625)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte 1. Grundlagen der Halbleiterphysik: Materialien, physikalische und elektronische Eigenschaften, Nanostrukturen 2. Herstellung, Charakterisierung und elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen 3. Transportphänomene Leitfähigkeit, Tunnelprozesse, hochbewegliche Systeme, Quanten-Hall-Effekt 4. Optische Eigenschaften Inter- und Intradband- Übergänge, Exzitonen in Quantendrähten und Quantenpunkten 5. 2D-Materialien: Spezifische Aspekte von Monolagen-Halbleitern (Graphen, TMDs)				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen und technologischen Grundlagen moderner Halbleiter-Nanostrukturen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Festkörperphysik (z.B. Modul Einführung in die Festkörperphysik oder Struktur der Materie)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Betz		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Maschinelles Lernen für Physiker*innen (PHY626)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.), Medizinphysik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc) 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 4	Aufwand 120 h

1	Modulstruktur: 2 SWS Seminar	
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch	
3	Lehrinhalte In diesem Seminar werden unterschiedliche Methoden und Anwendungen des maschinellen Lernens vorgestellt, um dann in praktischen Übungen von den Studierenden direkt benutzt werden zu können. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Deep-Learning-Methoden, wie zum Beispiel tiefe neuronale Netze (DNNs), faltende neuronale Netze (CNNs) und rückgekoppelte neuronale Netze (RNNs). Die Übungen werden in Jupyter Notebooks durchgeführt und es werden moderne Software-Bibliotheken wie Keras, Tensorflow und Scikit-Learn verwendet.	
4	Kompetenzen Die Teilnehmer lernen moderne Methoden des maschinellen Lernens auf vorgegebene Probleme anzuwenden. Die erlernten Methoden werden dann auf ein selbst gestelltes Datenanalyse-Problem angewendet und sowohl die Lösung als auch die Ergebnisse in einem Projektbericht dokumentiert.	
5	Prüfungen Benoteter Projektbericht	
6	Prüfungsformen und –leistungen Studienleistungen: Bearbeitung der Übungsaufgaben sowie Vorstellung der Lösungen Prüfungsleistung: Eigenständige Projektarbeit, die ein Problem mit Hilfe von modernen maschinellen Lernmethoden löst.	
7	Teilnahmevoraussetzungen: Grundkenntnisse in Linearer Algebra, Statistik und Python, wünschenswert ist die Vorlesung 'Statistische Methoden der Datenanalyse'	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach	
9	Modulbeauftragte/r Dekan(in) der Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Seminar: Aktuelle Themen und Techniken aus der Oberflächenphysik (PHY627)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Master Medizinphysik				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrver-nstaltungssprache: Deutsch/Englisch				
3	Lehrinhalte Festkörperphysik: Symmetrie, Raumgruppen, Zustandsdichten, Kristallpotential, Bandstruktur, Orbital-Hybridisierung Oberflächenphysik: Herstellung, Charakterisierung und Analyse von atomaren, elektronischen und vibronischen Oberflächenstrukturen, Oberflächenzustände, Rekonstruktionen, Relaxation, Dangling Bonds, Oberflächenspannung Molekulare Wechselwirkungen: Moleküle auf funktionalisierten Oberflächen, Wechselwirkung zwischen Molekül und Substrat, Ausrichtung und Orientierung von Molekülen, Molekül-Netzwerke Grenzflächen: Schichtsysteme, Grenzflächenstrukturen, amorphe Grenzphasen, Legierungen 2D Materialien: Graphene, Silicene, Germanene, Nano-Röhrchen Methoden: X-Ray Photoelektronen Spektroskopie (XPS), X-Ray Photoelektronen Beugung (XPD), Rastertunnelmikroskopie (STM), Rastertunnelspektroskopie (STS), Rasterkraftmikroskopie (AFM), Photoemissionselektronenmikroskopie (PEEM), X-Ray Standing Waves (XSW), Elektronenholographie Techniken: Ultra-Hochvakuum, Nah-Raumdruck Messungen, Pump-Technik				
4	Kompetenzen Die Studierenden erlernen die modernen Methoden der Festkörperphysik interdisziplinär auf Systeme der Oberflächen- und Grenzflächenphysik. In den erarbeiteten Vorträgen lernen Studierende komplexe wissenschaftliche Methodiken und Arbeiten verständlich zu präsentieren. Durch die Diskussion werden Grundprinzipien des wissenschaftlichen Austausches und Diskurses vermittelt.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (30 min + 15 min Diskussion)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Physik I- IV, Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang oder im Masterstudiengang Physik,				

	Medizinphysik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. C. Westphal	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Fortgeschrittene nichtlineare spektroskopische Methoden in der Festkörperphysik (PHY628)				
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Lineare licht-Materie Wechselwirkung: elektrische Polarisierung, dielektrischer Tensor, lineare Optik, lineare Magneto-Optik in magnetischen Materialien (Metalle und Isolatoren), Drude Modell, Lorentz Modell Optik der Metalle: freie- Elektronen Modell, Plasmonen Optik der Isolatoren und Halbleiter: direkte und indirekte Übergänge, Exzitonen, Nichtlineare Optik: nichtlineare elektrische Polarisierung, Harmonische Erzeugung, magnetische Erzeugung von Harmonischen, Erzeugung von harmonischen aus Exzitonen. Raman Spektroskopie: Spontane und Induzierte Raman-Streuung an Phononen und Magnonen. Zeit-aufgelöst Methoden: Pump-probe Methode, zeitaufgelöste SHG und THG, zeitaufgelöste Raman-Spektroskopie.				
4	Kompetenzen Die Studierenden erhalten Einblicke in die physikalischen Grundlagen der optischen Eigenschaften von unterschiedlichen Materialienklassen. Das Verständnis von traditionellen und modernen spektroskopischen Methoden wird dabei durch direkte Beispiele ergänzt.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündliche Prüfung ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Grundkenntnisse Festkörperphysik und Elektromagnetismus				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang oder im Masterstudiengang Physik, Medizinphysik				
9	Modulbeauftragte/r Dr. Davide Bossini, Dr. Dima Yakovlev		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Angewandte Dosimetrie (PHY629)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Der Kurs deckt die Grundlagen der Dosimetrie und deren Anwendungen ab. Der Schwerpunkt des Kurses liegt insbesondere auf dem Aspekt der Personendosimetrie und ihrer Bedeutung im Strahlenschutz beruflich strahlenexponierter Personen. In dem Seminar werden sowohl detektorphysikalischen Grundlagen behandelt als auch technologische Aspekte der Anwendung wie z.B. die Anforderungen an Dosimeter sowie die Umsetzung in der Normung.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Fachgebiet der Dosimetrie durch ein Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Fachvortrag				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Struktur der Materie bzw. KET				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik, Medizinphysik oder im Masterstudiengang Physik, Medizinphysik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. Dr. Kevin Kröninger		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Methoden der klinischen Forschung (PHY6210)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	5	3
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Zusammenhänge in der klinischen Forschung. Methodische, statistische, rechtliche und ethische Aspekte. Klassifizierung von Studien: Observationsstudien (Fall-Kontroll-Studien, Querschnittsstudien, Kohortenstudien), Interventionsstudien (randomisiert, kontrolliert, doppel-verblindet), Phasen klinischer Studien. Statische Unterscheidung von Untersuchungsgruppen: Parametrische und nicht-parametrische Tests. Assoziationen von Untersuchungsgrößen: Korrelation (Pearson, Spearman), Regression (univariate, multivariate und logistische) Risiko- und Prognosefaktoren: Odds Ratio, Hazard Ratio, Absolutes Risiko, Relatives Risiko. Genauigkeit diagnostischer Verfahren: Sensitivität, Spezifität, Receiver Operating Curve (ROC), Likelihood Ratio (LR+ und LR-). Körperliche Belastbarkeit: Auswertung maximaler und submaximaler Belastungstests. Lebensqualität: Fragebögen – Umgang und Auswertung. Rechtliche und ethische Aspekte: Good Clinical Practice (GCP), Ethikkommission, Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM).				
4	Kompetenzen Die Studenten erlernen Methoden, die in der Klinischen Forschung angewandt werden. Da es sich in der medizinischen Wissenschaft um Forschung am Subjekt handelt, werden auch Kenntnisse zu rechtlichen und ethischen Aspekten erworben. In den Übungen lernen die Studenten, Aufgaben aus dem Bereich Kinischen Forschung eigenständig als Problem zu erfassen, zu lösen und in der Gruppe zu diskutieren.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete Klausur (120min) oder mündliche Prüfung (30 min), wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Im Masterstudiengang Medizinphysik kann auch eine Studienleistung für ein Schwerpunktmodul (z.B. klinische Medizinphysik) erworben werden: Vortrag, oder Klausur oder Prüfungsgespräch – wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur oder mündlich ☐ Teilleistung				

7	Teilnahmevoraussetzungen Medizinphysikalische Grundkenntnisse	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder im Masterstudiengang Medizinphysik, Physik	
9	Modulbeauftragte/r Gerhard Weinreich	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Anwendungen des Maschinellen Lernens in der Medizinphysik (PHY6211)				
Studiengang: Medizinphysik (M.Sc., B.Sc.), Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc) 1. Studienjahr (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur 2 SWS Seminar
2	Lehrveranstaltungssprache Deutsch oder Englisch
3	Lehrinhalte Maschinelles Lernen findet in vielen Bereichen der Medizin seit Jahren eine zunehmende Anwendung und hat das Potential diese sogar völlig zu verändern. Schon heute sind Methoden des maschinellen Lernens beispielsweise in der Diagnostik mithilfe bildgebender Verfahren von großer Bedeutung. Dort helfen Methoden des maschinellen Lernens behandelnden Medizinerinnen dabei, die hochkomplexen Daten auszuwerten, um präziser und schneller eine Diagnose zu stellen. Aber auch in anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Therapieplanung, der Behandlung oder sogar in der Entwicklung von wirksamen Medikamenten, kann maschinelles Lernen effizient eingesetzt werden, um nicht nur Kosten und Zeit zu sparen, sondern letztlich den Patienten die bestmögliche Versorgung zu ermöglichen. In diesem Seminar werden Sie zunächst einen Überblick über die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des maschinellen Lernens in der Medizin bekommen. Darüber hinaus werden Sie ein ausgewähltes Thema wissenschaftlich recherchieren, einen tieferen Einblick und Verständnis bekommen und anschaulich als Vortrag aufarbeiten und präsentieren. Der zentrale Fokus liegt bei diesen Seminarvorträgen auf den medizin-physikalischen Anwendungen, weniger auf den technischen Aspekten des maschinellen Lernens. Zusätzlich zu den Seminarvorträgen bereiten wir kurze Vortragseinschübe vor, in denen wir die technischen Aspekte des maschinellen Lernens in den jeweiligen Anwendungen näher durchleuchten und ohne nötiges Vorwissen erklären.
4	Kompetenzen Die Teilnehmer bekommen einen Überblick über aktuellen Themen der Medizin, in denen moderne Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt werden. Sie erlernen ein wissenschaftliches Thema zu recherchieren und in einem verständlichen Vortrag einem Publikum zu präsentieren. Zusätzlich bekommen Sie Einblicke wie moderne Algorithmen des maschinellen Lernens funktionieren.
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen in den Seminarstunden Modulprüfung: Benoteter, eigenständig recherchierter und herausgearbeiteter Seminarvortrag
6	Prüfungsformen und -leistungen ■ Modulprüfung: Benoteter Seminarvortrag
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse in der Medizinphysik, wünschenswert ist die Vorlesung 'Statistische

	Methoden der Datenanalyse'	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul	
9	Modulbeauftragte/r Dekan(in) der Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Superconductivity (PHY6212)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: Jährlich zum SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 2. Semester (Master) 6. Semester (Bachelor)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: English				
3	Lehrinhalte Fundamental Properties of Superconductors: vanishing of electrical resistance, perfect diamagnetism, flux quantization, quantum interference Superconducting materials: superconducting elements, alloys, MgB ₂ , heavy-fermion superconductors, high- <i>T_c</i> copper oxides, iron-based superconductors, organic superconductors Cooper pairing: Bardeen-Cooper-Schrieffer theory, conventional superconductivity, unconventional superconductivity, energy gap, electromagnetic response Thermodynamics: Ginzburg-Landau theory, Type-I superconductors in a magnetic field, Type-II superconductors in a magnetic field, fluctuations above <i>T_c</i> , states outside thermodynamic equilibrium Applications of superconductors Literature: Reinhold Kleiner and Werner Buckel, <i>Superconductivity: An Introduction</i> (Wiley-VCH) Michael Tinkham, <i>Introduction to Superconductivity</i> (Dover) James. F. Annett, <i>Superconductivity, Superfluids and Condensates</i> (Oxford) Terry R Orlando, Kevin A. Delin, <i>Foundations of Applied Superconductivity</i> (Addison-Wesley)				
4	Kompetenzen The discovery of superconductivity is one of the most prominent scientific achievements over the past century. A significant collection of unexpected and surprising new phenomena was revealed by the study of superconductivity, which greatly enriched our knowledge of quantum mechanics. This course will provide an overview of superconductivity and superconducting materials, based on the preliminary knowledge of solid state physics and quantum mechanics. Besides the fundamental properties of superconductivity, the lectures will also cover selected topics of the contemporary research.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in Festkörperphysik und Quantenmechanik. Bachelorstudierende müssen das Modul PHY521 „Einführung in die Festkörperphysik“ absolviert haben.				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul vorrangig im Masterstudiengang Physik, aber auch im Bachelorstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. Zhe Wang	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Halbleiterphysik (PHY6213)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Medizinphysik (B.Sc., M. Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 5	Aufwand 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	5	3
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Die Vorlesung deckt die wichtigsten Aspekte der Physik kristalliner Halbleiter ab. Zudem werden einige zentrale Halbleiterbauelemente diskutiert. Konkret werden die folgenden Themen behandelt: Halbleiter: Kristallstrukturen, Gitterschwingungen Elektronische Bandstruktur wichtiger Halbleitermaterialien Defektzustände und elektrischer Transport Optische Eigenschaften von Halbleitern Heterostrukturen/Nanostrukturen: Herstellung und Eigenschaften Einfluss externer Felder: Stark-Effekt, Quanten-Hall-Effekt Halbleiterdioden: Bandschema und elektrische Eigenschaften Optoelektronische Bauelemente: Photodioden, LED, Halbleiterlaser Bipolar- und Feldeffekt-Transistoren Die Vorlesung orientiert sich hierbei an dem Buch: M. Grundmann, The Physics of Semiconductors: An Introduction Including Nanophysics and Applications				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die Konzepte der modernen Halbleiterphysik anwenden, um die Wirkungsweise moderner Halbleiterbauelemente und die Physik von Halbleiter-Nanostrukturen zu verstehen. Zudem lernen die Studierenden Konzepte, um die Eigenschaften von Halbleiterheterostrukturen zu beschreiben und eigenständig Probleme aus der Halbleiterphysik zu lösen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse in der Festkörperphysik (Einführung in die Festkörperphysik bzw. Struktur der Materie)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul				
9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Betz		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Cold atoms and molecules (PHY6214)				
Degree Program: Physik (B.Sc.)				
Frequency: Summer term	Duration: 1 semester	Semester: 6 th B.Sc.	Credits 6	Work load 180 h

1	Module Structure:				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture with Exercise	L + T	6	2 + 2
2	Language: English				
3	Content 1) Basic concepts: Atomic structure, Light matter interaction, Bose and Fermi gases. 2) Preparation of quantum gases: Laser cooling, optical and magnetic traps, Evaporative cooling, Detection techniques, Scattering properties. 3) Quantum simulation with ultracold atoms: Optical lattices and Hubbard models, Artificial gauge fields. 4) Basic concepts: Molecular structure, collisions of cold molecules 5) Preparation: Molecular sources and laser cooling 6) Fundamental quantum physics with cold molecules				
4	Learning outcome Students learn the foundations of cold atoms and molecules including their preparation and modern research questions, which connect to solid state physics in an interdisciplinary way. In the exercises, the students deepen their understanding by solving related problems and discussing them in the group.				
5	Examination Course work: work on the exercises and presentation of the solutions Module exam: graded examination (written or oral depending on number of participants)				
6	Participation Requirements Physics IV				
7	Module type Elective module				
8	Responsible E. Narevicius and C. Weitenberg		Faculty in charge Department of Physics		

Module: Quantum Technologies with Atoms and Photons (PHY6215)				
Degree Program: Physics (B.Sc.)				
Frequency: Summer term	Duration: 1 semester	Semester: 6th semester	Credits 3	Work load 90 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Seminar	S	3	2
2	Language: English				
3	Content Modern topics of quantum technologies with atoms and photons, such as atom interferometers, atomic clocks, atomic qubits in tweezers, dark matter searches, precision spectroscopy of molecules, gravitational wave interferometers, frequency combs, quantum Zeno effect, Hong-Ou Mandel interferometer, Hanbury-Brown Twiss correlations, ghost imaging, and photonic BEC.				
4	Learning outcome Students learn key concepts and experiments of quantum technologies with atoms and photons. In the seminar talks, students learn to present complex scientific issues and methodologies in an understandable way. Through discussions, they learn basic principles of scientific exchange and discourse.				
5	Examination Module examination: Graded own presentation (30 min + 15 min discussion)				
6	Participation requirements				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Prof. E. Narevicius Prof. C. Weitenberg		Faculty in charge Department of Physics		

Modul: Physik des Lebens (BP12)				
Studiengang: Medizinphysik (B.Sc., M.Sc.), Physik (B.Sc, M.Sc),				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5./6. Sem. (B.Sc) 1./2. Sem. (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	6	3 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte i) Thermodynamik, Phasenumwandlungen und kritische Phänomene in der Biologie. Rolle der Fluktuationen, Landau-Ginzburg, Verbindung zu allen anderen Gebieten ii) Mechanik der Zelle: Elastizität von Schalen, Helfrich-Theorie, Benetzung, Zelladhesion nach Sackmann, Abknospung Linienstension. iii) Elektrostatik an Biopolymeren und Membranen: Poisson-Boltzmann, Gouy Chapmann, Kopplung zu Phasenumwandlungen iv) Polymertheorie: Gauss und Flory Kette, Dynamik (Rouse und Zimm), De Gennes, Reptation, Semiflexible Polymer v) Viskoelastizitätstheorie von Biopolymernetzwerken/Zytoskelet. Affine Netze, Skalenargumente, Rubber-Plateau, Dynamik und Elastizität vi) Leben bei kleinen Reynoldszahlen. Mikrowimmer, Reversibilität, Slender Body Theorie (Spermien, Bakterien, Pantoffeltierchen, Lunge,...) vii) Nicht-lineare Phänomene. (gekoppelte) Nichtlineare Oszillatoren (Hören), Solitonen, Anwendung Nerven, Herz... viii) Evolutionstheorie				
4	Kompetenzen Nach dem erfolgreichen Abschluss des Moduls • können Studierende physikalische Konzepte der Hydrodynamik, Elastizitätstheorie, Thermodynamik/Statistik und Elektrodynamik interdisziplinär auf Fragestellung der Biologischen und Medizinischen Physik (v.a.) auf mesoskopischer und makroskopischen Skala anwenden. • haben Studierende in den Übungen gelernt, Probleme aus dem interdisziplinären Themenbereich biologische Physik und Physiologie eigenständig als physikalisches Problem zu erfassen, zu lösen und in der Gruppe zu diskutieren.				
5	Prüfungen Studienleistung: Übungsaufgaben. Modulprüfung: Benotete Klausur (120min) oder mündliche Prüfung (30 min), wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Physik I-III oder äquivalent				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor-/Masterstudiengang Physik und Bachelorstudiengang Medizinphysik M.Sc Medizinphysik: siehe Modulhandbuch				

9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Schneider	Zuständige Fakultät Physik
---	--	-------------------------------

Modul: Höhere Quantenmechanik (PHY631)				
Studiengang: B.Sc. und M.Sc. Physik; B.Sc. und M.Sc. Medizinphysik				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Semester	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Höhere Quantenmechanik	V	3	2
	2	Übungen zur Höheren Quantenmechanik	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte (zeitabhängige) Störungstheorie: S-Matrix, Fermis goldene Regel; Streutheorie: Lippmann-Schwinger, Bornscher Wirkungsquerschnitt Pfadintegral: klassischer Limes, harmonischer Oszillator; Relativistische Quantenmechanik: Poincare-Trafos, Spinoren Klein-Gordon-Gleichung Diracgleichung: Kovarianz, P,T,C, nicht-relativistischer Limes, Feinstruktur Feldquantisierung, Fockraum, Photonen, Symmetrien, SUSY-QM <u>Literatur:</u> Schwabl: Quantenmechanik für Fortgeschrittene, Peskin, Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, L.D. Landau, E.M. Lifshitz: Quantenmechanik, Bd. III				
4	Kompetenzen Die Studierenden erlernen die wichtigsten Elemente der fortgeschrittenen Quantenmechanik, sowie die Methoden zur technischen Handhabung von Fragestellungen und Berechnung von Messgrößen. Neben der kanonischen Quantisierung wird das Pfadintegral als wichtiges Konzept moderner Feldtheorie am harmonischen Oszillator eingeführt. Ein Schwerpunkt ist die relativistische Quantenmechanik, hier wird verstärkt auf gute Beherrschung und konzeptionelles Verständnis der entsprechenden Transformationen für Objekte mit Spin geachtet. Die Studierenden werden an Methoden herangeführt wie sie in der aktuellen Forschung benutzt werden. In den Übungen lernen die Studierenden durch eigenständiges Lösen von Problemen und Diskussion in der Gruppe einfache physikalische Systeme sowohl formal-mathematisch als auch verbal zu beschreiben und Lösungen zu präsentieren. Sie lernen dabei, ihren Lernerfolg zu überprüfen und an dem der Mitstudierenden zu messen. Um die Teamarbeit zu fördern, werden Hausaufgaben als Gruppenarbeiten von bis zu 3 Studierenden akzeptiert.				
5	Prüfungen Studienleistung: Hausaufgaben Modulprüfung: Benotete Klausur (120 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik I-IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik; Unbedingt empfohlen, wenn Bachelorarbeit oder darauffolgendes Masterstudium im Bereich Teilchentheorie angestrebt wird.				

9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik	Zuständige Fakultät Physik
---	---------------------------------------	-------------------------------

Modul: Computational Physics (PHY632)				
Studiengang: B.Sc. und M.Sc. Physik; B.Sc. und M.Sc. Medizinphysik				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 9	Aufwand 270 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Computational Physics	V	6	4
	2	Übungen zu Computational Physics	Ü	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Grundlegende numerische Techniken, z.B.: Numerische Differentiation, Integration, Lösung von Differentialgleichungen. Grundaufgaben der numerischen linearen Algebra: lineare Gleichungssysteme und Eigenwertprobleme. Spezifische numerische Techniken der Physik, z.B.: Nichtlineare Optimierung in vielen Variablen, Bestimmung dominanter Eigenwerte in hochdimensionalen Räumen, Variationsverfahren, Lösung gekoppelter gewöhnlicher Differentialgleichungen, Molekulardynamik-Simulationen, Lösung partieller Differentialgleichungen, Monte-Carlo-Simulationen und -Integrationen, Lösung stochastischer Differentialgleichungen. Physikalische Anwendungsfelder, z.B.: Nichtlineare Dynamik (Poincaréschnitte, Ljapunow-Exponenten, Attraktoren, Bifurkationen). Elektrodynamik (Potentialgleichung). Optik (Beugung). Quantenmechanik (Stationäre Zustände, Variationsverfahren, Grundzustandsberechnungen, Zeitentwicklung, Streuprobleme, Hartree-Fock-Methode). Quantenfeldtheorie (Gitter-QFT, Funktionalintegrale). Statistische Physik (Transfermatrixmethoden, kritische Punkte und kritische Exponenten, Simulationen von Vielteilchensystemen mit Molekulardynamik und klassischen und quantenmechanischen Monte-Carlo-Methoden, stochastische Dynamik). Festkörperphysik (Dichtefunktionalmethoden, Bandstrukturberechnung). Teilchenphysik. Literatur: Press et al: Numerical Recipes, Schnakenberg: Algorithmen in der Quantentheorie und Statistischen Physik, Thijssen: Computational Physics, Gould-Tobochnik: An Introduction to Computer Simulation Methods				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die modernen Methoden der computerunterstützten theoretischen Physik und der Computersimulation auf Beispiele aus der Physik der Elementarteilchen und der kondensierten Materie anwenden. Dies beinhaltet das Erkennen des numerischen Problems, die Wahl des geeigneten Algorithmus und die Umsetzung in ein Programm anhand von Projekten als Hausübungen. Die Bearbeitung der Projekte im Team fördert Teamfähigkeit und Projektmanagement, außerdem die graphische Aufbereitung und Präsentation numerischer Ergebnisse.				
5	Prüfungen Studienleistung: Präsentation der Übungsprojekte. Benotete Modulprüfung, schriftlich oder mündlich (wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben)				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Der vorherige Besuch der Vorlesung "Thermodynamik und Statistik" wird empfohlen, ist aber keine zwingende Voraussetzung.				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik.	
9	Modulbeauftragte/r Dekan Physik	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Theorie Weicher und biologischer Materie (PHY633)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc), Master Medizinphysik				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem. (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	6	3 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Wichtige Systeme weicher und biologischer Materie: kolloidale Systeme, Flüssigkristalle, Polymere, flüssige Grenzflächen, fluide Membranen; Zellmembran, DNA, Zellskelett, Proteine, Motorproteine, Proteinfilamente. Statistische Physik: Virialentwicklung, Phasenübergänge (MeanField, Skalengesetze). Molekulare Wechselwirkungen: Debye-Hückel Theorie, vanderWaals Wechselwirkung, DLVO-Theorie, hydrophober Effekt, Wasserstoffbrücken, sterische Wechselwirkungen. Polymere: Kettenmodelle, Selbstvermeidung, Polymerlösungen, Adsorption, Gummielastizität. Flüssige Grenzflächen: Oberflächenspannung, Differentialgeometrie, Flächen konstanter Krümmung, Kapillarwellen, Benetzung, Schäume. Membranen: Biegeenergie, Formen flüssiger Vesikeln, thermische Fluktuationen. Stochastische Dynamik: Brownsche Bewegung, Diffusionsprobleme, Random Walk, Markov-Prozesse, Langevin-Gleichung und Fokker-Planck-Gleichung. Physikalische und Chemische Kinetik: thermisch aktivierte Prozesse, chemisches Gleichgewicht, chemische Kinetik, Michaelis-Menten. Biologische Physik: Molekulare Motoren, Filamente, ATP-getriebene Prozesse				
4	Kompetenzen Die Studierenden können die modernen Methoden der theoretischen Physik (aus den Bereichen statistische Physik, Mechanik, Elektrodynamik) interdisziplinär auf Systeme der Weichen Materie und biologischen Physik anwenden. In den Übungen lernen die Studierenden Probleme aus dem interdisziplinären Themenbereich Weiche Materie eigenständig als theoretisch-physikalisches Problem zu erfassen, zu lösen und in der Gruppe zu diskutieren.				
5	Prüfungen Studienleistung: Übungsaufgaben. Modulprüfung: Benotete Klausur (120min) oder mündliche Prüfung (30 min), wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Physik I-IV sowie Thermodynamik und Statistik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik,				

	Medizinphysik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. J. Kierfeld	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Allgemeine Relativitätstheorie (PHY634)				
B.Sc.-Studiengang Physik und Medizinphysik, M.Sc.-Studiengang Physik und Medizinphysik				
Turnus: ein- bis zweijährig im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V+Ü	6	3 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Wiederholung Spezielle Relativitätstheorie, Prinzipien der Allgemeinen Relativitätstheorie, Bezugssysteme und Äquivalenzprinzip, Tensorkalkül und Geometrie in gekrümmten Räumen, Gravitation und Einsteinsche Feldgleichungen, Tests der allgemeinen Relativitätstheorie, Schwarzschildmetrik, Sternmodelle, Schwarze Löcher, Gravitationswellen, Ausblick auf Kosmologie und Quantengravitation Literatur: S.M. Carroll: Spacetime and Geometry: Introduction to General Relativity und andere in der Vorlesung angegebene				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen, wie man die Raum-Zeit-Struktur gekrümmter Räume mathematisch beschreibt; sie erwerben eine vertiefte Einsicht in die Physik der Gravitation und ihre Beziehung zur Struktur der Raumzeit; sie lernen exemplarisch, wie sich aus allgemeinen Prinzipien und Postulaten eine Theorie mit meßbaren Konsequenzen herausbildet; sie entwickeln und üben die notwendigen Techniken, um den Formalismus der Allgemeinen Relativitätstheorie auf konkrete Probleme in Astrophysik und Kosmologie anzuwenden.				
5	Prüfungen Studienleistung: Hausaufgaben Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min) oder Klausur (120 min), wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich oder Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Physik I-III				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik.				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Advanced Solid State Physics I: Semiconductors and Light-Matter Interaction (PHY635)				
Degree Program: Physics (B.Sc, M.Sc), Medical Physics (B.Sc., M. Sc.)				
Frequency: as needed in SS	Duration: 1 semester	Semester: 6th sem. (B.Sc) 2nd sem. (M.Sc)	Credits 6	Work load 150 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per
	1	Lecture	V	6	4
2	Language: English				
3	Content The lecture covers the most important aspects of the modern physics of crystalline semiconductors and general aspects of the interaction of solids with light. Specifically, the following topics are covered: Semiconductor Physics: crystal structures, lattice vibrations, electronic band structure of important semiconductor materials, defect states and electrical transport, heterostructures/nanostructures: fabrication and properties, influence of external fields: Stark effect, quantum Hall effect, semiconductor diodes: band diagram and electrical properties Linear optics: optical properties of dielectrics, semiconductors and heterostructures including semiconductor structures; phonons, plasmons, polarons, excitons, optical Bloch equations; density matrix formalism; strong and ultra-strong light-matter coupling. Nonlinear optics: nonlinear susceptibility; nonlinear wave equation; phase matching; 3rd and higher order nonlinearities; nonlinear optics of the two-level system. Fundamentals of quantum optics: quantization of the electromagnetic field; quantum-mechanical states of the light field; coherence. Literature: N.W. Ashcroft, N.O. Mermin: "Solid State Physics" M. Grundmann, "The Physics of Semiconductors: An Introduction Including Nanophysics and Applications" M. Fox: "Optical Properties of Solids"				
4	Learning outcome The lecture opens a comprehensive view of modern semiconductor physics including the most important heterostructures. It also offers insight into the general optical properties of condensed matter in a broad spectral range from microwave radiation to the ultraviolet. The aim is to develop an understanding in particular of collective electron dynamics, excitations of quasiparticles, nonlinear optical processes and basic features of quantum optics.				
5	Examination Module exam: oral exam (30 min)				
6	Forms of examination and performance ☒ Module examination: oral ☐ Partial performance				
7	Participation requirements Basic knowledge of solid state physics (Introduction to Solid State Physics or Structure of Matter).				
8	Module type Elective module				
9	Responsible Dean of the Department of Physics		Faculty in charge Physics		

Modul: Fortgeschrittenenpraktikum (Bachelor) (PHY641)				
B.Sc.-Studiengang Physik				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Semester	Credits 6	Aufwand 180h, davon 60,5 h Präsenz und Prüfungen
1	Modulstruktur 4 SWS, Praktikum; die Versuche werden in Kleingruppen durchgeführt, und von erfahrenen Wissenschaftlern betreut.			
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch			
3	Lehrinhalte Physikalische Experimente und Messmethoden: Es werden die von den Studierenden erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten aus den „Experimentellen Übungen für Physiker I + II“ vertieft und im Hinblick auf aktuelle Techniken erweitert. Neben weiterführenden Versuchen zur Elementarteilchen-, Kern-, Atom- und Festkörperphysik wird auch tiefer in die Forschungsrichtung des Fachbereichs eingeführt, so können z.B. einzelne Versuche an den Lehrstühlen durchgeführt werden. Die jeweiligen Versuchsanleitungen enthalten lediglich einen kurzen Abriss der theoretischen und experimentellen Grundlagen, so dass die erforderlichen Kenntnisse im Selbststudium erworben werden müssen und der Umgang mit (englischer) Fachzeitschriften gelernt wird. Die Inhalte der Vorlesungen „Einführung in die Kern- und Teilchenphysik“ sowie „Einführung in die Festkörperphysik“ werden vorausgesetzt. Literatur: Es wird ein Skript zur Verfügung gestellt. Zusätzliche Literatur ist jedoch für das Verständnis erforderlich, u.a. Bergmann, Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik 1-6 (Walter de Gruyter 1990) Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (Springer 1994) Thorne, Litzen, Johansson, Spectrophysics (Springer 1999)			
4	Kompetenzen Die Studierenden sind in der Lage, komplexe Experimente eigenständig zu verstehen, durchzuführen, zu analysieren und den Sachverhalt wissenschaftlich darzustellen. Sie haben gelernt mit englischsprachlicher Literatur zu arbeiten, sowie aus verschiedenen Messtechniken bzw. Analysemethoden eine geeignete Methode auszuwählen und anzuwenden. Die Studierenden sind mit computergestützter Messdatenerfassung und Experimentiersteuerung vertraut. Die Studierenden sind in der Lage einen wissenschaftlichen Arbeitsprozess sprachlich zu formulieren, zu dokumentieren und seine Ergebnisse kritisch zu diskutieren. Sie haben gelernt, im Team zu arbeiten und miteinander wissenschaftlich zu kommunizieren.			
5	Prüfungen Studienleistungen: Vorbereitung, Versuchsdurchführung und testierte Versuchsprotokolle. Modulprüfung: Benotetes Abschlusskolloquium (30 min).			
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung			
7	Teilnahmevoraussetzungen Modul PHY341/441			
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Pflichtmodul im Bachelorstudiengang Physik			
9	Modulbeauftragter Der Dekan		Zuständige Fakultät Physik	

	Lehrende Alle Lehrenden der Experimentalphysik
--	--

Modul: Beschleunigerphysik I (PHY712)				
Studiengang: Master Physik und Medizinphysik				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 7. Studiensemester 1. Mastersemester	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	4	3
	2	Übungen	Ü+S	2	1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Einführung: Physikalische Grundlagen, Geschichte, Beschleunigertypen Transversale Strahldynamik: Magnete, Teilchenoptik, transversaler Phasenraum Longitudinale Strahldynamik: Hochfrequenzsysteme, longitudinaler Phasenraum Synchrotronstrahlung: Eigenschaften von Synchrotronstrahlung, Strahlungsdämpfung, Wiggler und Undulatoren, Synchrotronstrahlungsquellen				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die Physik und Technologie von Teilchenbeschleunigern, der nicht nur für eine Karriere in Beschleunigerphysik, sondern auch für zukünftige Experimentatoren an einem Beschleuniger gewinnbringend ist. Die Studierenden lernen die wesentlichen Schritte bei der Auslegung eines Beschleunigers oder Speicherrings kennen. Sie führen im Rahmen von Übungen Berechnungen zur Strahldynamik aus, wobei auch der Umgang mit einer Skriptsprache wie z.B. Matlab geübt wird.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Regelmäßige erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben, aktive Teilnahme an den Übungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in klassischer Elektrodynamik und spezieller Relativitätstheorie. Vorkenntnisse in Beschleunigerphysik oder Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Ethik der Naturwissenschaften					
Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)					
Turnus: Wintersemester		Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem.	Credits 3	Aufwand 90 h
1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte				
	1. Historische Positionen: Aristoteles (Grundlegung der Diskussion in der „Nikomachischen Ethik“), Kant (Der kategorische Imperativ in der Metaphysik der Sitten und Kritik der praktischen Vernunft), Schopenhauer (Naturwissenschaft und Ethik in der „Welt als Wille und Vorstellung“), Lange (Ethik und Materialismus in der „Geschichte des Materialismus) 2. Grundlagen der gegenwärtigen Diskussion: Günther Anders (Die Antiquiertheit des Menschen) Hans Jonas („Das Prinzip Verantwortung“; „Technik, Medizin und Ethik“) 3. Physik im Krieg: Die Farmhall-Protokolle (Bernstein, „Hilters Uranium Club“), Navasky, Ethische Funktion des Krieges („Report from Iron Mountain“), Robert Jungk („Heller als tausend Sonnen“) 4. Spezialthemen zur ethischen Verantwortung in der Medizin und Neurowissenschaft: z.B. Verteilungsprobleme bez. medizintechnischer Ressourcen (Geräte, Medikamente); Apparate abschalten? Leben künstlich verlängern? Organtransplantation/Hirntod-Kriterium? Präimplantations-Diagnostik? Hirndoping? Literatur dazu: Dieter Sturma, Bert Heinrichs (Hrsg) (2015) Handbuch Bioethik. Metzler; Biller-Andorno, N., Monteverde, S., Krones, T., Eichinger, T. (Hrsg.) Medizinethik. Springer; Armin Grunwald (Hrsg.): Handbuch Technikethik (2013) Metzler; Stoecker, Ralf, Neuhäuser, Christian, Raters, Marie-Luise (Hrsg.); Handbuch angewandte Ethik (2011) Metzler; Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften, Meiner (1990), weitere Ressourcen: Material des dt. Ethikrats, des DRZE (Deutsches Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften) etc.				
4	Kompetenzen				
	Die Studierenden erwerben durch Selbststudium zu ihrem eigenen Vortrag, durch die weiteren Vorträge und begleitenden Diskussionen ein vertieftes Wissen über die Begründung von Grundpositionen der Ethik und deren Anwendungsmöglichkeit in Hinblick auf Entscheidungsprobleme bei naturwissenschaftlich bzw. technisch induzierten Problemen. Dazu erwerben Sie die Fähigkeit, Fachtexte aus dem Gebiet der Philosophie inhaltlich zu erarbeiten und die für die Physik bzw. Naturwissenschaften relevanten Kernfragen herauszuarbeiten und auf die gegenwärtige gesellschaftliche Situation zu beziehen. Sie sind in der Lage, sich in ein komplexes Gebiet selbständig einzuarbeiten und die wesentlichen Inhalte verständlich zu präsentieren. Dabei verfügen Sie über Kenntnisse moderner Präsentationstechniken und können diese einsetzen. Sie können in einer wissenschaftlichen Diskussion ihren Standpunkt verteidigen.				
5	Prüfungen				
	Studienleistung: Seminarvortrag Modulprüfung: wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen				
	☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				

7	Teilnahmevoraussetzungen keine	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- und Masterstudiengang Physik, Medizinphysik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. Dr. Dr. W. Rhode	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Seminar: Soft Matter und Biophysik: Experiment und Theorie (PHY713)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik, M.Sc. Medizinphysik				
Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: Empfohlen: 1. Sem. (M.Sc.) 5. Sem. (B.Sc.)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar besteht aus Präsentationen der Studierenden zu Themen aus den Bereichen Soft Matter und Biophysik: Experimentelle Methoden und theoretische Konzepte aus den Bereichen Soft Matter und Biophysik, z.B.: Soft Matter: Experimentelle Techniken wie Röntgenkleinwinkelstreuung und Röntgenreflektivität, Theorie von Kolloiden (harte Kugeln), Flüssigkristallen, Membranen und Vesikeln, Polymeren (DNA), etc. Biophysik: Experimentelle Methoden wie Röntgenstrukturanalyse und Proteinkristallisation, hochauflösende Mikroskopie, Theorie und Simulation von Proteinen und Proteinfaltung, molekulare Motoren, Viren etc.				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen die verschiedensten experimentellen Methoden und theoretischen Konzepte kennen, die in dem interdisziplinären Feld der Forschung an Weicher Materie und Biophysik zum Einsatz kommen. Daneben eignen sich die Studierenden auch Präsentationstechniken zur Wissensvermittlung und Diskussionstechniken an.				
5	Prüfungen Studienleistung: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (30min + 15min Diskussion)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Physik I-IV sowie ggf. Thermodynamik und Statistik (Theorie). Es wird empfohlen, das Modul erst im Masterstudiengang zu belegen.				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul in den Masterstudiengängen Physik und Medizinphysik (sowie im Bachelorstudiengang Physik)				
9	Modulbeauftragte/r Prof. J. Kierfeld, Prof. M. Tolan		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Messmethoden in der Oberflächenphysik (PHY724)**Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik; M.Sc. (und B.Sc.) Medizinphysik**

Turnus: jährlich im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: M.Sc.:1. Sem.	Credits 6	Aufwand 180 h
----------------------------------	-----------------------------	---	---------------------	-------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit Übung	V + Ü	6	3 + 1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Die Vorlesung besteht aus einem theoretischen Teil mit Bezug zu und Beispielen aus der Praxis: Grundlegende Konzepte der Oberflächenphysik; experimentelle Voraussetzungen; Einführung in die wichtigsten Messmethoden; Beschreibung und Nomenklatur in der Oberflächenphysik; Elektronische und strukturelle Eigenschaften von Oberflächen; Wechselwirkungen an Oberflächen; Oberflächenzustände; Atome und Moleküle auf Oberflächen, organische molekulare Filme, Einblick in die Nanotechnologie: Nanostrukturen, Mikro- und Nanoherstellung von Strukturen, Mikro- und Nanoanwendungen <u>Literatur:</u> Henzler/Göpel, <i>Oberflächenphysik des Festkörpers</i>, F. Bechstedt/P. Herzog, <i>Principles of Surface Physics</i>, K. Kopitzki <i>Einführung in die Festkörperphysik</i>, W. Mönch, <i>Semiconductor Surfaces and Interfaces</i>; S. Morita/R.Wiesendanger/E.Meyer (Eds.), <i>Noncontact Atomic Force Microscopy</i>; W. Schattke/M.A.Van Hove (Eds.), <i>Solid-State Photoemission and Related Methods</i>; B. Bushan (Ed.), <i>Springer Handbook of Nanotechnology</i>; D.P. Woodruff/T.A. Delchar, <i>Modern Techniques of Surface Science—Second Edition</i>				
4	Kompetenzen Die Studierenden kennen die Grundlagen der Oberflächenphysik und oberflächen-spezifische Techniken: diese sind notwendige Voraussetzungen und erlauben frühe experimentelle Zugänge. Sie beherrschen die wichtigsten in der Oberflächenphysik eingesetzten Messmethoden von der theoretischen Seite. Die Studierenden kennen die jeweiligen Stärken und Grenzen der Methoden, dabei überschauen Sie die jeweiligen Vor- und Nachteile von eingesetzten Techniken. Die Studierenden treffen notwendige Unterscheidungen zwischen Volumen- und oberflächenspezifischen Techniken zum zielgerichteten Charakterisieren von Materialien, deren Eigenschaften erläutern sie an Hand von Beispielen. Dazu kennen sie die wichtigsten Wechselwirkungsmechanismen von Atomen und Molekülen mit Oberflächen. Diese Grundlage verwenden sie für folgende Einblicke in Anwendungen in der Nanotechnologie.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Hausaufgaben. Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und -leistungen				

	☒ Modulprüfung: mündlich	☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Experimentelle Übungen I/II und Festkörperphysik	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. C. Westphal	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Introduction to Optical Properties of Solids (PHY725)**Studiengang: Physik (B.Sc./M.Sc.), Medizinphysik (B.Sc./M.Sc.)**

Turnus: unregelmäßig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3./4. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 90 h
--------------------------------	-----------------------------	---	---------------------	------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: English				
3	Lehrinhalte Classical propagation of light: Propagation of light in a dense optical medium, the dipole oscillator model (Lorentz oscillator), the Kramers-Krönig relationships, dispersion, optical anisotropy: birefringence Absorption: Interband transitions, band edge absorption in direct gap semiconductors. band edge absorption in indirect gap semiconductors, interband absorption above the band edge Luminescence: light emission in solids, photoluminescence, electroluminescence Excitons: the concept of excitons, free excitons (Mott–Wannier), free excitons in external fields, free excitons at high densities, tightly bound (Frenkel) excitons Phonons: infrared active phonons, infrared reflectivity and absorption in polar solids, polaritons, polarons, Raman scattering, Brillouin Semiconductor quantum wells: Quantum confined structures, electronic levels, optical absorption and excitons, the quantum confined Stark effect, optical emission, intersubband transitions Literatur: C. Klingshirn, Semiconductor Optics, P. Yu and M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors; M. Fox, Optical properties of Solids; J. Shah, Ultrafast Spectroscopy of Semiconductors and their Nanostructures.				
4	Kompetenzen Students will gain insight into the physical principles of optical properties of different classes of materials by learning basic experimental methods of solid state spectroscopy and their application possibilities in basic research and industry. The lecture ties in with fundamental physics problems and shows students their relevance for modern applications. The understanding of traditional and modern spectroscopic methods is complemented by direct examples.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung (30 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Festkörperphysik und Elektromagnetismus				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlpflichtfach				
9	Modulbeauftragte(r) Prof. M. Betz		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Beschleunigerphysik und Synchrotronstrahlung: Anwendungen in der Festkörperphysik (PHY726)

Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik

Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h
----------------------------------	-----------------------------	--	---------------------	------------------------

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar besteht aus Teilgebieten der aktiven Forschung mit Speicherringen und mit Synchrotronstrahlung: Aktuelle Probleme der Erzeugung und aktuelle Anwendungen mit Synchrotronstrahlung; Methoden der Festkörperphysik zur Forschung mit Synchrotronlicht im weichen bis harten Röntgenbereich; Elektronische und strukturelle Eigenschaften von Oberflächen Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben /bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden kennen aktuelle Probleme bei der Erzeugung von Synchrotronstrahlung. Dazu diskutieren sie moderne Methoden zur Charakterisierung von Beschleunigern. Zur Beschreibung von Oberflächen wird heute Synchrotronstrahlung in vielen Bereichen eingesetzt, zum Beispiel der Physik, Chemie und Biologie. Diese Methoden verbinden in der modernen Forschung die Disziplinen. Durch das gemeinsame Seminar aus dem Bereich der Erzeugung von Synchrotronstrahlung und dem Bereich der Anwendungen wird die Teamfähigkeit gefördert. Die Studierenden verfügen über moderne Verfahren zur wissenschaftlichen Recherche und neueste Präsentationstechniken, die sie mit einem eigenen Beitrag vertiefen. Ferner können sie unterschiedliche Methoden und Techniken des Einsatzes von Synchrotronstrahlung in der Forschung zur Oberflächen- und volumenspezifischen Analyse kontextbezogen gegeneinander abwägen und problemgerichtet diskutieren.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus Festkörperphysik oder Beschleunigerphysik (wenn möglich)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Atomar aufgelöste Oberflächen- und Grenzflächenanalyse (PHY727)				
Studiengänge Physik B.Sc. und M.Sc.; und Medizinphysik B.Sc. und M.Sc.				
Turnus: jährlich im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem (B.Sc) 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Einführung: Grundlegende Eigenschaften von Oberflächen / Grenzflächen; Methoden zur Realraumabbildung (Rastertunnelmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie etc.); Beugung mit Elektronen- und Atomstrahlen an Oberflächen; Untersuchung von Nanostrukturen an Oberflächen; Röntgen- und Neutronenstreuung (Grundlagen); Röntgenreflektivität an Oberflächen und Grenzflächen: Theorie und Beispiele.				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen verschiedene Methoden zur Untersuchung der nanoskopischen Struktur von Oberflächen und Grenzflächen, bis hin zu Methoden mit atomarer Auflösung kennen. Insbesondere werden Methoden zur Realraumabbildung mit Beugungsmethoden verglichen. Die Darstellung der grundlegenden Mechanismen wird mit vielen Beispielen aus der aktuellen Forschung ergänzt. Anwendungsfelder wie die Nanotechnologie werden aufgezeigt.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Modulprüfung (30 min) oder kurzer schriftlicher Test.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich oder schriftlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus der Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik.				
9	Modulbeauftragte(r) Dekan(in) Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Festkörperspektroskopie (PHY728)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik; M.Sc. (und B.Sc.) Medizinphysik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch/Englisch				
3	Lehrinhalte Das Seminar beschäftigt sich mit Teilgebieten der aktiven Forschung, vorwiegend mit der magnetischen Resonanz, aber auch der dielektrischen und optischen Spektroskopie von Festkörpern: Neuartige methodische Entwicklungen der Kern- und Elektronenspinresonanz sowie verwandter Spektroskopieverfahren und deren Anwendung auf quantenphysikalische, materialwissenschaftliche und medizinphysikalische Fragenstellungen Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben / bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden besitzen eine Übersicht über einige wesentliche spektroskopische Methoden zur Untersuchung sowohl von harter als auch von weicher Materie. Begleitet durch die Dozenten, lernen die Studierenden anhand der Originalliteratur ein spezielles Forschungsgebiet näher kennen und können es für die Darstellung in einer Präsentation strukturiert aufarbeiten. Durch die obligatorische regelmäßige Teilnahme verfügen Sie über einen Überblick auch über andere aktuelle Entwicklungen aus dem Bereich der Festkörperspektroskopie. Der vorgeschriebene eigene Vortrag schult Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Laser – Arten und Anwendungen (PHY729)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik; M.Sc. (und B.Sc.) Medizinphysik				
Turnus: jährlich	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar besteht aus Teilgebieten zu Grundlagen von Laserprozessen und zur aktiven Forschung mit Lasern: Laserprozesse, Lasertypen (Festkörper-, Gas-, Halbleiter-, Elektronenlaser etc.), Erzeugung und Anwendung ultrakurzer Laserpulse, Erzeugung und Anwendung extrem schmalbandiger Laser, Hochleistungslaser, Laser für Kommunikation und Nachrichtenübertragung, Laser in der Medizin <u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben /bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen aktuelle Probleme bei der Erzeugung und Nutzung von Lasern kennen. Der vorgeschriebene eigene Vortrag schult Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. Unterschiedliche Vorgehensweisen und Arbeitsmethoden gewähren einen Überblick der Forschung mit Laserstrahlung.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus Festkörperphysik oder Festkörperspektroskopie				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte(r) Dekan(in) Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Teilchen- und Astroteilchenphysik (PHY7210)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Im Seminar werden Teilgebiete der Forschung auf dem Gebiet der experimentellen Teilchen- und Astroteilchenphysik und verbindender Gebiete wie Kosmologie und Kernphysik behandelt. Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus dem Modul „Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik“ (PHY522)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte(r) Dekan(in) Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Neutrino- und Gammaastronomie (PHY7211)					
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik					
Turnus: jedes Semester		Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h
1 Modulstruktur					
Nr.		Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
1		Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2 Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch					
3 Lehrinhalte Im Seminar werden Teilgebiete der Forschung auf dem Gebiet der Neutrino- und Gammaastronomie und verbindender Gebiete wie Kosmologie und Teilchenphysik behandelt. Methoden der Analyse der großen, in diesen Gebieten anfallenden Datenmengen, können ebenfalls behandelt werden. <u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt.					
4 Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.					
5 Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.					
6 Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung					
7 Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik					
8 Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik					
9 Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode			Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Teilchenphysikalische Aspekte Kosmischer Strahlung (PHY7212)					
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik					
Turnus: fakultativ		Dauer: 1 Semester		Studienabschnitt: 1.-2. Sem (M.Sc)	
			Credits 3		Aufwand 90 h
1 Modulstruktur					
Nr.		Element / Lehrveranstaltung		Typ	Credits
				SWS	
1		Selbststudium und eigener Vortrag		S	3
2		Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch			
3 Lehrinhalte					
Im Seminar werden Teilgebiete der Forschung auf dem Gebiet der Kosmischen Strahlung und benachbarter Gebiete behandelt. Besonderes Augenmerk liegt auf Teilchenphysikalischen Aspekten.					
<u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt.					
4 Kompetenzen					
Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.					
5 Prüfungen					
Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.					
6 Prüfungsformen und –leistungen					
☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung					
7 Teilnahmevoraussetzungen					
Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik					
8 Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls					
Wahlmodul im Masterstudiengang Physik					
9 Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode			Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Moderne Optik (PHY7213)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik; M.Sc. (und B.Sc.) Medizinphysik				
Turnus: nach Bedarf im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Neuartige methodische Entwicklungen zur Kontrolle des Lichtfelds und moderne optische Verfahren zur Spektroskopie und Bildgebung und ihre Anwendung in der Grundlagenforschung, der Materialwissenschaft und der Medizinphysik. Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekanntgegeben/bereitgestellt.				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen aktuelle optische Verfahren und Anwendungen kennen. Die Studierenden erarbeiten sich anhand der Originalliteratur ein abgegrenztes Forschungsthema und arbeiten es für eine Präsentation auf. Der vorgeschriebene eigene Vortrag schult Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion erlernen die Studierenden wissenschaftliche Diskussionstechniken. Die Breite der Themen gewährt den Studierenden einen Überblick über die Nutzung optischer Verfahren sowohl in der Forschung als auch für industrielle Anwendungen.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Quantenoptik (PHY7214)				
Studiengang: Physik (M.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Quantisierung des Lichtfelds, diskrete Variablen, Photonenstatistik, Korrelationsfunktionen und Fockzustände, kontinuierliche Variablen, Wignerfunktionen und Squeezed Light, Licht-Materie-Wechselwirkung, Rotating-Wave-Approximation, Cavity-Quantenelektrodynamik, Jaynes-Cummings-Modell und Rabioszillationen, Mollowtriplett und Resonanzfluoreszenz, schwache Messungen, Verschränkung, Kausalität und der Delayed Choice Quantum Eraser <u>Literatur:</u> Mandel/Wolf: Optical Coherence and Quantum Optics, Scully/Zubairy: Quantum Optics, Walls/Milburn: Quantum Optics, W. Schleich: Quantum Optics in Phase Space				
4	Kompetenzen Die Studierenden lernen grundlegende Effekte der Quantenoptik und den adäquaten theoretischen Formalismus zu ihrer Beschreibung kennen. Dies befähigt die Studierenden dazu, Originalarbeiten selbständig zu verstehen und vermittelt ihnen die nötige Kompetenz, um Abschlussarbeiten sowohl im Bereich der experimentellen Quantenoptik als auch im Bereich der Theorie der Licht-Materie-Wechselwirkung erfolgreich anfertigen zu können.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Modulprüfung (30 min).				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse aus Physik I-IV und höherer Quantenmechanik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Lesekurs zur Teilchenphysik (PHY7215)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: nach Bedarf im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte In dem Seminar werden Schwerpunkte auf spezielle Themen in der Teilchenphysik gelegt, z.B. Dunkle Materie, Neutrinos oder Top-Quark-Physik.				
4	Kompetenzen Die Teilnehmer lesen zur Vorbereitung des Seminars vorgegebene Publikationen und müssen sich selbstständig um weiterführende Literatur bemühen. Die Publikationen werden während des Seminars im Detail diskutiert und in den Kontext der Teilchenphysik eingeordnet. Dadurch sollen das Lesen von wissenschaftlichen Arbeiten geübt und Diskussionstechniken erlernt werden. Des Weiteren sollen von den Teilnehmenden Zusammenfassungen der Diskussion angefertigt werden, welche an dem Konzept der Konferenzverhandlungen angelehnt sind.				
5	Prüfungen Studienleistungen: schriftliche Zusammenfassungen der Diskussionen. Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus der Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Studiengang Master Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan(in) der Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Radioastronomie (PHY7217)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: jedes WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Im Seminar werden Teilgebiete der Forschung auf dem Gebiet der Radioastronomie behandelt. <u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Kosmische Strahlung (PHY7218)					
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik					
Turnus: fakultativ		Dauer: 1 Semester		Studienabschnitt: 1.-2. Sem (M.Sc)	
Credits 3			Aufwand 90 h		
1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte: Im Seminar werden Teilgebiete der Forschung auf dem Gebiet der Kosmischen Strahlung und benachbarter Gebiete behandelt. <u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physikalisch-Chemische Analytik 1a, Angewandte Spektrometrie (PHY7219a)				
Bachelor- und Master-Studiengang: Physik und Medizinphysik				
Turnus: 2-jährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: ab 5. Sem. M.Sc.: ab 1. Sem.	Credits: 3	Aufwand: 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung Angewandte Spektrometrie	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Methoden der modernen Analytik (mit Vertiefung der spektroskopischen Methoden): Elementanalyse: Atomabsorptionsspektrometrie; Atomemissionanalyse; Röntgenfluoreszenzanalyse; Elementmassenspektroskopie. Molekülanalyse: Infrarot und Ramanspektroskopie; NMR Spektroskopie; Molekülmassenspektrometrie, Festkörper und Oberflächenanalyse: Mikrostrahlanalyse mit Photonen, Elektronen und Ionen; Strukturanalyse				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die physikalischen Grundlagen der modernen Analytik und sind in der Lage für unterschiedliche analytische Probleme selbständig Strategien zu deren Lösung zu entwickeln. Sie kennen die wichtigsten Methoden, deren Leistungsgrenzen und Einsatzbereiche. Sie haben dabei die Fähigkeit erworben, in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen die geeignetsten Methoden auszuwählen und deren Ergebnisse kritisch zu bewerten.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik und Medizinphysik				
9	Modulbeauftragter Priv.-Doz. Dr. J. Franzke		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physikalisch-Chemische Analytik 2a, Angewandte Plasmaphysik (PHY7220a)				
Bachelor- und Master-Studiengang: Physik und Medizinphysik				
Turnus: 2-jährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: ab 5. Sem. M.Sc.: ab 1. Sem.	Credits: 3	Aufwand: 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung Angewandte Plasmaphysik	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Methoden der modernen Analytik (mit Vertiefung der spektroskopischen Methoden): 2.Physik gepulster und kontinuierlicher Plasmen, Plasmadiagnostik, Nieder und Hochdruckplasmen, analytische Plasmen: Glimmentladungen, Bögen, induktiv gekoppelte Plasmen, Dielektrisch Behinderte Entladungen, Lasererzeugte Plasmen; Plasma Emissionsspektrometrie und PlasmaMassenspektrometrie				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die physikalischen Grundlagen der modernen Analytik und sind in der Lage für unterschiedliche analytische Probleme selbständig Strategien zu deren Lösung zu entwickeln. Sie kennen die wichtigsten Methoden, deren Leistungsgrenzen und Einsatzbereiche. Sie haben dabei die Fähigkeit erworben, in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen die geeignetsten Methoden auszuwählen und deren Ergebnisse kritisch zu bewerten.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik und Medizinphysik				
9	Modulbeauftragter Priv.-Doz. Dr. J. Franzke		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physikalisch-Chemische Analytik 3a, Angewandte Laserspektrometrie (PHY7221a)				
Bachelor- und Master-Studiengang: Physik und Medizinphysik				
Turnus: 2-jährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: ab 5. Sem. M.Sc.: ab 1. Sem.	Credits: 3	Aufwand: 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung Angewandte Laserspektrometrie	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Methoden der modernen Analytik (mit Vertiefung der spektroskopischen Methoden): Der Laser als spektroskopisches Instrument; Absorptions, Fluoreszenz und Ionisationsspektrometrie mit Lasern; hochauflösende Spektrometrie mit Lasern; optoakustische und optothermische Methoden; Obeflächenplasmonen-resonanzspektrometrie; Oberflächenverstärkte Ramanspektroskopie; Laserionisationsmassenspektrometrie (RIMS, MALDI, etc.)				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die physikalischen Grundlagen der modernen Analytik und sind in der Lage für unterschiedliche analytische Probleme selbständig Strategien zu deren Lösung zu entwickeln. Sie kennen die wichtigsten Methoden, deren Leistungsgrenzen und Einsatzbereiche. Sie haben dabei die Fähigkeit erworben, in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen die geeignetsten Methoden auszuwählen und deren Ergebnisse kritisch zu bewerten.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik und Medizinphysik				
9	Modulbeauftragter Priv.-Doz. Dr. J. Franzke		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physikalisch-Chemische Analytik 1b, Angewandte Spektrometrie (PHY7219b)				
Bachelor- und Master-Studiengang: Physik und Medizinphysik				
Turnus: 2-jährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: ab 5. Sem. M.Sc.: ab 1. Sem.	Credits: 3 + 2	Aufwand: (90 + 60) h = 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung Angewandte Spektrometrie	V	3	2
	2	Lehrstuhl-Experiment	P	2	
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Methoden der modernen Analytik (mit Vertiefung der spektroskopischen Methoden): Elementanalyse: Atomabsorptionsspektrometrie; Atomemissionanalyse; Röntgenfluoreszenzanalyse; Elementmassenspektroskopie. Molekülanalyse: Infrarot und Ramanspektroskopie; NMR Spektroskopie; Molekülmassenspektrometrie, Festkörper und Oberflächenanalyse: Mikrostrahlanalyse mit Photonen, Elektronen und Ionen; Strukturanalyse Lehrstuhlexperiment: Absorptionsspektrometrie, Emissionsspektrometrie				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die physikalischen Grundlagen der modernen Analytik und sind in der Lage für unterschiedliche analytische Probleme selbständig Strategien zu deren Lösung zu entwickeln. Sie kennen die wichtigsten Methoden, deren Leistungsgrenzen und Einsatzbereiche. Sie haben dabei die Fähigkeit erworben, in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen die geeignetsten Methoden auszuwählen und deren Ergebnisse kritisch zu bewerten.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik und Medizinphysik Von den Modulen „Physikalisch-Chemische Analytik 1b, 2b und 3b“ kann nur eines gewählt werden. Das zugehörige a-Modul kann dann nicht mehr gewählt werden.				
9	Modulbeauftragter Priv.-Doz. Dr. J. Franzke		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Physikalisch-Chemische Analytik 2b, Angewandte Plasmaphysik (PHY7220b)				
Bachelor- und Master-Studiengang: Physik und Medizinphysik				
Turnus: 2-jährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: B.Sc.: ab 5. Sem. M.Sc.: ab 1. Sem.	Credits: 3 + 2	Aufwand: (90 + 60) h = 150 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung Angewandte Plasmaphysik	V	3	2
	2	Lehrstuhl-Experiment	P	2	
2	Sprache der Lehrveranstaltung: Deutsch				
3	Lehrinhalte Methoden der modernen Analytik (mit Vertiefung der spektroskopischen Methoden): 2.Physik gepulster und kontinuierlicher Plasmen, Plasmadiagnostik, Nieder und Hochdruckplasmen, analytische Plasmen: Glimmentladungen, Bögen, induktiv gekoppelte Plasmen, Dielektrisch Behinderte Entladungen, Lasererzeugte Plasmen; Plasma Emissionsspektrometrie und PlasmaMassenspektrometrie Lehrstuhlexperiment: Absorptionsspektrometrie, Emissionsspektrometrie				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die physikalischen Grundlagen der modernen Analytik und sind in der Lage für unterschiedliche analytische Probleme selbständig Strategien zu deren Lösung zu entwickeln. Sie kennen die wichtigsten Methoden, deren Leistungsgrenzen und Einsatzbereiche. Sie haben dabei die Fähigkeit erworben, in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen die geeignetsten Methoden auszuwählen und deren Ergebnisse kritisch zu bewerten.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Prüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik IV				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik und Medizinphysik Von den Modulen „Physikalisch-Chemische Analytik 1b, 2b und 3b“ kann nur eines gewählt werden. Das zugehörige a-Modul kann dann nicht mehr gewählt werden.				
9	Modulbeauftragter Priv.-Doz. Dr. J. Franzke		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Informationstechnologie der Zukunft (PHY7224)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: nach Bedarf	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4./5. Studienjahr	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Gebiet der Spinelektronik ist aus der Idee entstanden, den Spin- und Ladungsfreiheitsgrad von Elektronen gemeinsam in elektronischen Bauelementen zu benutzen. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung bei der Miniaturisierung von magnetischen Strukturen wurden Ende der 1980er Jahre überraschende Effekte gefunden, welche die Wechselwirkung der "statischen magnetischen" und der "dynamischen elektrischen" Eigenschaften von Festkörpern betreffen. Solche „magnetoresistiven“ Effekte sind die Basis der heutigen Datenspeicherung und –verarbeitung. Wir werden im Seminar die wichtigsten Konzepte der Spinelektronik behandeln, und davon ausgehend neue Konzepte für die Datenspeicherung und –verarbeitung diskutieren, die aus den Forschungsfeldern der Spinorbitronik, des Optomagnetismus und der Oxidelektronik entstanden sind.				
4	Kompetenzen Das Seminar stellt eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und elektronischen Funktionalitäten von magnetischen Phänomenen im Bereich der Informationstechnologie. Es werden fundamentale Aspekte wie auch aktuelle Entwicklungen im Bereich der Spinelektronik, Orbitronik und Oxitronic diskutiert. Desweiteren werden die selbständige Recherche und angemessene Präsentationstechnik geschult.				
5	Prüfungen Studienleistung: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Seminarthema (30-45min + Diskussion)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Grundkenntnisse Festkörperphysik, Magnetismus und Quantenmechanik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. M. Cinchetti, Prof. M. Müller		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Tandem-Projekte in der Teilchenphysik (PHY7225)				
Studiengang: Physik (B.Sc.)				
Turnus: jährlich	Dauer: 2 Semester	Studienabschnitt: 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Projektarbeit	AG	3	2
	2	Sommerschule / Blockkurs	VL	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Englisch				
3	Lehrinhalte Die Teilnehmenden arbeiten im ersten Teil der Veranstaltung an einem wissenschaftlichen Projekt. Die Bearbeitung geschieht dabei in Gruppen von zwei bis drei Studierenden aus anderen Hochschulen, z.B. Bologna oder Clermont. Die Themen stammen dabei aus der Teilchenphysik. Im zweiten Teil der Veranstaltung besuchen die Teilnehmer eine dafür einwöchige internationale Sommerschule (BCD-Sommerschule in Cargese/Korsika). Dort bekommen die Teilnehmenden einen Überblick zu grundlegenden und aktuellen Themen der Teilchenphysik und stellen ihre Projektarbeiten in einem Vortrag vor.				
4	Kompetenzen Die Studierenden sollen in dem Themengebiet der Veranstaltung vertiefende Aspekte der Teilchenphysik erlernen. Im Vordergrund steht dabei die universitäts- und länderübergreifende Arbeit in kleinen Gruppen. Geschult werden sollen auch Präsentations- und Diskussionstechniken.				
5	Prüfungen Studienleistung: Projektvortrag. Modulprüfung: Benoteter Abschlussbericht				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Abschlussbericht ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse aus der Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Studiengang Master Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. Kevin Kröninger				

Module: Advanced Solid State Physics II: Magnetism and Superconductivity (PHY7235)				
Degree Program: Physik (B.Sc.)				
Frequency: Winter term	Duration: 1 semester	Semester: 5th/6th sem.	Credits 6	Work load 180 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture	L	6	4
2	Language: English				
3	Content The lecture covers the most important aspects on collective phenomena in modern condensed matter physics, particularly on magnetism and superconductivity, based on the basic knowledge of solid state physics and quantum mechanism. Besides the fundamental properties of magnetically ordered materials and superconductors, the lectures will also cover selected topics of the contemporary research. Magnetism: magnetic moments, magnetization, dia- and para-magnetism of localized ions and of conduction electrons, exchange interaction, spin-orbit coupling, Zeeman interaction, ferromagnetism, antiferromagnetism, magnetic anisotropy, magnetization dynamics, magnetic excitations, quantum spin dynamics, applications. Superconductivity: vanishing of electrical resistance, Meissner effect, flux quantization, Type-I superconductors, Type-II superconductors, Ginzburg-Landau theory, Bardeen-Cooper-Schrieffer theory, electromagnetic response, superconducting materials, applications. Literature: Kittel, C. Introduction to Solid State Physics (Wiley) Ashcroft, Neil W.; Mermin, N. David. Solid State Physics (Brooks/Cole) Gross, R.; Marx, A. Festkörperphysik (3., akt. Aufl.). (De Gruyter.) Reinhold Kleiner and Werner Buckel, Superconductivity: An Introduction (Wiley-VCH) Michael Tinkham, Introduction to Superconductivity (Dover) James. F. Annett, Superconductivity, Superfluids and Condensates (Oxford) Terry R Orlando, Kevin A. Delin, Foundations of Applied Superconductivity (Addison-Wesley)				
4	Learning outcome The lecture provides a comprehensive view of collective phenomena in condensed matter physics, particularly on magnetism and superconductivity. The aim is to develop an understanding in the fundamental physics and in the working principles behind the applications, for example in the fields of spin-electronics, superconducting devices, or more generally of information and communication technology.				
5	Examination Module exam: oral exam (30 min)				
6	Participation requirements				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Dean of the Department of Physics		Faculty in charge Department of Physics		

Module: Quantum simulation with cold atoms and molecules (PHY7236)				
Degree Program: Physik (B.Sc.)				
Frequency: Winter term	Duration: 1 semester	Semester: 1st sem.	Credits 3	Work load 90 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Seminar	S	3	2
2	Language: English				
3	Content Modern topics of quantum simulation with cold atoms and molecules, such as degenerate quantum gases, laser cooling, Feshbach resonances, degenerate molecules, optical lattices, quantum gas microscopes, Hubbard models, and artificial gauge fields.				
4	Learning outcome Students learn modern topics in experiments with ultracold atoms and molecules. In the seminar talks, students learn to present complex scientific issues and methodologies in an understandable way. Through discussions, they learn basic principles of scientific exchange and discourse.				
5	Examination Module examination: Graded own presentation (30 min + 15 min discussion)				
6	Participation requirements				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Prof. E. Narevicius Prof. C. Weitenberg		Faculty in charge Department of Physics		

Modul: Seminar: Theorie stark korrelierter Vielteilchensysteme und Quanteninformation (PHY734)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch und Englisch				
3	Lehrinhalte Das Seminar besteht aus Teilgebieten der aktuellen theoretischen Forschung zu stark korrelierten Festkörpersystemen: Aktuelle Probleme in der Theorie stark korrelierter Festkörpersysteme und der Quanteninformation; Schwerpunkte sind Konzepte und Methoden, wobei analytische und numerische Aspekte gleichermaßen beleuchtet werden; Entwicklung von Methoden und deren kritische Beurteilung; Definition theoretischer Fragestellungen Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben und wenn nötig bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden werden an die aktuelle Forschung in der Festkörpertheorie herangeführt. Sie lernen Methoden und Konzepte sowie deren Anwendung auf noch ungelöste Probleme kennen. Sie werden durch die gemeinsamen Diskussionen im wissenschaftlichen Diskurs geübt und lernen Aufgaben im Team anzugehen. Durch die Vorbereitung und das Halten des eigenen Vortrags erwerben sie Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Methodik, speziell in Recherche- und Präsentationstechniken. Ein besonderes Ziel ist es, den Blick für das Wesentliche eines physikalischen Problems zu schulen.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (45-60 min) zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und -leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus der Festkörperphysik (Experiment und Theorie)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Physik jenseits des Standardmodells (BSM-Seminar, PHY736)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Englisch (Deutsch mit Genehmigung)				
3	Lehrinhalte Aktuelle Probleme der Teilchentheorie zur Physik jenseits des Standardmodells: Flavorproblem und -observablen, seltene Zerfaelle, effektive Thoeorien, Dunkle Materie, Higgssektoren, Quantengravitation und asymptotische Sicherheit, Modellbildung und Phaenomenologie, aktuelle Resultate.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche und Präsentationstechniken. In der anschliessenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken in englischer Sprache erworben.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem aktuellen Forschungsthema.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Einführung in die Elementarteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Theoretische Probleme der kondensierten Materie (PHY737)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: jedes Semester	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-2. Sem. M.Sc.	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch und Englisch				
3	Lehrinhalte Das Seminar besteht aus Teilgebieten der aktuellen theoretischen Forschung in der Theorie kondensierter Materie: Aktuelle Probleme in der Theorie von Festkörpersystemen, biologischer und weicher Materie und der Quanteninformation; Schwerpunkte sind Konzepte und Methoden, wobei analytische und numerische Aspekte gleichermaßen beleuchtet werden; Entwicklung von Methoden zur Beschreibung von Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtszuständen und deren kritische Beurteilung; Definition theoretischer Fragestellungen Literatur: wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben und wenn nötig bereitgestellt				
4	Kompetenzen Die Studierenden werden an die aktuelle Forschung in der Theorie kondensierter Materie herangeführt. Sie lernen Methoden und Konzepte sowie deren Anwendung auf noch ungelöste Probleme kennen. Sie werden durch die gemeinsamen Diskussionen im wissenschaftlichen Diskurs geübt und lernen Aufgaben im Team anzugehen. Durch die Vorbereitung und das Halten des eigenen Vortrags erwerben sie Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Methodik, speziell in Recherche- und Präsentationstechniken. Ein besonderes Ziel ist es, den Blick für das Wesentliche eines physikalischen Problems zu schulen.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag (45-60 min) zu einem Thema aus der aktuellen Forschung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Vorkenntnisse aus der Festkörperphysik (Experiment und Theorie) und der Statistischen Mechanik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Theory of Soft and Biological Matter (PHY7313)				
Degree Program: Physik (B.Sc.), Physics (M.Sc.)				
Frequency: in WS	Duration: 1 semester	Semester: 1st sem.	Credits 5	Work load 150 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture with exercise	L+T	5	2 + 1
2	Language: English				
3	Content Important soft and biological matter systems: colloidal systems, liquid crystals, polymers, fluid interfaces, fluid membranes; Cell membrane, DNA, cytoskeleton, proteins, motor proteins, protein filaments. • Statistical physics: virial expansion, phase transitions (MeanField, scale laws). • Molecular interactions: Debye-Hückel theory, van der Waals interaction, DLVO theory, hydrophobic effect, hydrogen bonds, steric interactions. • Polymers: chain models, self-avoidance, polymer solutions, adsorption, rubber elasticity. • Fluid interfaces: surface tension, differential geometry, surfaces of constant curvature, capillary waves, wetting, foams. • Membranes: bending energy, shapes of liquid vesicles, thermal fluctuations.				
4	Learning outcome Students will be able to apply the modern methods of theoretical physics (from the areas of statistical physics, mechanics, electrodynamics) to systems of soft matter and biological physics in an interdisciplinary manner. In the exercises, students learn to independently grasp problems from the interdisciplinary subject area of soft matter as a theoretical-physical problem, to solve them and to discuss them in the group.				
5	Examination Course work: Exercises. Module examination: Graded written exam (120min) or oral exam (30 min), will be announced at the beginning of the course.				
6	Participation requirements				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Prof. J. Kierfeld		Faculty in charge Department of Physics		

Modul: Astroteilchenphysik (PHY823)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: regelmäßig im SS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc) 2. Sem (M.Sc)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit integrierter Übung	V+Ü	6	4
2	Lehrveranstaltungs-sprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte <u>Kosmische Strahlung:</u> Kerne, Elektronen, Photonen, Neutrinos, Nachweis energiereicher Teilchen, Beschleunigungsmechanismen, Propagation der Teilchen durch das interstellare Medium, Interaktion und Zerfall, galaktische Magnetfelder, kosmische Hintergrundstrahlung, Infrarothintergrund, kosmologische Aspekte, Stern- und Galaxienentstehung. <u>Astrophysikalische Quellen:</u> Überreste von Sternexplosionen, kompakte Objekte (schwarze Löcher, Neutronensterne), Stoßwellen in der abgestoßenen Sternenhülle, Molekülwolken, Starburst – Galaxien, Galaxienhaufen, Supernovae, Binärsysteme, Mikroquasare, Kerne aktiver Galaxien, Gamma Ray Bursts. <u>Teilchenphysikalische Quellen:</u> Spallation, Dunkle Materie (WIMPs), Topologische Defekte, Monopole, Protonzerfall, Axionen, <u>Teilchenphysikalische Messungen:</u> inklusive Wirkungsquerschnitte, Energieverlust im Medium, Neutrinooszillationen, Physik bei höchsten Energien. <u>Nachweisinstrumente:</u> optische Teleskope, Radioteleskope, Luftschaueranlagen, Gamma-Ray-Teleskope, Neutrino-Teleskope, Satellitenexperimente, Niederenergie-detektoren. <u>Praktische Konsequenzen:</u> biologische Auswirkungen, technologische Konsequenzen Literatur: Astroteilchenphysik. Das Universum im Licht der kosmischen Strahlung, Claus Grupen. Springer, Heidelberg 2000. Teilchenastrophysik. Hans Volker Klapdor-Kleingrothaus, Kai Zuber, Stuttgart 1997. Astroparticle Physics: Theory and Phenomenology, Günter Sigl, Atlantis Press 2016. Cosmic Rays and Particle Physics, Thomas Gaisser, Cambridge 2016. Cosmic Ray Astrophysics, Reinhard Schlickeiser, Berlin Heidelberg New York 2002, An Introduction to Modern Astrophysics, Bradley W. Carroll, Dale A. Ostlie, Reading, Menlo Park New York				
4	Kompetenzen Die Studierenden erlernen Inhalte aus dem Grenzbereich zwischen Astronomie, Kern- und Teilchenphysik und Kosmologie und deren interdisziplinäre Diskussion. Erlernt werden auch auf dem Zusammenspiel von Theorie und Experiment beruhende Argumentationstechniken. Anhand von phänomenologischen Rechnungen wird erlernt, die Tragweite von Experimenten zu planen und zu prüfen.				
5	Prüfungen Studienleistungen: erfolgreiche Teilnahme an den Übungen. Modulprüfung: Benotete schriftliche oder mündliche Prüfung, wird zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse aus Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik				

8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik oder im Masterstudiengang Physik	
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode	Zuständige Fakultät Physik

Modul: Astroteilchenphysik II (PHY823.2)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: regelmäßig im WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5. Sem. (B.Sc) 1. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung mit integrierter Übung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte: <u>Frühes Universum:</u> Urknall, Inflation und thermische Entwicklung des Kosmos. Freeze-Out und schwere Relikte. Kosmischer Neutrinohergrund. <u>Propagation energiereicher Teilchen:</u> Absorptionsprozesse, extragalaktische Strahlungsfelder, Plasmen im interstellaren und intergalaktischen Raum, Teilchenwechselwirkungen. <u>Dunkle Materie:</u> Modelle jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik, Indikatoren, Halobildung und –Entwicklung, Leistungsspektrum der Dichtefluktuationen, direkte und indirekte Suche nach der dunklen Materie mit boden- und weltraumbasierten Experimenten. <u>AGN – Modelle:</u> Leptonische und hadronische Modelle für Blazare. Inverse Comptonstreuung, interne und externe Strahlungsfelder, photohadronische und pp-Modelle, Implikationen für Gamma- und Neutrinoeobachtungen. <u>Gravitationswellen:</u> experimentelle Nachweismethoden und Multi-Messenger-Astronomie. Literatur: Cosmic Ray Astrophysics, Reinhard Schlickeiser, Berlin Heidelberg New York 2002. Gravitation and Cosmology: Principles And Applications Of The General Theory Of Relativity, Steven Weinberg, Wiley India, 2017. Gravity, Black Holes, and the Very Early Universe. An Introduction to General Relativity and Cosmology, Tai L. Chow, Springer 2007.				
4	Kompetenzen Die Studierenden erlernen Inhalte aus aktuellsten Forschungsfragen der Astroteilchenphysik und Kosmologie mit besonderem Fokus auf die Vorgänge im Zusammenhang mit starker Gravitation und das frühe Universum. Erlernt werden auch fortgeschrittene phänomenologische Rechentechniken und die wissenschaftlich-kritische Lektüre und Einordnung aktueller experimentelle und theoretischer Publikationen.				
5	Prüfungen Benotete Modulprüfung				
6	Prüfungsformen und –leistungen Studienleistung: Aktive Teilnahme an den Übungen Modulprüfung: schriftlich (Klausur 120 min) oder mündlich (30 min), wird zu Beginn bekanntgegeben				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelor- oder Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. W. Rhode		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Grundlagen der Detektorphysik (PHY825)				
Studiengang: Physik (B.Sc.; M.Sc.)				
Turnus: jährlich	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 6. Sem. (B.Sc.), 2. Sem. (M.Sc.)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Englisch				
3	Lehrinhalte Wechselwirkungen von geladenen, neutralen Teilchen und von Photonen mit Materie, Überblick über Gesamtdetektorsysteme, gasgefüllte Ionisationsdetektoren (Typen und Betriebsarten, Ionisation und Ladungsverlust, Bewegung im elektr. und magn. Feld, Proportionalkammern, Driftkammern), Halbleiterdetektoren (Grundlagen, pn-Übergang und Grenzflächen, Bautypen, Pixeldetektoren), Szintillationsdetektoren (Funktion, Anwendungen), Kalorimetrie (elektromagnetisch und hadronisch, homogen und sampling), Teilchenidentifikation, Triggersysteme, Datennahmesysteme (DAQ)				
4	Kompetenzen Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die verschiedenen Detektorbauarten, die in der Teilchenphysik, der Medizinphysik und in anderen Bereichen zum Einsatz kommen. Sie lernen insbesondere den Zusammenhang zwischen den jeweiligen primären Wechselwirkungen der zu detektierenden Teilchen mit der gesamten durchquerten Materie und den von der jeweiligen Detektorbauart ausgenutzten Anteilen. Dies führt zu einem Verständnis der jeweiligen Vor- und Nachteile der Bautypen für verschiedene Anwendungszwecke. Weiterhin werden die Studierenden in die Lage versetzt, mit Originalliteratur besser arbeiten zu können.				
5	Prüfungen Studienleistungen: keine. Modulprüfung: Benotete schriftliche oder mündliche Prüfung.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: schriftlich oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse aus der Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul				
9	Modulbeauftragte/r Dekan/in der Fakultät Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Seminar: Falsche Entdeckungen in der Teilchenphysik (PHY827)				
Studiengang: Physik (B.Sc. und M.Sc.)				
Turnus: fakultativ	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 4. Studienjahr (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Selbststudium und eigener Vortrag	S	3	2
2	Lehrveranstaltungs-sprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Im Seminar werden Entdeckungen der Teilchenphysik behandelt, welche sich im Nachhinein als fehlerhaft herausgestellt haben. <u>Literatur:</u> wird im Seminar zu den jeweiligen Themen bekannt gegeben oder bereitgestellt.				
4	Kompetenzen Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen auf dem Gebiet des Seminars durch Selbststudium zu Ihrem eigenen Vortrag. Dieser Vortrag schult auch Kompetenzen im Bereich wissenschaftlicher Recherche- und Präsentationstechniken. In der anschließenden Diskussion werden wissenschaftliche Diskussionstechniken erworben. Zusätzlich zu diesen klassischen Kompetenzen hilft das Seminar den Studierenden, sich über die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis bewusst zu werden und über mögliche Probleme zu reflektieren.				
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag.				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen: Kenntnisse aus Einführungen in die Kern- und Elementarteilchenphysik sowie Astroteilchenphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Dekan		Zuständige Fakultät Physik		

Modul: Licht-Materie-Wechselwirkung (PHY8212)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: jährlich (WiSe)	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. (B.Sc). und 1.-3. Sem. (M.Sc.)	Credits 6	Aufwand 180 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	4	3
	2	Übung	Ü	2	1
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Die Vorlesung vermittelt die Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung in Festkörpern und Molekülen mit Bezügen zu aktueller Forschung und modernen Anwendungen. Nach der Einführung linearer optischer Eigenschaften von Metallen, Halbleitern und Dielektrika werden Konzepte der nichtlinearen Optik in perturbativer und nicht-perturbativer Näherung erläutert. In der Übung werden diese Aspekte durch praxisrelevante Übungsaufgaben mit Bezug zu modernen Experimenten vertieft. Lineare Optik: Lineare optische Eigenschaften von Atomen, Molekülen und Festkörpern; atomare Linienspektren; Bandenspektren von Molekülen; optische Eigenschaften von Festkörpern inklusive Halbleiterstrukturen; Phononen, Plasmonen, Polaronen, Exzitonen, optische Blochgleichungen; Dichtematrixformalismus; starke und ultrastarke Licht-Materie-Kopplung Nichtlineare Optik: Nichtlineare Suszeptibilität; nichtlineare Wellengleichung; Phasenanpassung; Nichtlinearitäten 3. und höherer Ordnung; Nichtlineare Optik des Zweiniveausystems Grundzüge der Quantenoptik: Quantisierung des elektromagnetischen Feldes; Quantenmechanische Zustände des Lichtfeldes; Kohärenz				
4	Kompetenzen Die Vorlesung eröffnet einen umfassenden Blick auf die optischen Eigenschaften kondensierter Materie in einem breiten Spektralbereich von Mikrowellenstrahlung bis ins Ultraviolette. Ziel ist es, ein Verständnis insbesondere für kollektive Elektronendynamik, Anregungen von Quasiteilchen, nichtlineare optische Prozesse und Grundzüge der Quantenoptik zu entwickeln.				
5	Prüfungen: Modulprüfung: Benotete schriftliche oder mündliche Prüfung je nach Teilnehmerzahl				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: Klausur oder mündlich ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in Quanten- und Festkörperphysik				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul vorrangig im Masterstudiengang Physik, aber auch im Bachelorstudiengang Physik				

9	Modulbeauftragte/r Prof. Dr. C. Lange	Zuständige Fakultät Physik
---	---	--------------------------------------

Modul: Seminar: Licht-Materie-Wechselwirkung (PHY8213)				
Studiengang: Physik (B.Sc, M.Sc)				
Turnus: jährlich (WiSe)	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 5.-6. Sem. (B.Sc). und 1.-3. Sem. (M.Sc.)	Credits 3	Aufwand 60 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Seminar zur Vorlesung	S	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch				
3	Lehrinhalte Das Seminar basiert inhaltlich auf der parallel stattfindenden Vorlesung, deren Besuch ausdrücklich empfohlen wird. Wie auch die Vorlesung ist das Seminar auf die Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung in Festkörpern und Molekülen ausgerichtet und vermittelt Bezüge zu aktueller Forschung und modernen Anwendungen. Die Inhalte umfassen lineare optische Eigenschaften von Metallen, Halbleitern und Dielektrika sowie Konzepte der nichtlinearen Optik in perturbativer und nicht-perturbativer Näherung. Die Studierenden erarbeiten und halten einen eigenständigen Seminarvortrag zu einem Thema ihrer Wahl mit Bezug zu den Themen aus der Vorlesung. Je nach Thema stehen Grundlagen oder Anwendungen im Vordergrund. Mögliche Seminarthemen umfassen: Kramers-Kronig-Relationen, Doppelbrechung, Gaußoptik, Plasmonik, Lichtleitung in Glasfasern, Nichtlineare Faseroptik, Polymeroptik, Laser, Generation von Femtosekunden-Impulsen, Charakterisierung ultrakurzer Impulse, Vierwellen-Mischen, Erzeugung hoher Harmonischer, Frequenzkämme, Metamaterialien und Subwellenlängen-Resonatoren, verschränkte Photonen, Nahfeld-Mikroskopie, Einzelphotonenquellen, EPR-Paradoxon, FTIR-Spektroskopie, CCD-Spektrometer, Raman-Spektroskopie, organische LEDs, Quantenkaskadenlaser, Solarzellen, Dispersion und Kompression ultrakurzer Laserimpulse, und andere.				
4	Kompetenzen Das Seminar eröffnet den Teilnehmern die Möglichkeit, einen Themenbereich moderner Optik zu vertiefen und aufbereitet in der Gruppe der Hörerschaft vorzustellen.				
5	Prüfungen: Modulprüfung: Benoteter Seminarvortrag				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich, eigener Vortrag ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse in Quanten- und Festkörperphysik; empfohlen: Vorlesung „Licht-Materie-Wechselwirkung“				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul vorrangig im Masterstudiengang Physik, aber auch im Bachelorstudiengang Physik				

9	Modulbeauftragte/r Prof. Dr. C. Lange	Zuständige Fakultät Physik
---	---	--------------------------------------

Modul: Kosmologie (PHY832)				
Studiengang: M.Sc. (und B.Sc.) Physik				
Turnus: ein- bis zweijährig	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 1.-3. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Kosmologie	V	3	2
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch oder Englisch				
3	Lehrinhalte Strukturen im und Geschichtsabriss des Universums, Gravitation und Robertson-Walker-Metrik, Weltmodelle, Thermische Entwicklung des Universums, Primordiale Nukleosynthese, Rekombination, Strukturentstehung, Baryogenese, Dunkle Materie, Phasenübergänge im frühen Universum, Inflation, CMB und Präzisionskosmologie Literatur: L. Bergström, A Goobar: Cosmology and Particle Astrophysics; D. Bailin, A. Love: Cosmology in gauge field theory and string theory; E.W. Kolb, M. Turner: The Early Universe; S. Weinberg: Cosmology				
4	Kompetenzen Die Studierenden werden in die Physik der Entstehung und des frühen Universums eingeführt. Sie lernen dabei ein physikalisches Gebiet kennen, das sich sowohl hinsichtlich der Beobachtungen wie auch der Theoriebildung noch in der Entwicklung befindet; sie erkennen, wie sich Hypothesen in der Interaktion mit experimentellen Beobachtungen entwickeln und modifizieren. Sie ersehen, wie die Physik auf kosmischen Skalen und die Physik auf subnuklearen Skalen sich gegenseitig bedingen und in der Theoriebildung beeinflussen.				
5	Prüfungen Modulprüfung: Benotete mündliche Modulprüfung (30min) oder Klausur (120 min)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: mündlich oder Klausur ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Empfohlen: Kenntnisse aus Thermodynamik und Statistik, Einführung in die Theoretische Elementarteilchenphysik, Allgemeine Relativitätstheorie				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Masterstudiengang Physik.				
9	Modulbeauftragter Dekan/in Physik		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Theory of Soft and Biological Matter II (PHY838)				
Degree Program: Physik (B.Sc.)				
Frequency: As needed	Duration: 1 semester	Semester: 2nd sem.	Credits 5	Work load 150 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture and exercise	L+T	5	2 + 1
2	Language: English				
3	Course content Advanced topics in soft and biological matter: in particular, theoretical models for membranes, cytoskeleton, proteins, motor proteins, protein filaments. Membranes: bending energy, liquid vesicle shapes, thermal fluctuations. Stochastic dynamics: Brownian motion, diffusion problems, random walk, Markov processes, Langevin equation and Fokker-Planck equation. Physical and chemical kinetics: thermally activated processes, chemical equilibrium, chemical kinetics, Michaelis-Menten. Biological physics: molecular motors, filaments, ATP-driven processes. Nonlinear dynamics: nonlinear mathematical models biological processes, reaction-diffusion processes, pattern formation, Turing instabilities.				
4	Learning outcome Students will be able to apply the modern methods of theoretical physics (from the areas of statistical physics, stochastic dynamics, nonlinear dynamics) to systems of soft matter and biological physics in an interdisciplinary manner. In exercises, students learn to independently grasp problems from the interdisciplinary subject area of soft matter as a theoretical-physical problem, to solve them and to discuss them in the group.				
5	Examination Course work: Exercises. Module examination: Graded written exam (120min) or oral exam (30 min), will be announced at the beginning of the course.				
6	Participation requirements Recommended: Theory of soft and biological matter 1. part				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Prof. J. Kierfeld		Department in charge Department of Physics		

Module: Advanced Methods in Theoretical High-Energy Physics (PHY839)				
Degree Program: Physics (M.Sc.)				
Frequency: By the semester	Duration: Block course	Semester: 5th/6th sem.	Credits 2/3	Work load 60/90 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture	L	2/3	14h/ 22h Block
	2	Optional: Exercise session	T	1	4h/ 6h Block
2	Language: English				
3	Course content The block course is held by an external lecturer from a subfield of theoretical high-energy physics with expertise in, e.g., quantum field theory, physics beyond the standard model, or theoretical Astro-particle physics and cosmology. The concrete topics covered vary. The students are introduced to theoretical concepts and frameworks relevant for state-of-the-art research in high-energy physics closely related to the current research and master-thesis projects at the HET groups of the TUDo. These include the topics of Non-abelian Gauge Theories, Renormalisation, Effective Field Theories Within and Beyond the Standard Model, Conformal Field Theories, Supersymmetry, Models of Asymptotic Safety, Early Universe and Baryogenesis.				
4	Learning outcome Students obtain a first in-depth contact with a concrete topic of high-energy physics with emphasis on theoretical methods and applications related to state-of-the-art research in theoretical high-energy physics preparing them for a master-thesis project at the HET groups of the TUDo.				
5	Examination Module examination: written or oral depending on number of participants				
6	Participation requirements Physics IV and Advanced Quantum Mechanics (Theoretical Particle Physics or Quantum Field Theory useful.)				
7	Module type Elective module				
8	Responsible Prof.G. Hiller Prof. H. Päs Prof. E. Stamou		Department in charge Department of Physics		

Module: Thin film growth: From low-dimensional physics to industrial applications				
Degree program: Physik (B. Sc.)				
Frequency One-time (Ulrich Bonse Visiting Chair, WS 24/25)	Duration 1 Semester	Semester 5th semester	Credits 6	Work load 180 h

1	Module structure				
	No.	Element / course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture + Exercise	L+T	6	4
2	Language: English				
3	Content The lecture covers the fundamental physical mechanisms of crystalline growth of thin films on surfaces, the characterization of relevant properties both on-surface and at the device level, and the role of thin film engineering in applied electronics, magnetism and optics - ranging from solar cells, LEDs to transistors and MRAMs. The essential role of the interfaces between dissimilar materials will be outlined, connecting the concepts of (hetero)epitaxial growth with the measured physical properties. The choice of growth parameters to design low-dimensional materials with novel properties will be also highlighted, such as 2D electron gases, 2D magnetic materials, and topological semimetals. Crystalline growth on surfaces- concepts: surface kinetics and thermodynamics, ultra-high vacuum, vapor phase deposition, physisorption and chemisorption, surface energy, sticking coefficient, nucleation, layer growth modes (layer-by layer, 3D growth) Growth and surface characterization methods: molecular-beam epitaxy, pulsed laser deposition, magnetron sputtering, chemical vapor deposition, atomic layer deposition, reflection high energy electron diffraction (RHEED), low energy electron diffraction (LEED), scanning probe microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, X-ray absorption Device characterization: I-V characteristics, electrical transport, electroluminescence, photoluminescence, thermal transport, transconductance, magnetoresistance, on-chip magnetic resonance, spin-transfer torque Applications of thin films: Light-emitting diodes (LEDs and OLEDs), Solar cells (single and tandem), Field-effect transistors (FETs), Hard-disk drive (HDD) sensors, Magnetic Random Access Memories (MRAMs) Literature: - Bedoya-Pinto, K. Chang, M. Samant and S.S.P. Parkin, <i>Material Preparation and Thin Film Growth</i>, in Handbook of Magnetism and Magnetic Materials, Seiten 1153-1202, Springer International Publishing (2021) - H.J Kreuzer, <i>Theoretical Approaches to Surface Kinetics: A Perspective</i>. Z. Phys. Chem.223, 105-129 (2009) - Tsao, J.Y.: <i>Materials Fundamentals of Molecular Beam Epitaxy</i>, pp. 13-41. Academic Press, San Diego (1993) - E. Acosta, <i>Thin film properties and Applications</i>, (2021) DOI: 10.5772/intechopen.95527				

4	Learning outcome The lecture provides an overview of the mechanisms of crystalline growth on surfaces and the connection of growth parameters with the resulting physical properties of thin films and devices. Additionally, practical roadmaps to gear fundamental physics towards industrial applications will be exemplified with success stories from the thin film science community.	
5	Examination Module exam: written exam (120 min)	
6	Forms of examination and performance ☒ Module examination: written ☐ Partial performance	
7	Prerequisites Classical Mechanics, Optics, Electrodynamics, Thermodynamics	
8	Module type Elective module	
9	Responsible Dr. Amilcar Bedoya-Pinto	Department Department of Physics

Modul: Seminar: Präsentationstechniken (PHY847)				
Studiengang: Physik (M.Sc., B.Sc.), Medizinphysik (M.Sc., B.Sc.)				
Turnus: SS oder WS	Dauer: 1 Semester	Studienabschnitt: 3. Studienjahr (B.Sc), 1./2. Sem (M.Sc)	Credits 3	Aufwand 90 h

1	Modulstruktur: 2 SWS Seminar, Selbststudium und eigener Vortrag.	
2	Lehrveranstaltungssprache: Deutsch	
3	Lehrinhalte Moderne Präsentationstechniken, Diskussion zur Präsentation, Feedback durch Lehrende und Seminarteilnehmer mit wechselnden physikalischen Inhalten.	
4	Kompetenzen Die Studierenden werden mit den Grundlagen von Präsentationstechniken vertraut gemacht, beispielweise zu Vorträgen oder mit der Erstellung und Vorstellung von Postern. Hierzu werden sowohl Vorträge zur Didaktik der Präsentation gehalten, weiterhin erstellen die Studierenden einen Vortrag/Poster selber, der dann mit den Betreuern iterativ optimiert wird. Die Studierenden erwerben durch Selbststudium zu ihrem Vortrag/Poster ein vertieftes Wissen zu einem physikalischen Thema und zur Recherche. Sie haben gezeigt, dass sie in der Lage sind, sich in ein komplexes Gebiet selbständig einzuarbeiten und die wesentlichen Inhalte verständlich zu präsentieren. Dabei verfügen Sie über vertiefte Kenntnisse moderner Präsentationstechniken und können diese einsetzen.	
5	Prüfungen Studienleistungen: Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Anschluss an die Vorträge. Modulprüfung: Benoteter eigener Vortrag zu einem Seminarthema	
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung: eigener Vortrag	☐ Teilleistung
7	Teilnahmevoraussetzungen Kenntnisse Physik I – IV	
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlfach	
9	Modulbeauftragte/r Prof. J. Albrecht	Zuständige Fakultät Physik

Modul INF-BSc-102: Datenstrukturen, Algorithmen und Programmierung 1 (DAP 1)				
B.Sc.-Studiengang: Physik				
Turnus Jedes Semester	Dauer: Blockkurs	Studienabschnitt: 5./6. Semester	Credits: 2/3	Aufwand: 60/90 h

1	Modulstruktur				
	Nr.	Element / Lehrveranstaltung	Typ	Credits	SWS
	1	Vorlesung	V	2/3	14 h/22 h Block
	2	Optional: Übung	Ü	1	4 h/ 22 h Block
2	Lehrveranstaltungssprache: Englisch				
3	Lehrinhalte The block course is held by an external lecturer from a subfield of theoretical high-energy physics with expertise in, e.g., quantum field theory, physics beyond the standard model, or theoretical astro-particle physics and cosmology. The concrete topics covered vary. The students are introduced to theoretical concepts and frameworks relevant for state-of-the-art research in high-energy physics closely related to the current research and master-thesis projects at the HET groups of the TUDo. These include the topics of Non-abelian Gauge Theories, Renormalisation, Effective Field Theories Within and Beyond the Standard Model, Conformal Field Theories, Supersymmetry, Models of Asymptotic Safety, Early Universe and Baryoge				
4	Kompetenzen Students obtain a first in-depth contact with a concrete topic of high-energy physics with emphasis on theoretical methods and applications related to state-of-the-art research in theoretical high-energy physics preparing them for a master-thesis project at the HET groups of the TUDo.				
5	Prüfungen Module exam: examination (written or oral depending on numbers of participants)				
6	Prüfungsformen und –leistungen ☒ Modulprüfung ☐ Teilleistung				
7	Teilnahmevoraussetzungen Physik IV und Höhere Quantenmechanik (Theoretische Teilchenphysik oder Quantum Field Theory hilfreich.)				
8	Modultyp und Verwendbarkeit des Moduls Wahlmodul im Bachelorstudiengang Physik				
9	Modulbeauftragte/r Prof. Hiller, Prof. Päs, Prof. Stamou		Zuständige Fakultät Physik		

Module: Introduction to the clinical application of magnetic resonance imaging (PHY8214)				
Degree Program: Physics (B.Sc, M.Sc), Medical Physics (B.Sc., M. Sc.)				
Frequency: Once per year	Duration: 1 semester	Semester: 5th/6th sem. (B.Sc) 1st/2nd sem. (M.Sc)	Credits 6	Work load 180 h

1	Module structure				
	No.	Element / Course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Lecture (1h)	V	6	4
	2	Exercise Session (1h)	Ü		
	3	Seminar (1h)	S		
4	Clinical Training (1h)	P			
2	Language: English				
3	Content Magnetic resonance imaging (MRI) is a non-ionizing imaging technique. MRI enables multidimensional (2D, 3D, 4D,...) and multicontrast (T ₁ -, T ₂ , T ₂ [*] , diffusion, perfusion, susceptibility,...) in-vivo (human or animals) or ex-vivo (forensic, various substances, cell culture) imaging using either exogenous contrast agents or endogenous substances (blood, tissue components). The well-functioning combination of different hardware and software components based on physical and mathematical principles allows the creation of an MRI image that can be used for both scientific and diagnostic purposes. The MRI images can be evaluated either qualitatively or quantitatively. A quantitative evaluation enables both an objective assessment of the MRI images independent of the user's professional experience and the use of appropriate MRI methods in the context of long-term examinations and drug treatments. The focus of this four-part course is on 1) understanding the formation of different image contrasts from a physical point of view, 2) analyzing quantitative MRI images using different programming languages, 3) preparing a scientific presentation on an MRI-related topic based on current literature, and 4) practical experience with the MRI techniques and contrasts presented in the course. Literature: • Mona Salehi Ravesh; Lecture notes, TU Dortmund University, 2024. • Bernstein M. et al; "Handbook of MRI pulse sequences", Academic Press • Haacke M. et. Al.; "Magnetic Resonance Imaging: Physical Principle and Sequence Design", Wiley • Schlegel W. et. Al.; "Medical Physics", Springer • www.pubmed.org • https://mriquestions.com/index.html				
4	Learning outcome The lecture covers the basics of magnetic resonance imaging and MRI weighting (T ₁ , T ₂ , T ₂ [*] , perfusion, diffusion weighting), which are necessary for understanding quantitative MRI techniques. As part of exercises, students will implement mathematical-physical methods in a programming language of their choice, which will be used for the quantitative analysis of the MRI methods covered in the lecture. In a seminar, students will be able to extract the essence of selected research articles and present recent advances in the application of quantitative MRI techniques to human imaging. This gives students practical experience and develops their presentation skills, which are essential for future research activities and international conferences. As part of a subsequent practical course, students will be able to perform in vitro (phantom) examinations on a human MRI machine, giving them hands-on experience of the techniques covered and the image contrasts within this course. In addition, they will gain their first experience in producing a phantom that can be used for a specific question (quantitative relaxometry). This will provide students with practical experience and develop their decision-making skills, which are essential for future research activities.				
5	Examination Course credit: Active participation in the exercises, 20-minute seminar presentation, 2-3-page practical report. Module exam: oral exam (30 min)				

6	Forms of examination and performance ☒ Module examination: oral ☐ Partial performance	
7	Participation requirements Knowledge from the courses "Theoretical Physics II" and "Experimental Physics III" is desirable, but not mandatory for understanding the topics in this course.	
8	Module type Elective module	
9	Responsible PD Dr. Mona Salehi Ravesh	Faculty in charge Physics

Modul: Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild (PHY8215)					
PHY8215	Credits 6 CP	Workload 180 h	Semester 5./6. Semester	Turnus 1x jährlich	Dauer 1 Semester
Lehrveranstaltungen a) Vorlesung <i>Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild</i> b) Übung zu <i>Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild</i> c) Seminar zu <i>Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild</i> d) Praktikum zu <i>Quantitative Magnetresonanztomographie: von Spinanregung zum Bild</i>			Kontaktzeit a) 43 h b) 4 h c) 8 h d) 5 h	Selbststudium 90 h	Gruppengröße Studierende a) 15
Teilnahmevoraussetzungen Formal: keine Inhaltlich: Kenntnisse aus den Lehrveranstaltungen der „Theoretischen Physik II“ und „Experimentalphysik III“ sind erwünscht, aber sie sind nicht zwingend erforderlich für das Verständnis der Themen im Rahmen dieser Lehrveranstaltung. Vorbereitung: keine					
Lernziele (learning outcomes) Nach dem erfolgreichen Abschluss des Moduls • können Studierende im Rahmen von Übungen selbst in einer Programmiersprache ihrer Wahl mathematisch-physikalische Methoden implementieren, die zur quantitativen Analyse der behandelten MRT-Methoden in der Vorlesung eingesetzt werden. Im Rahmen eines Seminars können die Studierenden die Essenz ausgewählter Forschungsartikel extrahieren und die jüngsten Fortschritte bei der Anwendung von quantitativen MRT-Techniken zur humanen Bildgebung vorstellen. Hierdurch erhalten die Studierenden praktische Erfahrungen und entwickeln ihre Präsentationsfähigkeiten, die für zukünftige Forschungsaktivitäten und internationale Konferenzen unerlässlich sind.... • haben Studierende die Möglichkeit an einem humanen MRT-Gerät in-vitro (Phantom)-Untersuchungen durchführen, wodurch sie die behandelten Techniken und die Bildkontraste im Rahmen dieses Kurses praktisch kennenlernen werden. Zusätzlich werden sie die erste Erfahrung bei der Herstellung eines Phantoms sammeln, das für eine bestimmte Fragestellung (quantitative Relaxometrie) benutzt werden kann. Hierdurch erhalten die Studierenden praktische Erfahrungen und entwickeln ihre Entscheidungsfähigkeiten, die für zukünftige Forschungsaktivitäten unerlässlich sind.					
Inhalt Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein nichtionisierendes bildgebende Verfahren. Das MRT ermöglicht multidimensionale (2D, 3D, 4D,...) und multikontraste (T_1 -, T_2 , T_2^* , Diffusion, Perfusion, Suszeptibilität,...) in-vivo (human oder Tiere) oder ex-vivo (forensisch, verschiedene Substanzen, Zellkultur) Bildgebung entweder unter Verwendung von exogenen Kontrastmitteln oder mit Hilfe von endogenen Substanzen (Blut, Gewebebestandteile). Die Fehlerfreie Zusammenstellung von verschiedenen Hardware- und Software-Komponenten basierend auf physikalischen und Mathematischen Prinzipien erlaubt die Entstehung eines MRT-Bildes, das sowohl für wissenschaftlichen Zwecke als auch für die					

Diagnostik verwendet werden kann. Die MRT-Bilder können entweder qualitativ oder quantitativ bewertet werden. Eine quantitative Bewertung ermöglicht sowohl eine objektive Beurteilung der MRT-Bilder unabhängig von fachlicher Erfahrung des Anwenders als auch den Einsatz von entsprechenden MRT-Methoden im Rahmen der Langzeituntersuchungen sowie medikamentösen Behandlungen.

Die Foki dieser vierteiligen Lehrveranstaltung liegen in 1) dem Verständnis der Entstehung verschiedener Bildkontraste aus physikalischer Hinsicht, 2) Analyse von quantitativen MRT-Aufnahmen mittels verschiedener Programmierungssprachen, 3) Vorbereiten einer wissenschaftlichen Präsentation über ein MRT-relevantes Thema basierend auf aktueller Literatur sowie, 4) der praktischen Erfahrung mit den MRT-Techniken und -Kontrasten, die im Rahmen der Vorlesung vorgestellt werden.

Literatur:

- Mona Salehi Ravesh; Vorlesungsskript, TU Dortmund, 2024.
- Bernstein M. et al.; „Handbook of MRI pulse sequences“, Academic Press
- Haacke M. et. Al.; „Magnetic Resonance Imaging: Physical Principle and Sequence Design“, Wiley Verlag
- Schlegel W. et. Al.; „Medizinische Physik“, Springer Verlag
- www.pubmed.org
- <https://mriquestions.com/index.html>

Lehrformen: Vorlesung, Übung, Seminar, Praktikum

Prüfungsformen (falls das Modul in einem Schwerpunktbereich gewählt wird)

Studienleistungen: Aktive Teilnahme an Übungen, Seminar und MRT-Praktikum.

Modulprüfung: 20-minütige schriftliche Prüfung (Multiple choice) oder mündliche Prüfung (30 Minuten)

Prüfungsformen (falls das Modul im Grundlagen- und Wahlbereich gewählt wird)

Studienleistungen: Aktive Teilnahme an Übungen, Seminar und MRT-Praktikum.

Modulprüfung: 20-minütige schriftliche Prüfung (Multiple choice) oder mündliche Prüfung (30 Minuten)

Voraussetzungen für die Vergabe von Kreditpunkten Bestehen der Prüfungsleistungen

Verwendung des Moduls

Modulbeauftragte/r PD habil. Dr. rer. nat. Mona Salehi Ravesh

Sonstige Informationen Diese Modul wird an der TU Dortmund angeboten.

Module: Ultrafast spintronics and light driven magnetisation dynamics (PHY8216)				
Degree program: Physics (B.Sc. and M.Sc.)				
Frequency Annually in SS	Duration 1 Semester	Semester 1 st – 4 th semester (M. Sc.) from 5 th semester (B. Sc.)	Credits 3	Work load 90 h

1	Module structure				
	No.	Element / course	Type	Credits	Contact hours per week
	1	Seminar	S	3	2
2	Language: English				
3	Content Contemporary topics in light-field driven electron spin, orbital and/or magnetisation manipulation on ultrafast timescales, including areas such as ultrafast magnetisation dynamics in ferro- and antiferromagnetic systems, light-field driven spin current generation, ultrafast magneto-resistive effects in magnetic heterostructures, spintronic terahertz frequency harmonic generation, nonlinear regime of magnetisation dynamics, spintronic terahertz emission spectroscopy, ultrafast magneto-optical effects.				
4	Learning outcome Students will gain an understanding of the modern problems of ultrafast spintronics, including fundamental and experimental aspects of electron spin, orbital, and/or magnetisation manipulation with light. In their own presentations, students will learn how to present scientific material in an understandable way and how to participate in scientific discussions.				
5	Examination Performance: active participation in the seminar presentations and discussions. Module examination: Graded own presentation (30 minutes + 15 minutes discussion)				
6	Forms of examination and performance ☒ Module examination: oral exam ☐ Partial performance				
7	Prerequisites Knowledge in optics and introductory condensed matter physics				
8	Module type Elective module				
9	Responsible Dr. S. Kovalev Prof. Z. Wang		Organization Department of Physics		